TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ

FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY
МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

XXVI INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

100 BIRTH ANNIVERSARY OF ACAD. ANGEL BALEVSKI

PROCEEDINGS

XXVI МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ

65 ГОДИНИ МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

100 ГОДИНИ ОТ РОЖДЕНИЕТО НА АКАД. АНГЕЛ БАЛЕВСКИ

СБОРНИК ДОКЛАДИ

13-16 SEPTEMBER, 2010
SOZOPOL, BULGARIA

13-16 СЕПТЕМВРИ, 2010
СОЗОПОЛ, БЪЛГАРИЯ

http://mtf65.tu-sofia.bg

XXVI INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS
FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

100 BIRTH ANNIVERSARY OF
ACAD. ANGEL BALEVSKI

PROCEEDINGS

СБОРНИК ДОКЛАДИ

XXVI МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ

65 ГОДИНИ
МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

100 ГОДИНИ ОТ РОЖДЕНИЕТО НА
АКАД. АНГЕЛ БАЛЕВСКИ

Sozopol, Bulgaria
September, 2010

Созопол, България
Септември, 2010

Отпечатването на настоящия сборник е по договор за частично финансиране на научни форуми №101дн244-5/2010 г. между НИС при ТУ-София и МТФ.

Сборникът, включващ докладите от XXVI МЕЖДУНАРОДНА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ „65 ГОДИНИ МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ, е обработен и подготвен от гл. ас. д-р, д-р инж. Яна СТОЯНОВА с активното съдействие на доц. д-р инж. мат. Николай НИКОЛОВ, доц. д-р инж. Мара КАНДЕВА, доц. д-р инж. Йорданка ПЕТРОВА, доц. д-р инж. Валентин КАМБУРОВ и доц. д-р инж. Манахил ТОНГОВ. Докладите са рецензирани по секции от членовете на организационния комитет.

МТФ при ТУ-София
1000 София
бул. „Кл. Охридски” №8, бл.3
тел./факс: (+359) 2 965 25 36
e-mail: mtf-k@tu-sofia.bg

ISBN: 978-954-438-854-6

Тираж 100 бр.
Печат Издателство на ТУ-София

SPARKY

SPARKY
PROFESSIONAL



ПРОФЕСИОНАЛНИ ЕЛЕКТРОИНСТРУМЕНТИ

Силата във вашите ръце




КАК ДА ПРЕВЪРНЕМ ИДЕИТЕ В РАБОТЕЩ ОФИС?

- цялостно оборудване и обзавеждане на офиса
- изграждане на сградна и междусградна инфраструктура
- специфични решения за различните сегменти от икономиката
- системи за управление на бизнеса (ERP)
- софтуер за бизнес анализ
- технически консултации и сервизна поддръжка
- и всичко стандартно и специализирано за офиса

КОНТРАКС предлага специални условия за членовете на M-Tel BUSINESS CLUB за сервизно обслужване на всякаква техника и офис оборудване:

ПЛАТИНЕНА КАРТА 10% ОТСТЪПКА

ЗЛАТНА КАРТА 8% ОТСТЪПКА

СРЕБЪРНА КАРТА 5% ОТСТЪПКА

ул. Тинтява 13, тел.: (02) 960 977, e-mail: sales@kontrax.bg
www.kontrax.bg

KONTRAX

Представителства: Благоевград 0886843129, Бургас 056 919997, Варна 052 603604, Добрич 058 602682, Карлово 0335 96548, Кърджали 0361 66666, Кюстендил 078 525252, Плевен 064 800 421, Пловдив 032 623723, Разград 084 690425, Русе 0889428608, Търговище 0601 63800, Хасково 038 664621, Велико Търново 062 600449, Видин 094 604060, Враца 092 666687, Габрово 066 803212, Монтана 096 301414, Пазарджик 034 440922, Перник 076 640350, Петрич 0745 63050, Силистра 086 822717, Сливен 044 625374, Смолян 0301 63603, Стара Загора 042 603517, Шумен 054 892070, Ямбол 046 662094



ПОЛИМЕТА С ООД
София 1528, ул. Илия Бешков 3
тел.: 02/ 973 28 87; факс: 02/ 973 27 66
e-mail: office@polymeta.bg
www.polymeta.bg

DMG
DMG - TECHNOLOGIES FOR TOMORROW
Всички новини за DMG можете да намерите на адрес: www.dmg.com



ОСНОВНИ ФАКТИ ЗА СЕРИЯ HSC

- **Термосиметрична портална конструкция** за абсолютна дълговременна стабилност
- **5-осна прецизна машина** с интегрирана шарнирна/въртяща ос
- **Линейна технология по ос X/Y/Z** c > 2g
- **Високомоментни двигатели** с водно охлаждане във въртящите оси
- Високопроизводителни шпиндели HSC с водно охлаждане, **макс. 42 000 мин**$^{-1}$
- Управление DMG ERGO*line*® с екран 19" и 3D софтуер
- **Стандарт при управленията:** HSC можете да закупите със Siemens 840D Solution line или с Heidenhain iTNC530
- Може да се закупи и като **машинна версия ULTRASONIC**

супермаркет
Елмаг®
gourmet


ЕКОТЕХ ИНЖЕНЕРИНГ ООД
• Проектиране и изграждане на инсталации за производство на цветни метали
• Газификация на металургични пещи, работили преди това с газьол, мазут и други горива
• Проектиране и изграждане на инсталации за неутрализиране на технологични газове
• Проектиране и изграждане на инсталации за преработка на металургични отпадъци
• Топлоизолация на тръбопроводи и газопроводи със свръхлеки химически устойчиви материали (от –70°C до +130°C)
• Антикорозионни и киселинноустойчиви покрития
• Система за управление на качеството ISO 9001:2000
София 1407, бул. „Черни връх“ 67
Тел.: (02) 962 5366, 868 7203, Факс: (02) 868 7196
e-mail: info@ecotech-eng.com, tassev@ecotech-eng.com
www.ecotech-eng.com


CENTRE OF EXCELLENCE
www.ce-tus.eu
funded by MEYS of Republic of Bulgaria, contract № D00-106-5/12.2008
Fields of Activities
Virtual Engineering
MEMS
Energy Recuperation
Where used?
Kinetic Energy Recovery Systems (KERS)

ПРОГРАМЕН КОМИТЕТ

Членове от БЪЛГАРИЯ

Чл. кор. проф. д-р Димитър БУЧКОВ, ТУ-София
Чл. кор. проф. д.т.н. Венелин ЖИВКОВ, ТУ-София
Чл. кор. д.т.н. Стефан ВОДЕНИЧАРОВ, БАН
Проф. д.т.н. Александър ЖЕЛЕВ, ТУ-София
Проф. д.т.н. Венцислав ТОШКОВ, ТУ-София
Проф. д.т.н. Виктор АНЧЕВ, ТУ-София
Проф. д.т.н. Витан ГЪЛЪБОВ, ТУ-София
Проф. д.т.н. Владимир ВИТЛИЕМОВ, РУ „Ангел Кънчев”
Проф. д.т.н. Георги ПОПОВ, ТУ-София
Проф. д.т.н. Димитър ГЕОРГИЕВ, ТУ-Варна
Проф. д.т.н. Михаил МИЛКОВ, ТУ-София
Проф. д.т.н. Николай ЛОЛОВ, ТУ-София
Проф. д.т.н. Николай МИНЧЕВ, ТУ-Варна
Проф. д.т.н. Сашо ГЕРГОВ, ТУ-София
Проф. д.т.н. Светослав СИМЕОНОВ, ТУ-Габрово
Проф. д-р Ангел ДИКОВ, ТУ-София
Проф. д-р Васил ГЕОРГИЕВ, ТУ-Пловдив
Доц. д-р Петър ДОБРЕВ, ТУ-София
Доц. д.т.н. Георги МИШЕВ, ТУ-Пловдив
Доц. д.т.н. Николай АНГЕЛОВ, ТУ-София
Ст. н.с. II ст. д-р Емил МАНОАХ, БАН
Ст. н.с. II ст. д-р Костадин КОСТАДИНОВ, БАН
Маг. икон. Николай КЪЛБОВ, Фирма СПАРКИ ЕЛТОС, Ловеч
Маг. инж. Яко ПИЛОСОФ, Фирма КОНТРАКС, София
Д-р инж. Венцислав СЛАВКОВ, Фирма СПЕСИМА ООД, София
Боряна КАДМОНОВА, Фондация ЕВРИКА, София

Членове от ЧУЖБИНА

Проф. д-р Живка ОВЧАРОВА, ЛЕСК, Карлсруе, Германия
Проф. д-р Стефан ДИМОВ, МЕК, Кардиф, Уелс
Проф. д-р Йозеф БРИЧТА, Острава, Чехия
Проф. д-р Леон КУКИЕЛКА, Козжалин, Полша
Проф. д-р Александър ДИМИТРОВ, Скопие, Република Македония
Проф. д-р Ле ИНАН, Харбин, Китай
Проф. д-р Ненад ПАВЛОВИЧ, Ниш, Сърбия
Проф. д-р Миодраг ЗЛОКОЛИЦА, Нови Сад, Сърбия

PROGRAMME COMMITTEE

Local Members:

Corr. mem. Prof. Ph. D. Dimitar BUCHKOV, TU-Sofia
Corr. mem. Prof. D Sc Venelin JIVKOV, TU-Sofia
Corr. mem. Prof. D Sc Stefan VODENICHAROV, BAS
Prof. D Sc Aleksandar JELEV, TU-Sofia
Prof. D Sc Vencislav TOSHKOV, TU-Sofia
Prof. D Sc Viktor ANCHEV, TU-Sofia
Prof. D Sc Vitan GALABOV, TU-Sofia
Prof. D Sc Vladimir VITLIEMOV, RU„Angel Kanchev" - Ruse
Prof. D Sc Georgi POPOV, TU-Sofia
Prof. D Sc Dimitar GEORGIEV, TU-Varna
Prof. D Sc Mihail MILKOV, TU-Sofia
Prof. D Sc Nikolay LOLOV, TU-Sofia
Prof. D Sc Nikolay MINCHEV, TU-Varna
Prof. D Sc Sasho GERGOV, TU-Sofia
Prof. D Sc Svetoslav SIMEONOV, TU-Gabrovo
Prof. Ph. D. Angel DIKOV, TU-Sofia
Prof. Ph. D. Vassil GEORGIEV, TU-Plovdiv
Assoc. Prof. Ph. D. Peter DOBREV, TU-Sofia
Assoc. Prof. D Sc Georgi MISHEV, TU-Plovdiv
Assoc. Prof. D Sc Nikolay ANGELOV, TU-Sofia
Assoc. Prof. Ph. D. Emil MANOACH, BAS
Assoc. Prof. Ph. D. Kostadin KOSTADINOV, BAS
Dipl. Eng. Nikolay KALBOV, "Sparki Eltos" Plc
Eng. Jacko PILLOSSOF, KONTRAX, Sofia
Ph. D. Eng. Vencislav SLAVKOV, SPESIMA GmbH, Sofia
Boriana KADMONOVA, EVRIKA Foundation, Sofia

International Members:

Prof. Ph. D. Jivka OVTCHAROVA, LESK, Karlsruhe, Germany
Prof. Ph. D. Stefan DIMOV, MEC, Cardiff, Wales
Prof. Ph. D. Josef BRICHTA, Ostrava, Czech Republic
Prof. Ph. D. Leon KUKIELKA, Koszalin, Poland
Prof. Ph. D. Aleksandar DIMITROV, Skopje, Macedonia
Prof. Ph. D. Lai YINAN, HUST/Harbin University of Science and Technology
Prof. Ph. D. Nenad D. PAVLOVIC, Nis, Serbia
Prof. Ph. D. Miodrag ZLOKOLICA, Novi Sad, Serbia

ТЕМАТИЧНИ НАПРАВЛЕНИЯ:

- **Материалознание и технология на металите**
- **Виртуално инженерство, CAD/CAM/CAE, Rapid Prototyping & Tooling, MEMS**
- **Нанотехнологии и наноматериали**
- **Екология и инженеринг на околната среда**
- **Синтез и анализ на механизми и машини**
- **Мехатроника и мехатронни системи**
- **Технология на машиностроенето и производствена техника**
- **Роботизирани системи и автоматизация на производството**
- **Трибология и триботехнологии**

ОРГАНИЗАЦИОНЕН КОМИТЕТ:

Председател: **Проф. д.т.н. Йордан ГЕНОВ**

Почетен съпредседател: **Проф. д-р Камен ВЕСЕЛИНОВ, Ректор на ТУ-София**

Почетен съпредседател: **Проф. д-р Никола КАЛОЯНОВ, Зам. Ректор по НПД на ТУ-София**

Зам. председател: **Доц. д-р Георги ТОДОРОВ, Декан на МТФ**

НАУЧНИ СЕКРЕТАРИ:

Доц. д-р Йорданка ПЕТРОВА, МТФ, ТУ-София

Доц. д-р Николай НИКОЛОВ, МТФ, ТУ-София

СЕКРЕТАРИАТ:

Доц. д-р Панчо ДАНАИЛОВ, Зам. Декан на МТФ

Доц. д-р Вътко ДРАГАНОВ, Зам. Декан на МТФ

Доц. д-р Валентин КАМБУРОВ, ръководител кат. МТМ

Доц. д-р Георги САЕВ, кат. МТМ

Доц. д-р Иларио АСТИНОВ, кат. ТМММ, МТФ

Н.с. инж. Любен ЦАНКОВ, МТФ

Маг. инж. Божидар ПЕТРАКИЕВ, Елемаг, София

КООРДИНАТОР:

Доц. д-р Николай НИКОЛОВ, ТУ-София, МТФ

E-mail: nickn@tu-sofia.bg

Tel.: 0895 590 383

MAIN TOPICS:

- **Materials Science and Technology**
- **Virtual engineering, CAD/CAM/CAE, Rapid Prototyping & Tooling, MEMS**
- **Nanotechnology and Nanomaterials**
- **Environmental Engineering and Ecology**
- **Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines**
- **Mechatronics and Mechatronics Systems**
- **Technology of Mechanical Design and Manufacturing**
- **Manufacturing Automation and Robotics**
- **Tribology and Tribotechnologies**

ORGANIZING COMMITTEE:

Chairman: **Prof. D Sc Jordan GENOV**

Honorary Chairman: **Prof. Ph. D. Kamen VESSELINOV, Rector of TU-Sofia**

Honorary Chairman: **Prof. Ph. D. Nikola KALOYANOV, Vice Rector – Research and Development Activities – TU-Sofia**

Vice Chairmen: **Assoc. Prof. Ph. D. Georgi TODOROV, Dean of MTF**

SCIENTIFIC SECRETARY:

Assoc. Prof. Ph. D. Jordanka PETROVA, MTF, TU-Sofia

Assoc. Prof. Ph. D. Nikolay NIKOLOV, MTF, TU-Sofia

SECRETARIAT:

Assoc. Prof. Ph. D. Pancho DANAILOV, Vice Dean of MTF

Assoc. Prof. Ph. D. Vutko DRAGANOV, Vice Dean of MTF

Assoc. Prof. Ph. D. Valentin KAMBUROV, Department MST, MTF

Assoc. Prof. Ph. D. Georgi SAEV, Department MST, MTF

Assoc. Prof. Ph. D. Ilario ASTINOV, Department TMMM, MTF

Eng. Lyuben TZANKOV, M Sc, MTF

Eng. Bojidar PETRAKIEV, M Sc, ELEMAG, Sofia

COORDINATOR:

Assoc. Prof. Ph. D. Nikolay NIKOLOV, TU-Sofia, MTF

E-mail: nickn@tu-sofia.bg

Tel.: 0895 590 383

65 ГОДИНИ МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

Уважаеми Дами и Господа,

Уважаеми Колеги,

МТФ – с традициите и опита, и със самочувствието на основоположник на техническото образование в България, вече 65 години подготвя специалисти в областта на машиностроенето и технологиите. От далечната 1945 г., когато е обнародван указа (ДВ, бр.248/ 24.10.1945 г.) за създаване на Държавна политехника и откриване на Машинен факултет до сега са подготвени хиляди инженерни кадри, създали през годините съвременната българска индустрия и намерили професионална реализация както във всички сфери на дейност в България, така и в много страни по света.

МТФ е бил винаги и водещ национален център в областта на научно-изследователската и приложна дейност. Натрупаният опит и традициите, съчетани с развитието на най-високи проектантски и производствени технологии, икономическата среда в България и процесите на глобализация, позволяват обединяване на усилията на специалисти от различни области и страни за постигане на синергиен ефект в обучението и изследователската дейност. В последните години, чрез средствата на виртуалното инженерство и микро технологиите, създадената изследователска инфраструктура и партньорството с водещи университети и компании се постига бързо развитие на иновативна среда както за фундаментални изследвания, така и за модерно обучение и подпомагане на предприятията за тяхната конкурентоспособност в икономиката на знанието.

Днес с гордост и удовлетворение провеждаме 26-та научна конференция, посветена на 65 годишнината на МТФ при ТУ – София и 100 годишнината от рождението на акад. Ангел Балевски, стъпили здраво на традициите и гледайки уверено към предизвикателствата на бъдещето.

Предоставените доклади са само част от научните изследвания, резултатите и търсенията на преподавателите, научните сътрудници и докторантите от катедрите и лабораториите на МТФ и са отражение на стремежите, динамиката и нивото на обучението и изследванията на Факултета.

За нас е чест да посрещнем и представим и нашите колеги от Университети и научни организации от Германия, Великобритания, Русия, Румъния, Гърция, Сърбия, Украйна, Турция и други страни, с които ние партнираме и принадлежим към глобалния професионален и академичен свят.

Благодарим на фирмите и спонсорите, които спомогнаха за организирането и провеждането на този научен форум.

Искрено се надяваме, че тази конференция ще бъде интересна и полезна за всички нас.

Да си пожелаем на добър час и ползотворна работа на XXVI между-народна научна конференция.

Организационен комитет на конференцията

България, Созопол
Септември, 2010 г.

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

Dear Ladies and Gentlemen,

Dear Colleagues,

The Faculty of Machine Technology has the traditions and experience, as a founder of Bulgarian technical education, almost for 65 years to teach specialists in mechanical engineering and production technologies. From the distant year 1945, when the decree was promulgated (SG No.248 / 24.10.1945) for establishing the State Polytechnic and the Faculty of Machine Technology, opening till now thousands of engineers are educated, that have built during the years the contemporary Bulgarian industry and have found their professional realization in all fields of activities in Bulgaria as well as in many other countries around the world.
The Faculty have been always a leading national centre in the field of research and applied sciences. The accumulated experience and traditions, coupled with the development of the highest development and production technologies, the economic environment in Bulgaria and the processes of globalization, allow bringing together the efforts of specialists from different fields and countries to achieve a synergy effect in education and research. A rapid development of innovative environment for both R&D and modern training have been achieved in the recent years, by means of virtual engineering and micro technologies, good developed technical infrastructure and created partnerships with leading universities and companies. This also supports enterprises for their competitiveness in the economy knowledge.

Today we are proud and pleased to organize the 26th scientific conference devoted to 65 years of the Faculty of Machine Technology at Technical University of Sofia and 100 Anniversary of Academician Angel Balevski, treading firmly on the traditions and looking confidently to the challenges of the future.

The presented reports are only part of the research activities and results of all professors, researchers and PhD students from departments and laboratories of the Faculty and reflect its aspirations, the dynamics and level of training and research.

It is our honor to introduce and welcome our colleagues from Universities and scientific research institutes in Germany, Britain, Russia, Romania, Greece, Serbia, Ukraine, Turkey and other countries with which we has a good partnership and belong to the global academic and professional world.

We are thankful to the companies and sponsors who helped the organization of this scientific forum.

We sincerely hope that this conference will be interesting and useful for all of us.

Let me wish you a fruitful work and success during the XXVI International Scientific Conference.

The Conference Organizing Committee

Bulgaria, Sozopol
September, 2010



100 ГОДИНИ ОТ РОЖДЕНИЕТО НА АКАД. АНГЕЛ БАЛЕВСКИ

На 15.04.2010 г. се навършват 100 години от рождението на големия български учен, организатор на българската наука и държавник акад. Ангел Балевски, един от създателите на българското висше техническо образование и основоположник на българската научна школа по металознание и технология на металите.

Академик Балевски е роден в гр. Троян. Завършил е машинно инженерство през 1934 г. в Бърно. През 1945 г. в София е избран за професор в Държавната политехника. Академик Ангел Балевски създава Катедра по механична технология и фабрична организация, преименувана по-късно в катедра „Металознание и технология на металите", която ръководи повече от четири десетилетия.

От 1948 до 1953 г. той е Зам. Ректор на Държавната политехника, а от 1966 до 1968 г. - Ректор на Висшия машинно-електротехнически институт. За дългогодишната си преподавателска дейност той е участвал в подготовката на повече от десет хиляди машинни инженери и ръководители в промишлеността.

Акад. Ангел Балевски провежда активна научно-изследователска дейност в Българската академия на науките като ръководител на секция по „Металознание и технология на металите" към Техническото отделение на БАН, която прераства в „Централна лаборатория по металознание". През 1951 г. е избран за член-кореспондент. През 1967 г. е избран за академик. На 1 януари 1967 г. с негово активно участие е създаден институт „Металознание и технология на металите". Най-голямото постижение на института е развитието на методите за обработване на материалите с газово противоналягане, създадени въз основа на патент на акад. Ангел Балевски заедно с чл. кор. Иван Димов.

Методите „Балевски-Димов" получиха световно признание. За научната и практическата стойност на методите е показателно, че в

началото на 80-те години на 20 в. те получиха световно признание като едно от най-значимите инженерни постижения на века .Тогава Институтът по металознание получава от фондация „Кьорбер" в Хамбург най-авторитетната европейска награда за научно-технически принос, равностойна на Нобеловата награда за инженерно-техническа дейност. Наградата беше присъдена за развитие на металознанието, металургията, металолеенето и за машините за леене на детайли от традиционни и новосъздадените от сътрудници на института оригинални висококачествени сплави.

На 9 май 1968 г. акад. Ангел Балевски е избран за председател на БАН, която ръководи успешно повече от 20 години.

Под негово ръководство БАН установява сътрудничество с много Академии и други научни институции в СССР, САЩ, Чехословакия, Германия, Австрия, Великобритания и др.

През 1971-1989 г. акад. Ангел Балевски е член на Държавния Съвет на НРБ, съпредседател на Международната академия на науките в Мюнхен (1988 г.), член на Съвета на Пъгуошкото движение на учените за мир (1971 г.). Носител е на много ордени и медали: „Академични палми" на Френското правителство, Златен медал „М.В.Ломоносов" на Руската Академия на науките, Златен медал на Университета в Хамбург, Златен медал „За заслуги пред науката и човечеството" на Чехословашката Академия на науките.

Акад. Ангел Балевски е Народен деятел на науката, носител на Почетния знак на БАН „Марин Дринов" и на Почетния знак на Софийския Университет. Той е доктор хонорис кауза на Технически Университет - София.

Високо ерудиран човек, акад. Ангел Белевски омайва събеседниците си със своите знания не само в областта на металознанието, но и по литература, музика, история, философия.

В последните си години акад. Ангел Балевски е автор на лирични и хумористично-сатирични книги: „Българиада" и „Настроения" (1997), а в книгата си „Тревоги" (1995), прави равносметка на своя живот, обхващащ голяма част от 20 век.

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

ПЛЕНАРНИ ДОКЛАДИ **19**

Димитър БУЧКОВ

Слово за личността и човека Ангел Балевски **21**

Jivka OVTCHAROVA

A Systematic Approach towards Virtual Engineering **25**

Stefan DIMOV

Micro And Nano Manufacturing: Challenges and Opportunities **33**

Йовка ДРАГИЕВА

Наноразмерно състояние – единство на живата и нежива материя **34**

МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ НА МЕТАЛИТЕ **35**

Александър ЖЕЛЕВ, Георги САЕВ

Относно концепцията на приложните хармонизирани стандарти за осигуряване на качеството на заварените конструкции - I част: Категоризиране на заварените съединения/конструкции **37**

Александър ЖЕЛЕВ, Георги САЕВ

Относно концепцията на приложните хармонизирани стандарти за осигуряване на качеството на заварените конструкции - II част: Изисквания и доказване на съответствието **45**

M. KIRCHGAßNER, Ivan MARKOVSKI

Innovative Wearfacing Solutions as Part of Comprehensive Maintenance Concepts **58**

Теофил ЯМБОЛИЕВ, Димитър ДИМИТРОВ

Влияние на честотата на тока върху свойствата на съединението при импулсно ВИГ заваряване **66**

Серафим СЕРАФИМОВ, Красимир ТОДОРОВ, Румяна БАРЪМОВА

Оптимизиране на технологичните процеси при фабрикация и монтаж на резервоари в петролни терминали **72**

Пламен ТАШЕВ, Стефан ХРИСТОВ, Николай АЛЕКСИЕВ

Оценяване склонността към образуване на студени пукнатини при заваряване на кръгови шевове с малък диаметър **77**

Манахил ТОНГОВ

Хибридни методи на заваряване (обзор) **82**

Жулиета КАЛЕЙЧЕВА, Валентин МИШЕВ

Моделиране на количеството остатъчен аустенит в изотермично закалени високояки чугуни чрез изкуствени невронни мрежи **87**

Ангел ЗЮМБИЛЕВ, Илия ЗЮМБИЛЕВ

Относно влиянието на карбонитрирането в нискотемпературна плазма върху остатъчните напрежения **93**

Петър ДАСКАЛОВ, Румен МИТЕВ

Количествен металографски анализ с програмата ”Matlab” **99**

Lyuben LAKOV, Krasimira TONCHEVA, Stanislav ASENOV, Valentin PETROV

Construction Solutions for Building Macro Dispersion Protection Modules **104**

Krasimira Toncheva, Lyuben Lakov, Ilia CHORBOV

Construction of Foam Glass Production Installation Model in Compliance with Patent № 65718/24.11.2004 **108**

Роберт КАЗАНДЖИЕВ

Допустими режими на валцуване в многоклетков прокатен стан **114**

Тодор ПЕНЧЕВ, Иван АЛТЪПАРМАКОВ, Валентин КАМБУРОВ, Йордан ГЕНОВ

Методика и стенд за изследване на ефекта „комбиниран удар” при пластична деформация **123**

Петър БОДУРОВ, Николай КЕМИЛЕВ, Тодор ПЕНЧЕВ

Изследване влиянието на формата на мелещи тела за топкова мелница върху твърдостта им след закаляване **129**

Анна МАНЕВА, Сергей СТАНЕВ, Михаил ГЕОРГИЕВ, Ангел ВЕЛИКОВ

Особености при получаване на ротационна отливка „капак", със завишени експлоатационни изисквания, от сплав А357 по метода за леене с газово противоналягане **134**

Стефан БУШЕВ, Иван ГЕОРГИЕВ

Математични модели за получаване на биметални отливки чрез центробежно леене **140**

Румен ПЕТКОВ, Кирил ГЕЛЕВ

Влияние на вида на технологичната проба върху оценката на склонността на леярските сплави към горещи пукнатини **144**

Рангел РАНГЕЛОВ, Крум ПЕТРОВ, Петър ДОБРЕВ, Кирил ПАШЕЕВ

Противопригарни обмазки за вакуумно формоване **150**

Петко КЪНЧЕВ

Изпитания на металокерамични твърди сплави на циклична дълготрайност **154**

Петко КЪНЧЕВ

Изследване на влиянието на термичната обработка на стомана 38ХС **160**

ВИРТУАЛНО ИНЖЕНЕРСТВО, CAD/CAM/CAE, RAPID PROTOTYPING & TOOLING, MEMS **163**

Георги ТОДОРОВ, Величко ПЕЙКОВ, Константин КАМБЕРОВ, Николай НИКОЛОВ, Инан ЛАИ, Йе ДАЙ

Анализ на параметрите на пневматично-вакуумен механизъм с подвижен цилиндър **165**

Георги ТОДОРОВ, Константин КАМБЕРОВ

Функционално-структурни модели при определяне надеждностните показатели на машиностроителни изделия **172**

Georgi TODOROV, Andrijana BOCEVSKA, Todor NESHKOV

Engineering Design Methods **178**

Georgi TODOROV, Andrijana BOCEVSKA, Todor NESHKOV

Functional-Cost Analysis (FCA) **183**

Явор СОФРОНОВ, Витан ГЪЛЪБОВ, Георги ТОДОРОВ, Цветозар ИВАНОВ, Николай НИКОЛОВ, Яна СТОЯНОВА

Оптимизиране на манипулатор за обръщане на кошчета със средствата на виртуалното инженерство **188**

Георги ТОДОРОВ, Борислав РОМАНОВ, Алек КОЮМДЖИЯН

Симулацията на запълването като основна част от виртуалния прототип на пластмасовите изделия произведени чрез шприцване **195**

Георги ТОДОРОВ, Иван ИВАНОВ

Проектиране на леякова система за сложна корпусна отливка за леене под високо налягане чрез симулиране на процеса с помощта на софтуерен пакет NOVA FLOW **201**

Emil MANOLOV, Dimitar NIKOLOV, Marin HRISTOV

Energy Harvesting Devices: Basic Technologies and Applications **214**

Иван КРАЛОВ, Игнат ИГНАТОВ

Функционален анализ на МЕМС за акумулиране на звуково налягане **220**

Иван ИВАНОВ, Тодор ТОДОРОВ

Настройване на собствената честота на МЕМС осцилатор чрез капацитивна обратна връзка **226**

Марин ХРИСТОВ, Георги ТОДОРОВ, Николай НИКОЛОВ, Владимир ГРОЗДАНОВ, Добромир ГАЙДАДЖИЕВ, Константин КАМБЕРОВ

Технологии за производство на микро-електромеханични системи (МЕМС) - Част I **235**

Марин ХРИСТОВ, Георги ТОДОРОВ, Николай НИКОЛОВ, Владимир ГРОЗДАНОВ, Добромир ГАЙДАДЖИЕВ, Константин КАМБЕРОВ

Технологии за производство на микро-електромеханични системи (МЕМС) - Част II **247**

Георги ТОДОРОВ, Николай НИКОЛОВ, Явор СОФРОНОВ, Стефан ДИМОВ, Тодор ДОБРЕВ, Петко ПЕТКОВ

Възможности на лазерната технология за обработване и понижаване на грапавостта на различни материали от инженерната практика **260**

Иларио АСТИНОВ, Йорданка ПЕТРОВА

Анализ на маршрутна технология и определяне на резервите от производствени мощности **264**

Иларио АСТИНОВ, Симеон СТОЯДИНОВ

Системен анализ и дефиниране на типови кръстовища **270**

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛИ **275**

Сергей СТАНЕВ, Румяна ЛАЗАРОВА, Славейка КОНСТАНТИНОВА, Валентин МАНОЛОВ

Изследване ефекта от модифициране на сплав AlSi7Mg с нанопрахове чрез термичен и металографски анализи **277**

Adelina MITEVA

Electric Field Influence on the Electronic States in Some Nanostructures **283**

Adelina MITEVA

Stark Effect in Graded Gap Quantum Wells **289**

Валентин КАМБУРОВ, Рангел РАНГЕЛОВ, Ангел ВЕЛИКОВ, Ина ЯНКОВА

Механични свойства и рекристализация на нискотопими сплави за физично моделиране на интензифицирана пластична деформация **293**

Анна БУЗЕКОВА-ПЕНКОВА

Относно свойствата на някои наноструктури в присъствието на постоянно електрично поле **300**

ЕКОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРИНГ НА ОКОЛНАТА СРЕДА **307**

Anna DIMITROVA, Alexandar SPASOV

Determination of PCB Levels in Urban Soils of Sofia **309**

Гергана ТОШЕВСКА, Николай АНГЕЛОВ

Изследване на емисията на шум при отрязване на заготовки за дограма с циркуляр в производствени условия **314**

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НА МЕХАНИЗМИ И МАШИНИ **319**

Miloš MILOŠEVIĆ, Dalibor PETKOVIĆ, Nenad D. PAVLOVIĆ

Development of Mechanism for Legs Position Adjusting at Multifunctional Hospital Bed **321**

Георги ТОДОРОВ, Венелин ЖИВКОВ, Николай НИКОЛОВ, Константин КАМБЕРОВ, Светослав СТОЕВ

Възможности за използване на кинетично акумулирана енергия. Приложимост **327**

Костадин СТОИЧКОВ, Венелин ЖИВКОВ

Динамичен анализ на агрегат за задвижване на автомобил с кинетичен акумулатор на енергия при различни режими на движение на автомобила **334**

Костадин СТОИЧКОВ, Венелин ЖИВКОВ

Управление на агрегат за задвижване на автомобил с кинетичен акумулатор на енергия посредством фрикционен вариатор при различни режими на движение **341**

Стефан ГАРАБИТОВ

Една възможност за числено решаване на задачата за оптимално управление **348**

МЕХАТРОНИКА И МЕХАТРОННИ СИСТЕМИ **355**

Petko KIRIAZOV, Ivanka VENEVA

Dynamics and Optimisation in Mechatronics **357**

Димитър КАРАСТОЯНОВ, Станислав СИМЕОНОВ

Вградена система за достъп на незрящи до компютърни ресурси **363**

Todor NESHKOV, Lubomir DIMITROV

Education in Mechatronics at the Technical University of Sofia **368**

ТЕХНОЛОГИЯ НА МАШИНОСТРОЕНЕТО И ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА **377**

Тотю ГЕШЕВ, Идилия БАЧКОВА, Георги ПОПОВ, Христо КАРАМИШЕВ, Григор СТАМБОЛОВ

Диагностика на технологични операции при обработване на отвори чрез преизползваеми функционални блокове **379**

Григор СТАМБОЛОВ, Идилия БАЧКОВА, Тотю ГЕШЕВ, Георги ПОПОВ, Христо КАРАМИШЕВ

Управление на фрезови и пробивни операции чрез многократно използваеми функционални блокове **388**

Галина НИКОЛЧЕВА, Иво ЛИКОВ

Компютърно моделиране на винтови свредла **399**

Георги ЙОРДАНОВ, Георги СТОЙЧЕВ

Силови характеристики на универсални и специализирани тричелюстни стругови патронници **405**

Лъчезар СТОЕВ, Стоян ХРИСТОВ

Моделиране биенето на оста на детайл с ниска стабилност при поддържането му с призма **410**

Лъчезар СТОЕВ, Иван ТУРЛАКОВ

Инструменти за студено валцоване. Струговане, пластично деформиране и шлифоване на една установка **418**

Панчо ДАНАИЛОВ

Сравнение на технологичните показатели при права и обратна полярност на електроерозионно обработване **426**

Пламен УГРИНОВ

Класификация по компоновъчен признак на хоризонтални обработващи центри **433**

РОБОТИЗИРАНИ СИСТЕМИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОИЗВОДСТВОТО **441**

Веселин ПАВЛОВ, Иван АВРАМОВ

Роботите идват - готови ли сме да ги посрещнем? Състояние и развитие на триединството „човек-технология-робот” **443**

Владимир ЗАМАНОВ, Петър АВРАМОВ

Микросистеми в роботиката **452**

Валентин НИКОЛОВ

Мобилен робот за инспекция **458**

ТРИБОЛОГИЯ И ТРИБОТЕХНОЛОГИИ **465**

Al Jaseem Makki Majeed HABEEB, Niculae Napoleon ANTONESCU, Marius Gabriel PETRESCU

Researches Concerning the Influence of the Polyt-Ionic Acid Solutions on the Stainless Steel **467**

Alexandru Valentin RADULESCU, Irina RADULESCU

Experimental Researches Concerning the Grease Squeeze Film **474**

Adrian Catalin DRUMEANU, Stelian Tiberiu PARASCHIVOIU, Ioan TUDOR, Razvan George RIPEANU

Microstructure Transformations that Characterize Thermal Fatigue Wear of the Forging Die Steels **480**

Corneliu CRISTESCU, Petrin DRUMEA, Catalin DUMITRESCU

The Theoretical Evaluation and Experimental Measuring of the Friction Forces from the Sealing of Rod at the Hydraulic Cylinders **486**

Razvan George RIPEANU, Ioan TUDOR, Octavian ONITIU

Improving Tribological Behavior of Austenitic Stainless Steels by Nitriding Treatments **492**

Svetlana AKSYONOVA, Elena LYUBCHENKO

The Influence of Nano-Particle Additive to Lubricating Oils on the Structure and Properties of Friction Surfaces **497**

Minodora RÎPĂ, Lorena DELEANU

The Effects of Sampling Conditions in Measuring Surface Microtopography. Study Cases **502**

Dragan ŽIVKOVIĆ, Viara POŽIDAJEVA, Drago SOLDAT

Flow for Organisation of Machine Lubrication and Quality System Standard Requirements **510**

Bogdan SOVILJ, Juliana JAVOROVA, Pavel KOVAC, Ivan SOVILJ-NIKIC

Wear of Coated Profiled Tools in Production Conditions **515**

Vyacheslav BEZJAZYCHNYJ, Alexander SUTYAGIN

Technological Providing of Surface Layer Wear Resistance of Machine Components **521**

Мара КАНДЕВА

Относно интердисциплинния подход в трибологията **525**

Евгения КОЖУХАРОВА

Трибометаморфизъм – специфичен тип метаморфизъм **533**

Dimitar PETROV, Karl DEARN, Doug WALTON, Richard BANKS

Some Experimental Results Concerning the Influence of Surface Coatings on the Wear of Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) Polymeric Gears **538**

Петър ХРИСТОВ, Агоп ЕРДЕКЛИЯН

Състояние и развитие на системата: „производство-реклама-потребление” **544**

Геновева ВЛАДИМИРОВА

Примери за контактни трибосистеми в изкуството и дизайна **550**

Костадин СТОИЧКОВ

Геометрия и кинематика на фрикционен вариатор с нулево геометрично плъзгане **553**

Вяра ПОЖИДАЕВА, Драган ЖИВКОВИЧ, Емилия АСЕНОВА

Микроударен анализ при контактно взаимодействие на грапави повърхнини **557**

Илиян ПЕЙЧЕВ

Триботехнологични изисквания към термично депонираните покрития за подобряване ресурса на детайли и съоръжения в индустрията **561**

Илиян ПЕЙЧЕВ

Развитие, състояние и иновации на термично депонираните покрития в България **565**

Dragan ZHIVKOVICH, Vyara POZHIDAEVA, M. MEDENICA

Lubrication of A Wheat Adapter (Header) as an Element of Preventive Maintenance **572**

Juliana JAVOROVA, Vassil ALEXANDROV, Kiril STANULOV, Bohumil TARABA, Bogdan SOVILJ

Stability Analysis of Rigid Rotor on EHD Turbulent Journal Bearings **578**

Георги МИШЕВ, Стефан ДИШЛИЕВ, Христо БОХЧЕДЖИЕВ

Изследване на износоустойчивостта на нанопокрития върху стомана 40Х13 **586**

Мара КАНДЕВА

Кинетика на контактните петна в технически съединения **591**

Явор ЛУКАРСКИ, Атанас БАЙКУШЕВ, Сашо ПОПОВ, Валентин МАНОЛОВ

Износоустойчивост на дюзи за изтегляне и стомани за ролки за уякчаване на арматурна стомана **599**

Нягол МАНОЛОВ

За историческата мисия на трибологията **606**

Тинка ГРОЗДАНОВА

Развитие на триботехническите материали за работа във вакуум **612**

Тинка ГРОЗДАНОВА

Характеристики и експериментални данни на нови самосмазващи се материали предназначени за работа във вакуум **615**

Мара КАНДЕВА, Димитър КАРАСТОЯНОВ

Нови методологични идеи и възможности за изследване и окачествяване на износоустойчиви покрития **618**

Славчо ИВАНОВ, Йорданка ИВАНОВА, Жечо КАЛИЧИН, Маргарита БОНЕВА

Приложение на съвременните екологично безопасни горива за защита на околната среда **638**

ПЛЕНАРНИ ДОКЛАДИ

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ORATION ABOUT THE SCHOLAR AND PERSONALITY ANGEL BALEVSKI

Dimitar BUCHKOV

Abstract: *Oration about Acad. Angel Balevski, founder of department of Material Science and Technology in Faculty of Machine Technology by Technical University of Sofia, on the occasion of his 100th Birthday.*

СЛОВО ЗА ЛИЧНОСТТА И ЧОВЕКА АНГЕЛ БАЛЕВСКИ

Димитър БУЧКОВ

Резюме: *Слово за академик Ангел Балевски, основател на катедра „Материалознание и технология на материалите" към „Машинно-технологичния факултет" на ТУ-София, по случай 100 години от рождението му.*

СЛОВО ЗА ЛИЧНОСТТА И ЧОВЕКА АНГЕЛ БАЛЕВСКИ

Уважаеми колеги,
Уважаеми дами и господа,

Каквото и добро да се напише или изрече за акад. Ангел Балевски, винаги ще бъде недостатъчно. Такава богата и широко скроена личност трудно може да се обозре и опише. За него като преподавател, учен и общественик е казано и писано много. Но това са главно хронология и сухи факти. Особено интересни са чисто човешките му качества, начина му на мислене и неговата душевност.

През 1983 г. лично председателят на Пъгуошкото движение на учените за мир проф. Дороти Ходжкин, Нобелов лауреат, го награди и обяви за **мъдреца** на Пъгуош. Неговите съвременници напълно го подкрепят, защото личният живот и цялата творческа дейност на акад. Балевски във всички направления изпълват със съдържание това определение. Но характеристика на личността Балевски няма да бъде пълна, ако не се каже, че той беше един от малкото **енциклопедисти** на двадесетия век – векът на бурната диференциация и специализация на науката и професиите. Всичко това се дължеше на завидната му природна дарба, на огромния му запас от знания и феноменалната му памет.

Като човек Балевски беше с високи морални качества, освободен от егоизъм и материални подбуди в действията си. Користолюбието бе чуждо за него. Толкова последователен в моралните си принципи и честен към хората и **държавата**, че никога не използваше служебното си положение за лично облагодетелстване. Като дългогодишен председател на Българската академия на науките той никога не допусна да командироват съпругата му като придружител за сметка на академията, т.е. на държавата. Често казваше: ***„За да разбереш един човек какъв е, дай му власт".*** По този повод в една от многобройните си епиграми той пише: ***„Какъв човек е, никой не разбра, защото той до власт не се добра".***

Когато ставаше въпрос за подбиране на ръководител, Балевси предупреждаваше: ***„Едностранчив или корумпиран човек не бива да бъде издиган за ръководител на държавата. Едностранчиво развитият човек може да бъде полезен в някоя ограничена област, но като ръководител може да натвори куп големи беди. На полуинтелигентен човек и бездуховен човек също не трябва да се дава власт. Защото такъв обществен деец не служи на държавата, а си служи с държавата".*** Ненавиждаше глупак да го поучава, като казваше: ***„Господ е дал на глупака уста да яде, а не да говори".*** В едно от своите стихотворения споделя:

Да пази Господ гладен да те храни,
и въшкав да те пощи в нощен мрак,
имотът ти разсипник да го брани,
на разум да те учи пък глупак!

И в друго:

- С глупците как се ти оправи,
със разум и умение?
- Не брате! Само с нерви здрави
и с дяволско търпение.

И още нещо: ***„Бедите в обществото често идват не от хората, които действително не знаят, а от тези, които си мислят, че знаят”.***

Неоспорим е големият принос на акад. Балевски за развитието и утвърждаването на Българската академия на науките, за безспорния авторитет, който тя завоюва и на изток, и на запад. Той беше високо ценен за дарбата да намира приятели навсякъде, да преодолява прегради и разногласия. Показателен е безспорният му международен авторитет от следната малка случка. През 1987 г. се провежда поредната международна среща на академиите на източноевропейските страни. Възникват разногласия по един от разглежданите въпроси. Атмосферата се нагорещява. В този момент Балевски е вън от залата. Погледите на някои от присъстващите ръководители се насочват към мястото, което той заема, но то е празно. Разбрал обстановката, Балевски влиза в залата и произнася следните забележителни слова: *„**Колеги и приятели, ами ние не сме политици, ние сме учени. Политиците правят от възможното невъзможно, а ние учените като мъдри хора, правим от невъзможното възможно”.*** Това разсмива, охлажда най-разгорещените глави и работата тръгва.

Акад. Балевски, пише колегата Божидар Динков в своите спомени за него: „***притежаваше оригинално мислене по божия дарба и на основата на огромен запас от знания”*** И продължава: „***Ако не беше инженер, можеше да бъде прекрасен литератор и поет, или историк, езиковед, философ и какво ли не още. Които го срещаха за първи път и беседваха с него, оставаха поразени от изключителната му ерудиция и бързото асоциативно мислене, превключвайки на различни теми. Безусловно имаше и дарбата да импровизира при тази своя начетеност. Добротата и обичта му към хората и чувството за хумор му придава много вътрешни сили. Знаех, че повечето от тезите и афоризмите му бяха плод на много безсънни нощи, през които е премислял всичко. Малцина знаят, че той не почиваше никога, не излизаше в отпуск. Достатъчни му бяха 4-5 часа сън. Вътрешното си напрежение умело прикриваше с овладяно спокойствие и самоконтрол. За нас остава загадка онзи мощен изблик на духовна сила, която му позволи да сътвори около 500 стихотворения, балади и епиграми в продължение само на 5-6 години, и то в доста напреднала възраст. Това е уникално, рядко срещано явление в творческия процес. Още повече самият той не се смяташе за поет. Поезията му беше хоби.”***

През 1996 г. бе издаден сборникът „Българиада” със сатиричните му творби, илюстриран от художника Борис Димовски. В предговора известният наш писател Николай Хайтов заявява: „ ***Големият българин, гражданин и учен не си е изкривил душата нито в един миг и това придава на неговата творба чара на истинското, наситено с мъдрост и страдание библейско откровение”.***

А на 17 януари 1992 г. Балевски споделя:

Аз виждам, че нещо ми липсва, не зная;
лишен съм от нещо, негоден съм да се пазя;
че ненаучен останах – разбрах аз накрая –
да правя злини, да злословя, да хуля, да мразя”

Няколко месеца по-късно уточнява:

В деня на моето рождение
Творецът с нещо бил залисан;
без негово предупреждение
във друг тефтер съм бил записан.
И тъй – аз знам – не съм поет,
но ето на: римувам;
по хоби съм си стихоплет
- чрез стихове умувам.

„Паметта му (продължава Динков***) беше изключителна. Рецитираше наизуст и на оригинален език Пушкин, Лермонтов, Гьоте, Шилер, Хьолдерлинг. Познаваше Едгард По. Проявяваше жив интерес към интелектуалните романи на Томас Ман, Херман Хесе, към историческите романи на Морис Дрюон. Чел беше Ремарк, Фойхтвангер, американските автори Твен, Селинджър, Колдуел, Хемингуей и още много, много други. Увличаше се по мемоарната и историческата документална литература. От философите бе чел Платон, Спиноза, Кант, Унамуно. Обичаше музиката и имаше дълбоки познания по нея. На младини бе свирил на цигулка и от тогава бе запаметил много мелодии***"**, завършва Божидар Динков.

Човек с мислене отворено към света и вечните морални принципи, неробуващ на тесния класов морал и грубия материализъм. Такъв си остава в нашето съзнание акад. Балевси. ***„Много често, правейки нещо в името на човека, получаваме античовешки резултати"*** – казваше той**. *„Затова е нужно много голямо внимание именно, за да не се подхлъзваме, да гледаме не само отвътре навън, но и обратно – навътре към себе си. Има една вечна култура на духовните ценности. Загасне ли тя, човешкото съществуване губи своя смисъл".*** На въпроса не е ли това идеализъм? – той отговаря: ***„А обратното, не е ли животинско живуркане и груб материализъм, бездуховност. Къде остават вечните въпроси? Как ще се развива човешката личност? Нима само като консуматор на материални блага и до кога? Къде остава творческия дух на търсенето, на прометеевия огън?"***

Всеизвестни бяха неговият финес, доброта и оптимизъм. ***„Винаги съм бил оптимист и съм вярвал в доброто"*** – казваше той. ***„И тази вяра ми вдъхва кураж и ме крепи, за да се боря с трудностите и да се надявам на нещо по-добро".*** По този повод през 1995 г. той написа:

Ще има в родината ни мила
живот без злост и грозота,
ако добрите притежават сила,
а силните пък – доброта.

Акад. Балевски беше обаятелен педагог и възпитател. Горещ привърженик на хуманитаризацията на висшето техническо образование. Образование, което в годините на бесния технически прогрес и нарастваща тясна специализация през XX век, започна да губи своя университетски характер. Забележителна е неговата мисъл: ***„Истинският учен е хуманист. Той не може да бъде друг"*.** Благодарение на широката си фундаментална подготовка в областта на природните и техническите науки и на богата си обща култура, той съзираше негативните последици от това развитие за социалната реализация на нашите възпитаници, за обществото, в което живеем. Ако инженерът няма и в дейността си не се уповава на фундаментални знания, той не вижда и е невъзприемчив към новото. Той бяга от него, както дяволът от тамян. А за обучението забележителна е репликата на академика: ***„Момчета, студентите трябва да ги учим така, че да могат да правят това, на което не сме ги учили"*.** Едно образно определение за ефективната методология на обучение.

Много още може да се каже и напише за тази забележителна личност от близкото ни минало. Кратка и обобщаваща оценка за него дава съвременникът му физика-философ академик Азаря Поликаров: ***„Той беше изключителен човек, безкрайно ерудиран, широко скроен, по европейски. Беше човек-ангел, демократ по природа, деликатен в отношенията си. Имаше голямо сърце. Той обичаше хората, беше хуманист от голяма класа. Дълги години ръководи Академията и беше безупречен. Едва ли мога да посоча друг пример за толкова честно изпълнен дълг към българската наука и към България".*** А акад. Георги Наджаков, откривател на „фотоелектретното състояние на веществото", на чиято основа „Ксерокс" създава първите фотокопирни машини, пише: ***„Знаете ли какво смятам за свое най-голямо откритие? Това е академик Ангел Балевски. Открих го случайно. Беше инженер в една леярна. Почти насила го направих професор. И както виждате, не сбърках".***

За съжаление, както често става в живота на големите личности, в последните си години той изпита горчилката на неблагодарността. И написа:

От помислите мрачни, тежки,
от клеветите и от подлостта-
от всички гадости човешки,
най-грозна е неблагодарността.

Той страдаше не затова, че бе лично огорчен, а заради отрицателните черти в националния ни характер, които намериха почва за да покълнат. Тези, които охулиха акад. Балевски, го направиха от страх и злоба. Страхуваха се от неговото име, от неговия авторитет, от високата му култура. Защото пречеше на прибързаните им политически сметки. Но името и делата на Балевски остават, а от тези, които нагласиха охулването му, почти не остана и следа.

Той страдаше и затова, че страдат хората, които обича, изпаднали в бедност:

Тъй грозно денят ме обременява
с бруления шум и тъпа суета,
и гледката на безнадеждна беднота
душата ми жестоко наранява.

В този живот всеки има някаква мисия. А неговата творческа мисия още не бе завършила. Коварна болест ни го отне. Той имаше още какво да каже и да остави след себе си. Да, скъпи мъдрецо! Ние, твоите приятели и последователи, ще продължаваме да водим разговор с теб в този объркан свят. Приеми с твоята благородна душа нашия малък жест – юбилейното честване на сто годишнината от твоето рождение.

Биографична справка. БАЛЕВСКИ, Ангел Тончев (15.04.1910 – 15.09.1997), основоположник на българското инженерно-техническо образование и на българската научна школа по металознание и технология на металите. Роден в гр. Троян. Остава сирак на 4 годишна възраст, загубил баща си след болест, придобита от участието му в Балканската война. Отначало учи в гр.Троян. Благодарение на всеотдайната си майка учи и завършва престижната III-та Мъжка гимназия в София. Взема заеми и с подкрепата на роднини заминава за Бърно, Чехословакия, където през 1934 г. завършва Немското висше техническо училище. Завръща се и до 1945 г. работи като инженер в фабриките за метални изделия „Верила" и „Чиличена ръка". Накрая създава в съдружие фабрика до гара Яна, където прилага нискотемпературния процес за добиване на чугун в къса барабанна пещ. Тази разработка обобщава в хабилитационен труд и **от извънреден (1945)** става **редовен професор (1947). Чл.-кореспондент** (1952) **и Академик** (1967)**. Е**един от основателите на новоразкрития през 1945 г. машинен отдел към Политехниката, както и основоположник и дълги години ръководител на катедра „Механична технология и фабрична организация", на която пряк наследник е сегашната катедра по „Материалознание и технология на материалите" към ТУ-София. Написва първите учебници у нас по машиностроителни технологии, фабрична организация, металознание и технологии на металите. Отначало, освен на леярските технологии, трудове му са посветени и на влиянието на механичните вибрации върху процесите на стареене на сплавите, релаксация на напреженията, пълзенето и др. Акад. Балевски и чл.-кор. Иван Димов са автори на българското изобретение „Метод за леене с газово противоналягане" (1961), който е уникален в световната леярска техника и е защитен с над 100 патентни документа у нас и в чужбина. Днес в света (от САЩ, Европа до Индонезия и Австралия) работят над 600 машини за леене с противоналягане, произведени у нас, като 120 от тях са в дава завода в САЩ и един огромен завод в Китай. Потреблението на тези машини расте и производството им у нас продължава. Най-ярка демонстрация на преимуществото на метода е използването на алуминиеви сплави като алтернатива на темперования чугун за изработване на тежко натоварени детайли в автомобилостроенето, като носачите от предния мост на ходовата на автомобилите и др. **Ръководни научни, образователни и други длъжности: Ректор** на Висшия Машинно-електротехнически институт (1966-68); **Директор** на Инженерния отдел към Българската академия на науките (1960-68); **Директор** на Института по металознание и технология на металите при БАН (1967-89); **Председател** на Българската академия на науките (1968-88); **Зам.председател** на Държавния комитет за наука и технически прогрес(1960-62); **Член** на Държавния съвет на Народна Република България (1971-89) и др. **Награди:** лауреат на **„Димитровска награда"** (1961, 1969); **„Заслужил деятел на науката"** (1966); **„Народен деятел на науката"** (1971); орден **„Св.Св. Кирил и Методи"** (I и II степен); златен медал **„М.В.Ломоносов"** на Руската академия на науките (1975); специален медал **„Николай Коперник"** – Полша (1973); Награда **„Korber"** за Европейска наука – Германия (1985); **„Златен медал"** на Френското общество за лансиране на научните изследвания и изобретателската дейност (1970); **„Командор на академичните палми"** – Франция (1979); международна награда **„CIAK"**- Италия (1979); **„Дизелов златен медал"** – Германия (1990) и др. Многобройните са златните медали и други награди от международни панаири и изложби за изобретението и мащабната реализация на леенето с газово противоналягане.

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

A SYSTEMATIC APPROACH TOWARDS VIRTUAL ENGINEERING

Jivka OVTCHAROVA

Abstract: *Virtual Engineering involves the early, continuous, interconnected (process view) and integrated (system view) support of the development process with respect to coordination, evaluation, and ascertainment of the development results of all partners with the help of Virtual Prototypes. The use of Virtual Reality as a visualization and validation environment allows developers, distributors, manufacturers, and customers alike to virtually handle the future product from its specification to service and recycling and to realistically assess it with regard to features and performance.*

Key Words: *product lifecycle, virtual validation, product optimisation.*

1. INTRODUCTION

Current industrial development is challenged by a growing complexity of product and process requirements, while drastically reducing time-to-market is viewed as one of the key competitive factors. Recently, strategies are being established to significantly improve the overall development process using less testing on physical builds in favour of various assembly checks, diagnosis, simulation, and risk analysis on digital models. Despite successful practice of *digital engineering*, there is evidence that putting advanced IT systems into development processes cannot in itself lead to a real "quantum" change to manage complexity and to achieve a decisively new level of process performance. As "the significant problems we face cannot be solved at the same level of thinking we were at when we created them" (Albert Einstein), a new engineering methodology is required comprising significant technological and business improvements in products, processes and services. This leads to the idea of *virtual engineering*, which refers to a range of scientific, technological, organisational and business activities using advanced information and communication methods and tools with major focus on process and systems integration, immersive visualisation and "human-machine-human" interaction. In particular, virtual engineering means that design and validation activities occur collaboratively in order to prove early product designs, support decision making and enable continuous product optimisation within interdisciplinary and cross-enterprise partnerships.

This causes an important redefinition of the overall product development process for supporting the coordination, assessment and concretion of engineering results of all involved partners with the support of virtual builds. The views of virtual engineering are integration of powerful information systems and tools within different tasks, from data generation and management to data sharing and communication (system view), network of processes and activities through the entire product lifecycle enabling continuous product validation and optimisation (process view).

Although there is still a big amount of research and development work to be done, industrial development is already making use of recent achievements in systems engineering, product lifecycle management, virtual reality technologies, as well as findings regarding cross-enterprise and cross-cultural communication in order to realise benefits of virtual engineering in short term and to position itself to extend these benefits in near future.

This paper outlines the scope and objectives of virtual engineering, and introduces a methodology based on an iterative process definition and an integrated process and IT-system platform. The underlying iterative process is divided into six steps - definition, creation, analysis, virtualisation, validation and tracking - which, while significant in their own right, are part of a collaborative learning cycle, adding value to every step of the development process. The paper is organized as follows: Section 2 and 3 outline the problem definition and the methodology of virtual engineering. In Section 4, a main concept is outlined. Section 5 summarizes the key innovations and advantages of virtual engineering.

2. PROBLEM DEFINITION

Radical advances in development and manufacturing of industrial products have been igniting efficiency explosions ever since Adam Smith introduced the division and specialization of labour, followed by Eli Whitney's idea of producing standardized and interchangeable machine parts and after Thomas Edison's idea of performing product development by a dedicated research and development group. These "quantum" breakthroughs are all examples of industrial processes which pushed industry to a new life competition leap. Even more recent quantum improvements of this nature have included the advent of *Computer Aided (CAx)* and *web-based technologies*, as well as of *Product Lifecycle Management (PLM)* and *Virtual Reality (VR).*

According to the representation of an innovation lifecycle, the radical process improvement is by nature almost "S"-shaped as shown in Figure 1, where the performance development of digital and virtual engineering are visualised by transition process curves. When a new methodology (in this case, virtual engineering) is initially implemented, performance improves slowly first, since there is a need of new engineering methods and tools causing an inertia (confusion, resistance, and a learning curve to surmount). After measurable success and increase of maturity, performance accelerates rapidly as the new methodology gains momentum, generates irrefutable results, adds value, and becomes widely adopted. This new methodology creates then an entirely new process performance curve that is discontinuous from the current one (in this case, digital engineering). It will use an entirely different methodological approach executing new business processes within entirely different organisational structures.

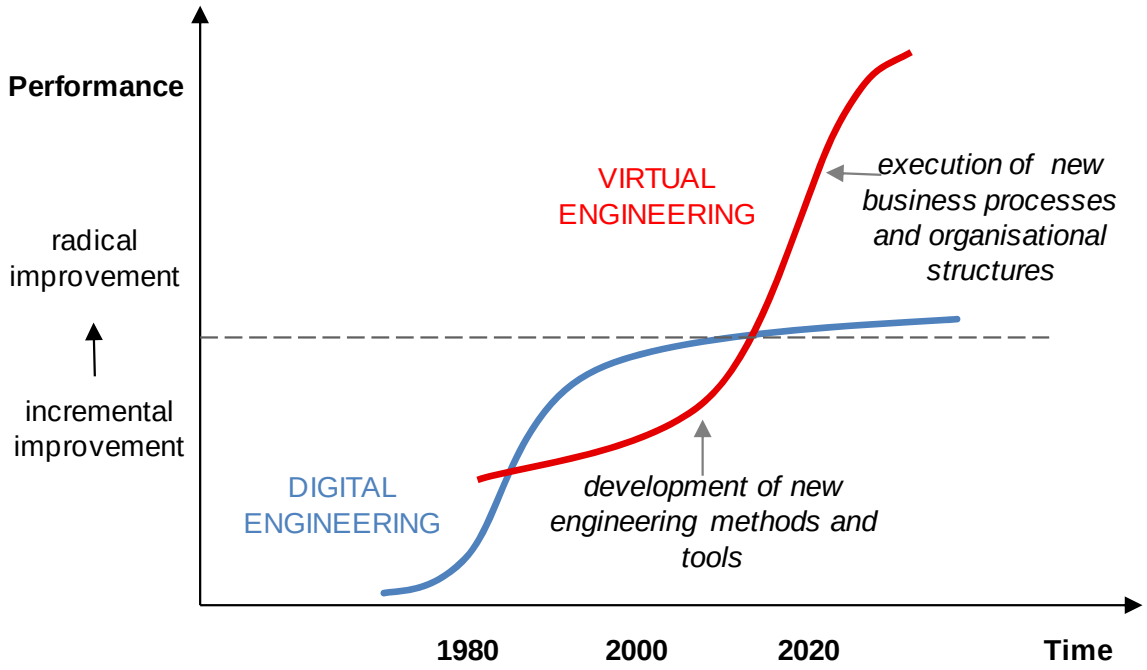


Fig. 1. Transition process curve

The use of digital engineering is by now 2010 on the verge of a process curve as shown in Figure 1. It is time for a new radical change because of several reasons. One of the main challenges of staying competitive today is compounded by the globalisation and the rapid change of knowledge and technology generations occurring every 3–5 years in many fields, such as software engineering, electronics and telecommunication. This time period is usually shorter than the technology adoption into the business processes, which requires scalable, fast and easy to use tools, as well as teams networking and communication of knowledge from the beginning.

Looking in particular on the use of advanced VR technology for engineering, it is somehow limited to very specific tasks in the product development, supported as mostly as an advanced feature of various CAx systems. However, it is typically used as a visualisation technology for design reviews or visibility simulations. In the more recent years, the interactive options of VR technology have also been discovered for special tasks like functional simulations or immersive surface design. Several tools integrate VR into the context of the Digital Mock-Up for cabling, functional and ergonomic simulation.

Moreover, current research in the field of VR is either directed to simply extend its applicability for various domains or to adapt the conceptual and technology basis to better exploit the options present today like increasing computing and graphics power, GRID computing, multi-modal interaction and so forth. Although there is a visible trend towards framework-based and component-based VR solutions for engineering, there is still a lack in at least two dimensions: *first,* with respect to technical concepts and interfaces for the integration of such solutions with specific IT and process infrastructures, and *second,* with respect to the methodological approach how to select the right technological option for a specific set of tasks in a given context.

Other main challenge for a transition towards virtual engineering is that an industrial product today has transformed from being just a means for fulfilling some function to something that can provide customer with options for enhanced comfort, emotional link, entertainment, and a mobility, etc. And, customer loyalty is quickly becoming elusive for most of the manufacturers as they can now gain or lose customers in the short term. Growing diversity of needs and wishes, higher subjective perception, increasing enthusiasm and emotional link as well as a stronger personal motivation for buying and using products are demanding superior quality products that meet specific, often unique, customer requirements. In this context, the optimization of development process up to serial production requires amongst others an early support of product review and validation as well as an integration of customer feedback.

3. METHODOLOGY

As far as the virtual engineering addresses complex engineering development topics with their interdependencies and interrelations, the consideration of the *entire product life cycle* gains more and more importance for the operational day-to-day business (Figure 2). Consequently, the overall mission of virtual engineering is the *early, continuous, networked (process view)* and *integrated (system view)* support of the entire product life cycle concerning collaboration, assessment, concretion and validation of products and processes with participation of all partners using virtual builds.

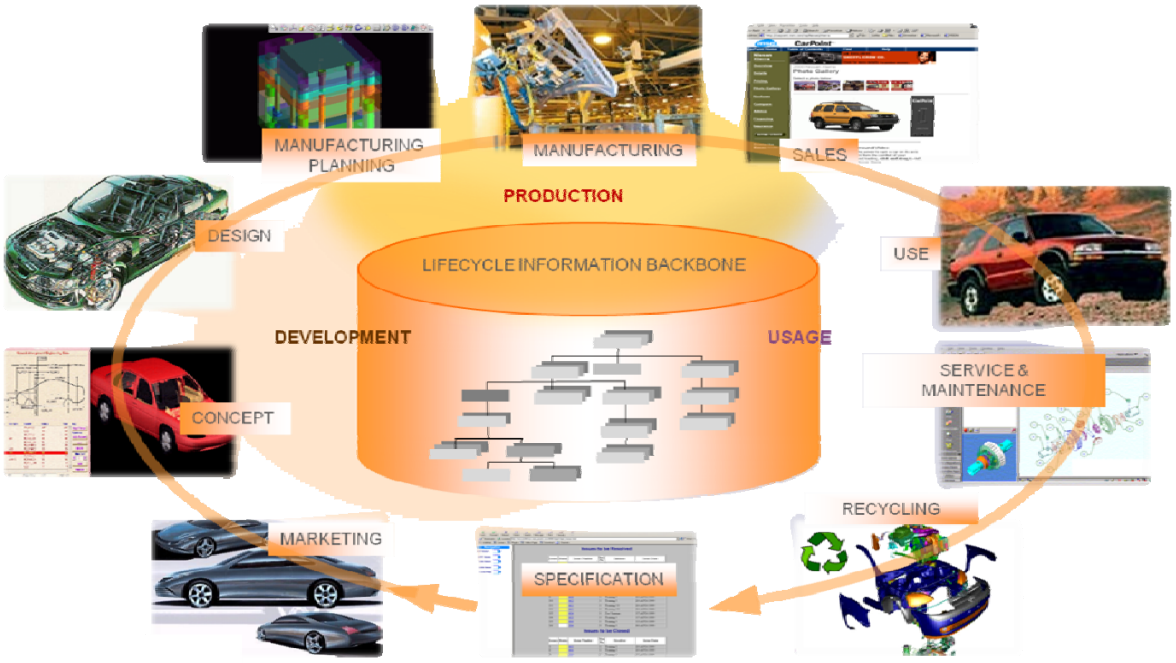


Fig. 2. Product lifecycle focus in the automotive industry

The subject of virtual engineering not only affects processes on the operative level of product development but also aspects of early corporate and strategic development. In particular, the goal is to achieve a significant reduction of product development time through early completion of the product concept by means of *collaborative "design-build-test" activities* and early allocation of resources. Looking closely at early product development, the key problem to be solved lies in the early uncertainty resolution (Figure 3, according to automotive engineering). The more uncertain the upstream activities, the more engineering changes will occur during the development. As well-known, engineering changes become more difficult to implement the later they occur, as it takes more time to

adjust work by other activities that are done concurrently. Where uncertainty originates (e.g., rapidly changing market requirements, insufficient definition of early development phases, inadequate organizational capabilities, lack of appropriate information management and decision support tools, etc.) and how it can be estimated is still a subject for future research. In an industrial context however, early uncertainty resolution is recognized as a *collaborative learning activity*, characterized by various "design-build-test" loops and a highly iterative process which relies on experiencing product development performance and quality based on validation.

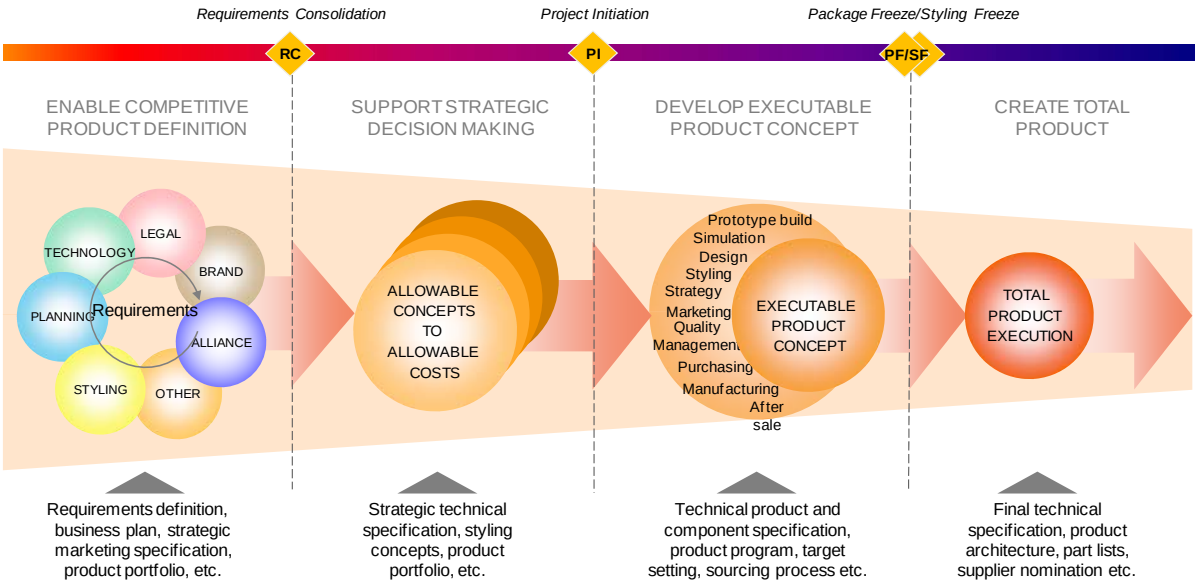


Fig. 3. Early vehicle development phases

In particular, virtual engineering in the early product development means learning how fast sufficient knowledge about the product can be accumulated in order to put it into a final product design. The current design and engineering praxis involves the *extensive use of digital models*, which are helpful, but not particularly efficient for testing and learning. After building digital models, problems are identified and fixed allowing the continue climbing of the knowledge curve. However, a test-based problem-solving creates large, time-consuming loops of remediation, as problems are successively and disruptively analysed, investigated, and then solved. This process, which progresses from the early prototypes through product validation builds, results in a product development path that doesn't follow the ideal time-and-cumulative-knowledge path toward product completion (Figure 4).

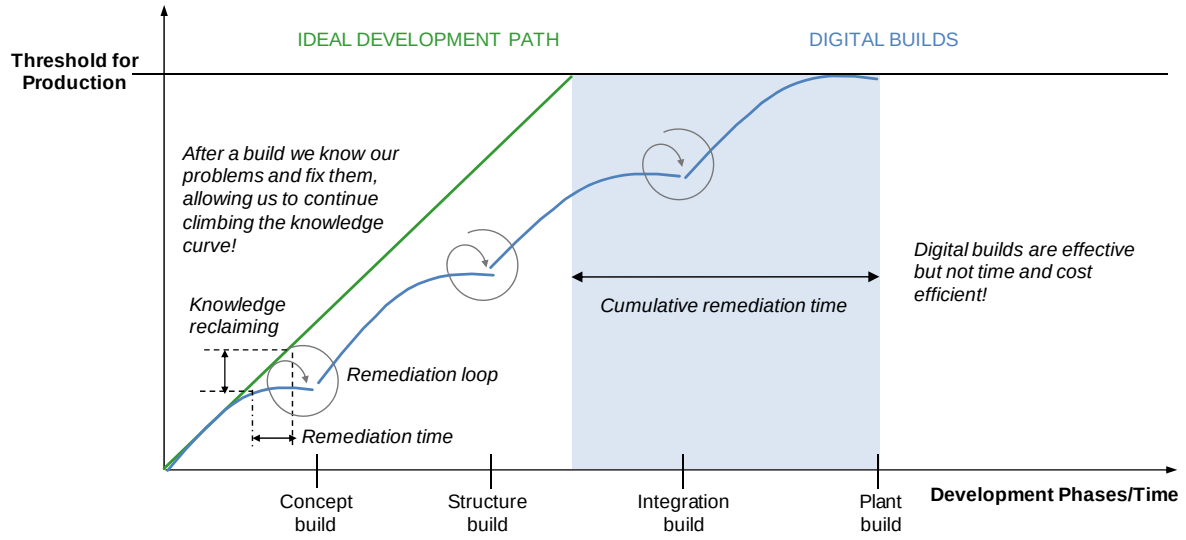


Fig. 4. "Design-build-test" with digital engineering

The *use of virtual builds*, however, promises to significantly shorten product development time. Because the virtual build and validation processes occur concurrently, the number of learning circles is higher but the learning time is significantly shorter. As a result, the product development path is optimised, the cumulative remediation time is reduced, and there is the potential to save a substantial amount of development time and costs from the final outcome (Figure 5). Furthermore, the use of virtual reality as visualisation and validation environment allows developers, suppliers, manufacturers, and customers alike to virtually handle the future product from its specification to service and to realistically assess it with regard to features and performance.

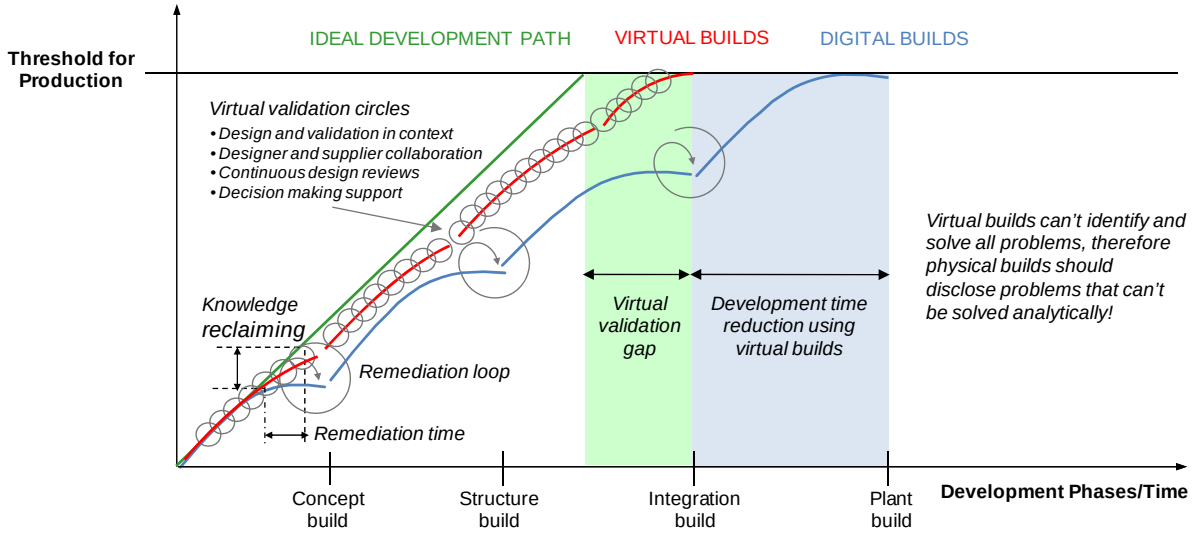


Fig. 5. "Design-build-test" with virtual engineering

Despite some success stories in using virtual builds and validations concurrently, there is recent evidence that simply overlapping activities can lead to additional expenses of development rework. Such rework may outweigh the benefits of parallel task execution. Therefore, in making its transition to virtual engineering, a concept is proposed that avoids the trade off by focusing on two major issues: first, iterative process definition divided into six main steps (definition, creation, analysis, virtualisation, validation and feedback) as parts of a collaborative learning cycle, and second, integrated process and IT-system support for data generation, data management, engineering operations, organisation and cross-enterprise collaboration.

4. CONCEPT OUTLINE

The **first crucial step** in implementing virtual engineering is the iterative process definition. The following interdependent sub-processes build an iterative loop, as shown in Figure 6:

DEFINITION. At the beginning of each project a global (master) product structure is available for supporting design and validation activities for all product variants through all building phases.

CREATION. Designing in the context of a product family requires the ability to easy create or modify parts linked into virtual assembly of any specific product variant. Primary input for this sub-process is the list of work parts, product year and family, product development stage and purpose of the design session (resulting in a revision rule), the product configuration, options, variant rules and filtering for those parts that are of interest, kept in the master product structure.

ANALYSIS. On the basis of part models, specific tests are performed using geometric analysis, topology optimizations, kinematic and dynamic multi-body simulations, as well as elasticity and deformation analyses. Because of the high data complexity usually a limited number of parts and components can be digitally tested.

VIRTUALISATION. In this sub-process, high-end visualisation of the parts of interest after specific product configuration is generated. The users are all working in the same context and collaboration is essentially instantaneous. They easily use visualisation tools to verify if certain changes are feasible.

(Note that “high-end visualisation” means immersive projection, e.g., for VR, enabling real time interaction with large data sets, e.g., full virtual builds. It is suitable for supporting working sessions of large development teams.)

VALIDATION: There are several functions for virtual analysis, such as clearance and collision detection, assembly check, check for serviceability, kinematics and dynamics checks, as well as accessibility (e.g. for assembling in the production) and ergonomic verifications.

FEEDBACK: The feedback sub-process supports different tracking scenarios including team reviews, conferencing with suppliers as well as management reviews. Based on the results of the design reviews, the user may need to select a new design context and visualize it (new visualization) or to update, add, replace, or remove components, thus generating a new product version (new configuration and update).

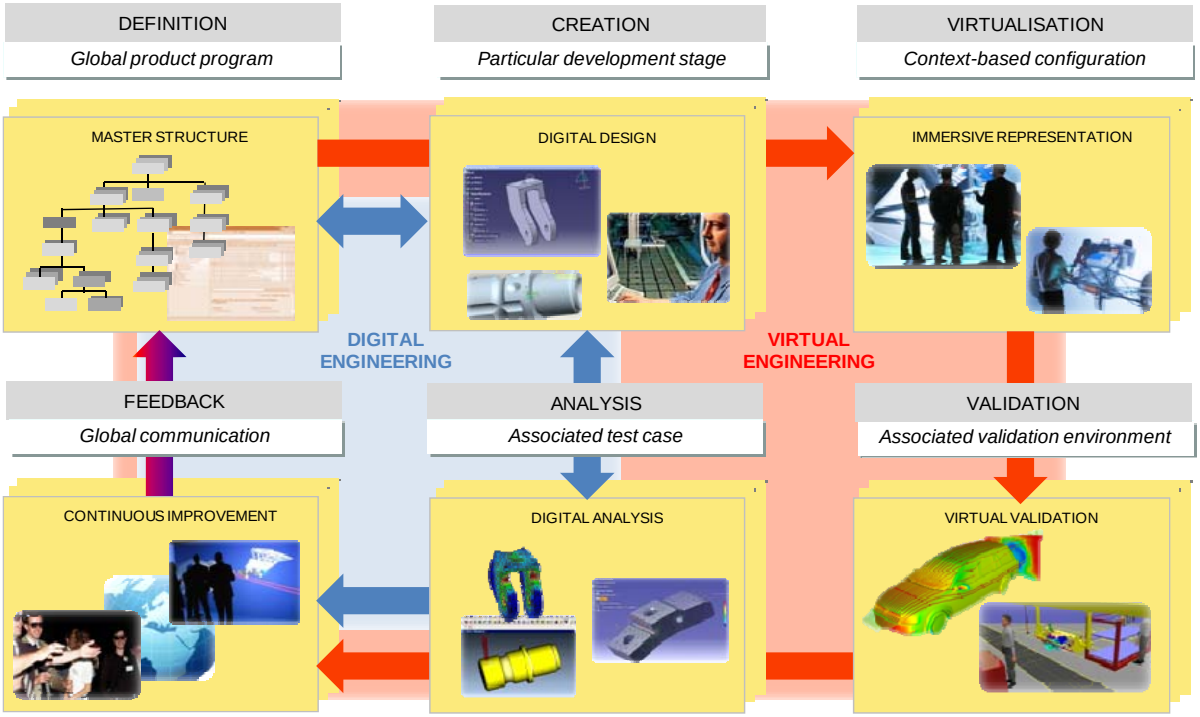


Fig. 6. Overview of the iterative process definition

The second crucial step in implementing virtual engineering is the integrated process and IT-system support. The following building blocks are necessary and sufficient as shown in Figure 7:

DATA GENERATION. The product data, generated in different formats are continuously used for further development, simulation, visualization and validation. Product data generated at this level are usually stored locally.

DATA MANAGEMENT. The structured and consistent management of product data concerning development, as well as enterprise resource planning, supply chain and customer relationships is the basis for efficient data integration between different phases of the product development process as well as data exchange between different organizations. The main functions of data management are amongst other change management, configuration management, enterprise wide document management, product structure management, etc.

ENGINEERING OPERATION. Engineering operations require data integration corresponding to particular engineering tasks, fulfilling preconditions such as the use of modular and standardized software packages, and the automated (bi-directional) interfaces between software packages for fast and complete data exchange using web-based services, etc.

ENGINEERING ORGANISATION. The engineering organisations are intended to support dynamic product adjustments, quantitative and qualitative resource distribution and management, variable

workflows, rules and guidelines, changes of objectives and deadlines throughout the course of the projects, as well as distributed project knowledge. Resulting requirements for virtual engineering are establishment and support of a process network, assurance that all processes and project relevant information are up to date, introduction of a goal and deliverable planning of processes, management of working (incomplete, fuzzy) process and project information, as well as a methodological support of process and project documentation. The virtual engineering supports the process network through establishment of virtual teams using e-collaboration, transition from predefined to dynamic workflows, integrated engineering workflow management, web-based project management, focus on a product maturity instead of milestone-based project progression and validation-driven development process using immersive visualisation for better understanding of interrelationships of results and boundary conditions.

ENGINEERING COLLABORATION. The focus of this building block is the adaptation of a process network to different projects and tasks, and the communication of results in different access profiles (planner, designer, project manager, etc.) for specific activities, for example distributed project management, dynamic access profile adaptation, etc. In particular, engineering portals (project portals, team portals, business portals, etc.) assure co-operation within and between OEMs and suppliers early, improve communication between OEMs and customers, integrate the knowledge of a continuously growing number of external experts, establish global engineering networks, manage complexity in global projects, etc.

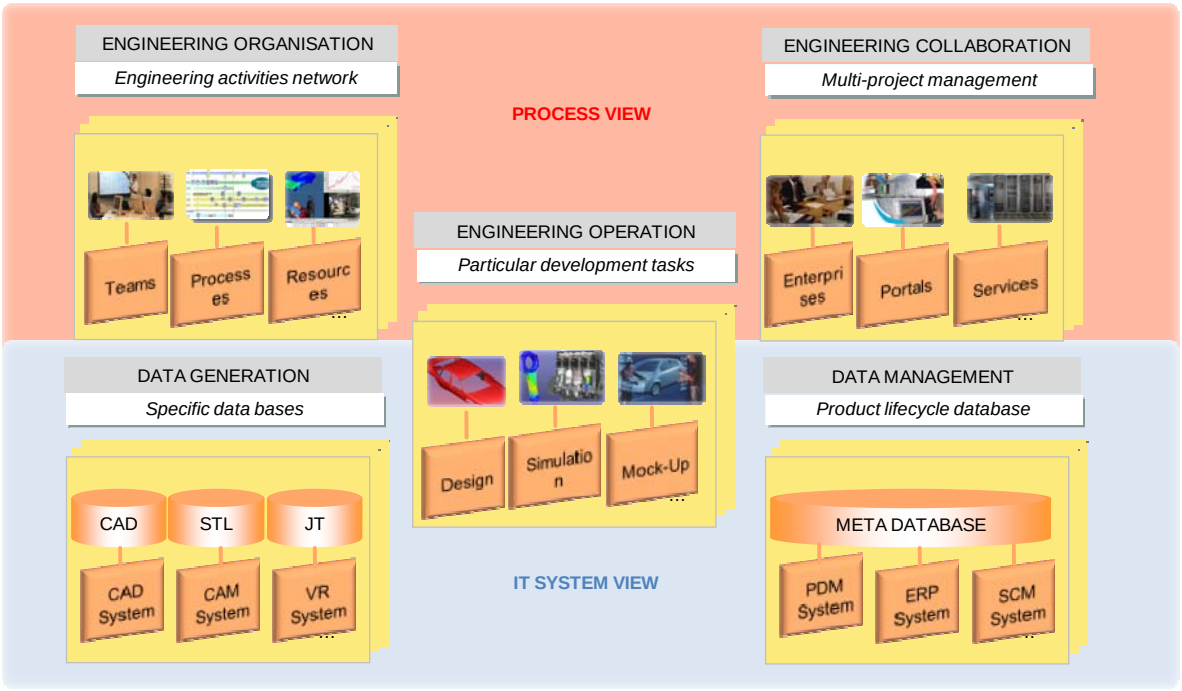


Fig. 7. IT-system and process view

5. CONCLUSION

This paper outlined shortly the scope and objectives of virtual engineering, and introduced a methodology based on an iterative process definition and an integrated process and IT-system environment. The concept of virtual engineering, as introduced in this paper, allows defining methods of work, workflows and processes in a comprehensible and reliable way. This helps process engineering in its entirety. Processes become transparent; therefore they can be better understood, re-defined, rated and optimised. As a result, technical and management decisions related to virtual engineering get substantiated, and can be justified, documented and communicated.

The key innovations and benefits of the outlined approach can be summarized as follows:

• Correct assembly & parts are persistently available through product data management from the beginning, eliminating “data shopping”, as well as consistent “design in context” capability.

• Design context configuration, enabling an easy background configuration while eliminating the build and maintenance of design assemblies. Repeatable way to configure revision and variant context while minimizing the amount of data that needs to be loaded to the CAD and VR systems.

• Quickly view of configured parts, components and product builds through easy manipulation of small and large assemblies and no preparation work for visualisation.

• Staging time to produce configured, correctly positioned, and visual models practically eliminated: opportunity to execute very short problem identification, solving & decision loops. Discrete design reviews no longer require long stating events, move from a detect error to a prevent error.

The savings using virtual engineering are result from a shorter development time through the elimination of data shopping and the elimination (through prevention and detection) of errors. All background data is present in everyone's session without the need to build up an individual design environment.

The potential business impact of virtual engineering consists of visibility of the up-front validation process, development of complete product and sub-systems rather than just component parts, management of overall product data eliminating data shopping, design in product context and in quality from the beginning, significant reduction of assembly errors and increased re-use of common component, automate design reviews as well as a fast product development.

Future development in virtual engineering focuses, among others, on providing seamless, transparent and intuitive interfaces between users and VR environments. The interfaces should follow human cognitive processes as well as natural interaction methodologies and allow engineering users to focus on their specific task. As a result, any incorporation to the machine interface should be minimized or even be made obsolete. As such, natural and intuitive human mindset and behavior should be assigned to the interaction within a virtual engineering environment.

CORRESPONDENCE

Prof. Dr. Dr. Ing. Jivka OVTCHAROVA
Karlsruhe Institute of Technology (KIT)
Institute for information Management in Engineering (IMI)
Adenauerring 20a, Bldg. 50.41 (AVG), Room 103
76131 Karlsruhe, Germany
e-mail: jivka.ovtcharova@kit.edu

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

MICRO AND NANO MANUFACTURING: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Stefan DIMOV

Abstract: *In recent years, manufacturing industry has witnessed a rapid increase in demand for micro products and micro components in many industrial sectors including electronics, optics, medicine, biotechnology and automotive. Examples of applications include medical implants, drag delivery systems, diagnostic devices, connectors, switches, micro reactors, micro engines, micro pumps, and printing heads. These microsystems-based products represent key value-adding elements for many sectors of industry and thus, an important contributor to a sustainable economy. As a result of this current trend for product miniaturisation, there is a demand for constant advances in micro engineering technologies and their integration in new manufacturing platforms. These platforms must enable both function and length scale integration in existing and new emerging products, and at the same time their cost effective manufacture in a wide range of materials.*

In order to contribute to the development of such complementary technologies, the Manufacturing Engineering Centre (MEC) at Cardiff University in collaboration with other partners in the 4M Network of Excellence, now self-sustain Association (www.4m-association.org), and the FP7 EUMINAfab infrastructure programme (www.euminafab.eu) has engaged in a micro and nano manufacturing research programme. The overall objective of this programme is to advance the state-of-the-art for serial manufacture of non-silicon micro components and thus complement already commercially available MEMS technologies. This talk will discuss the challenges and opportunities associated with the development of new micro and nano manufacturing platforms for multi-function multi-material products, and the need for technology convergence in order to benefit from a range of available or emerging technologies for low cost volume manufacture. Also, the talk will review the main findings and results of the MEC micro and nano manufacturing programme that are validated in feasibility studies and pilot applications in the last five years. In particular, special attention will be given to investigations into tool/master-making technologies, micro electro-discharge machining, laser machining, micro milling and focused ion beam, together with replication processes for serial manufacture, micro injection moulding and nano imprint lithography.

Key Words: *manufacturing, micro technology, nano technology.*

CORRESPONDENCE

Prof. Stefan DIMOV
Cardiff University, MEC
The Parade, Cardiff CF24 3AA, UK
e-mail: dimov@cf.ac.uk

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

НАНОРАЗМЕРНО СЪСТОЯНИЕ – ЕДИНСТВО НА ЖИВАТА И НЕЖИВА МАТЕРИЯ

Йовка ДРАГИЕВА

Резюме: *Познаването на наноразмерното състояние позволява със средствата на нанотехнологиите да се създават, коригират и поддържат с висока ефективност наноразмерните системи от неживата и живата природа на заобикалящия ни свят. И докато думичката „нано" е използвана често като основание за описание на някои явления в малки по размерност системи, за резултати, процеси и действия дори и в биологични обекти, които все по-успешно се визуализират с разработената и достъпна вече високотехнологична изследователска техника, у поколението по-възрастни преподаватели и опитни изследователи – „нано" предизвиква често изразяване на насмешка и недоверие към прецизността и точността на провежданите експерименти или се свързва с „модни тенденции".*

Настоящият обзор цели да обърне внимание на някои особености и добре известни факти относно наноразмерното състояние като състояние на свиващата се материя. Стреми се да запознае специалистите с интерес към технологични и технически съвременни решения с необходимия минимум знания относно възможностите, които дава тази област, превръщайки я категорично в световен приоритет за развитието на глобалната икономика. Една друга цел е да се изясни същността и възможността полезно да се използува наблюдаваното явление. Това изисква пълен достъп на гражданското общество и на потребителите до предлаганите вече масово на пазара нанопродукти (и услуги) от позицията на правилно взети решения, с ниво на компетентност и необходимата етика, присъщи на интелектуалните високоразвити общества и социално ангажирани институции от държавите на нашата планета. Няма държава от Европа (и от света), която да не е изразила и съответно доказала своето отношение към изследванията в тази област.

*Дават се конкретни примерни разработки (включително за България) и за развитието в САЩ на генерациите от наноматериали – **до 2000 - 1st generation products: Passive nanostructures -** coatings, nanoparticles, nanostructured metals, polymers, ceramics; **до 2005 - 2nd: Active nanostructures-**3D transistors, amplifiers, targeted drugs, actuators, adaptive structures; **до 2010-3rd: Nanosystems -** guided assembling; 3D networking and new hierarchical architectures, robotics, evolutionary , **до 2015 - 4th: Molecular nanosystems -** molecular devices 'by design', atomic design, emerging functions; **и едновременно сега: Converging technologies -** nano-bio-info from nanoscale, cognitive technologies; large complex systems from nanoscale, съгласно обзора на Националната фондация за научни изследвания на САЩ, публично представен през ноември 2009.*

МАТЕРИАЛОЗНАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ НА МЕТАЛИТЕ

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ABOUT THE CONCEPT OF APPLIED HARMONIZED STANDARDS FOR QUALITY ASSURANCE OF WELDED CONSTRUCTIONS - part I: Categorization of welded joints/constructions

Alexander ZHELEV **Georgi SAEV**

Abstract: In the reports is shown the concept of the three applied standards, railway vehicles *EN 15085*, steel structures *EN 1090-2* and unfired pressure vessels *EN 13445* in relation of the categorization of welded joints/constructions in the respective industry departments. The resulting gradation of the requirements to the quality assurance as well as finalization activities of proving conformity of the obtained properties, gives the right to put the CE sign to the finished products.

Key Words: Standards, railway vehicles, steel structures, unfired pressure vessels.

ОТНОСНО КОНЦЕПЦИЯТА НА ПРИЛОЖНИТЕ ХАРМОНИЗИРАНИ СТАНДАРТИ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЗАВАРЕНИТЕ КОНСТРУКЦИИ - I част: Категоризиране на заварените съединения/конструкции

Александър ЖЕЛЕВ **Георги САЕВ**

Резюме: *В докладите е изложена концепцията на трите приложни стандарта железопътни транспортни средства EN 15085, стоманени конструкции EN 1090-2 и ненагрявани съдове под налягане EN 13445 по отношение на категоризирането на заварените съединения/конструкции в съответните отрасли на индустрията. Произтичащото от него степенуване на изискванията към осигуряване на качеството, както и финализиращите дейности по доказване на съответствието на получените свойства, дава право да се постави знака CE на готовата продукция.*

Ключови думи: *стандарти, железопътни транспортни средства, стоманени конструкции, ненагрявани съдове под налягане.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Приложни стандарти са такива нормативни документи, които установяват общоприетите технически правила за извършване на всички дейности по изготвянето на даден продукт - *продуктов приложен стандарт*, или на различни конструкции, възли или детайли в определен отрасъл/сектор от регулираната област на индустрията - *отраслов приложен стандарт*.

Регулирана област в индустрията е тази, в която проектирането, изработването и експлоатацията на даден отраслов продукт трябва да се извършва в съответствие с нормативните изисквания и под контрол на надзорна отраслова институция, определена от държавата със съответен законов акт (наредба, указ и др.). В регулираната област използването на стандарти, които по начало не са задължителни, а препоръчителни за използване технически документи, придобива задължителен характер. Основание за това, кои стандарти са задължителни за използване в определена регулирана област е съответния нормативен държавен акт.

Понастоящем приложните стандарти имат основополагащо значение за управляване на качеството в производството. По същност въпросът за качеството съвсем не е „модна" или „престижна фасада" за една съвременна фирма, а абсолютно необходима, дълбоко осмислена и най-отговорно изградена „конструкция" на всеобхватна система за регулиране и осигуряване на минимално необходимото качество, гарантираща на фирмата равноправно и конкурентноспособно съществуване на пазара.

Проблемът за осигуряването на качеството (ОК) става още по-сложен в производства, използващи т.нар. ***специални процеси***. Съгласно стандартизационна поредица ISO 9000, която е основополагаща за осигуряване на качеството, заваръчният процес се идентифицира като „специален процес". ОК при него е възможно само ако се изпълнят определени изисквания, тъй като за качеството на „специалния" процес не може да се съди само по резултатите от контрола на качеството на произвеждания продукт в края на процеса на производството. Това практически означава, че за ОК се изисква спазването на определени „*специални"* процедури във всички етапи на създаването на продукта - от планирането до крайния контрол на готовия продукт.

Две са основните особености, характеризиращи заваряването като специален процес:

- При недостатъчно качество произведените посредством заваряване крайни продукти (например транспортни релсови средства, подемно-транспортни съоръжения, съдове под налягане, мостове, резервоари и др.) могат да представляват ***потенциална опасност за обществото*** – авария, експлозия и т.н.
- В резултат на извънредно сложното термо-механично въздействие на заваръчния енергиен източник (дъга, плазмена струя, лазерен лъч, електронен лъч и др.) върху материала е възможно да настъпи *деградация на свойствата на завареното съединения, т. нар.* ***металургични несъвършенства*** или ***отклонения****.* Те представляват изменения на механично-технологични свойства (намалена якост, жилавост, твърдост и др.) и на структурата на метала на завареното съединение (на шева и зоната на термично влияние) в сравнение с основния метал. Някои от тези металургични несъвършенства не са *видими* и не винаги могат да бъдат регистрирани чрез методите на неразрушаващото изпитване (NDT).

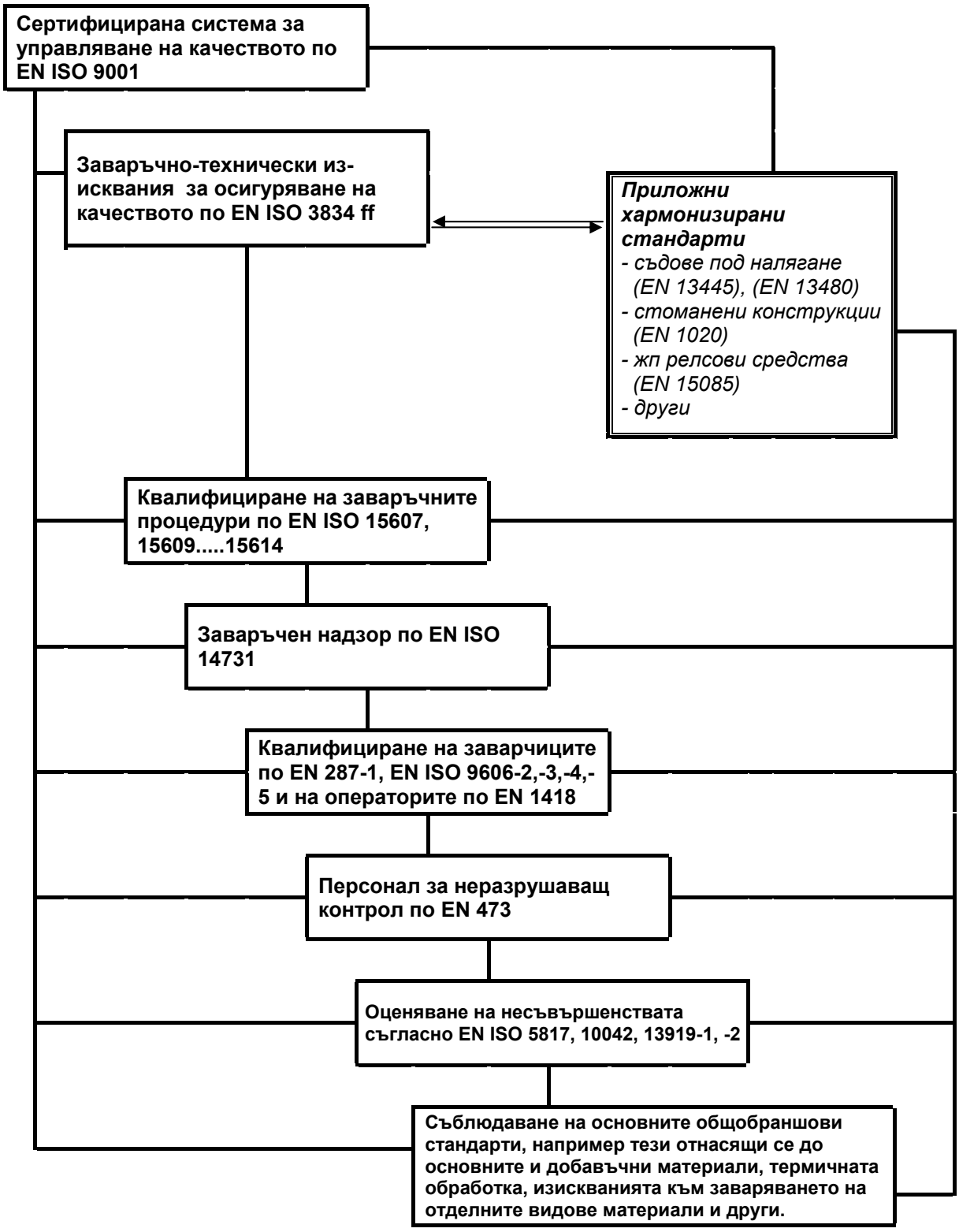
Както вече бе казано, основите на управляване на качеството са поставени в стандартизационната поредица ISO 9000 ff. В практиката много често ОК се свързва само с нея. Ако това е възможно за някои браншове на индустрията, то за областта на заваряването този стандарт е само основополагащият документ. За създаването на стройна система за ОК са необходими и други, специфични изисквания, съдържащи се в поредица от допълнителни нормативни документи, в които безусловно е залегнала основната концепция на EN ISO 9001, но разширена и пречупена през призмата на изискванията на заваръчното производство – фиг.1.

От фигурата се вижда, че ОК в заваряването започва с изграждане на система за управляване на качеството по EN ISO 9001. Тъй като в редица отношения този стандарт ***не покрива*** изискванията на заваръчния процес и за да се изпълнят изискванията на Европейските директиви, CEN/TC 121 и ISO/TC 44 разработиха стандартизационната поредица EN ISO 3834:2005 – части от 1 до 5 (заместваща стандарта EN 729 от 1994 г.), която трябва да се прилага във всички случаи на доказване на квалификацията/ компетенцията на производителя на заварени изделия. Стандартът EN ISO 3834 не измества, а допълва стандартизационната поредица БДС EN ISO 9000 в онези области, където специалният процес заваряване заема съществени измерения в производствения процес на дадена фирма.

По своята същност EN ISO 3834 представлява методика, с която производителят може да представи уменията си (компетентността) да изработва по принцип заварени продукти с установено качество. За целта в стандарта са изложени общи 22 елемента на качество, които производителят трябва да докаже, че може да изпълни и по този начин да гарантира своята компетентност. В зависимост от вида и обема на изпълнените елементи, производителят може да заяви пред съответна акредитирана организация, респ. при положителен одит, да получи сертификат за изпълнени „Обхватни изисквания към качеството" (съгласно част 2 на EN ISO 3834), „Стандартни изисквания към качеството" (съгласно част 3 на EN ISO 3834) или „Елементарни изисквания към качеството" (съгласно част 4 на EN ISO 3834).

Изпълнението на изискванията на EN ISO 3834 е възможно само при използване на пакет от допълнителни стандарти, регламентиращи основните елементи от ОК в бранша „Заваръчно производство" – например изготвянето и квалифицирането на заваръчните процедури (EN ISO 15607, 15609.....15614), квалифицирането на заваръчния и изпитващ персонал (EN ISO 14731, EN 287-1, EN ISO 9606-2,-3,-4,-5, EN 1418, EN 473), оценяване на несъвършенствата в заварените съединения (EN ISO 5817, 10042, 13919-1, -2), специфичните изисквания към заваряването на различните видове материали (EN 1011-1,2,3,4) и други.

Сертифицирането на даден производител по EN ISO 9001 и EN 3834 е акт, с които се удостоверява, че той е изградил и поддържа система за управляване на качеството, респ. че притежава компетентност да изработва заварена продукция. *За регулираната област* на индустрията обаче това не е достатъчно, тъй като тези стандарти не отразяват специфичните



Фиг.1 Базова нормативна система за осигуряване на качеството при заваряване в регулираната област на индустрията

особености на производството в съответната отраслова продукция – например производството на съдове под налягане, на строителни стоманени конструкции, на релсови транспортни средства и т.н. Тези особености се установяват в приложните отраслови стандарти. Както показва фиг.1 *за изграждането на система за ОК в регулираната област е необходимо да се докаже квалификацията на производителя на заварени изделия (сертифициране) и по съответния приложен стандарт*, напр. по EN 15085 за жп релсови средства, EN 1090 за носещи стоманени конструкции, EN 13445 за съдове под налягане, EN 13480 за индустриални

тръбопроводи и др. Нормативната система и в двата случая е идентична, нещо повече, приложните стандарти се базират на EN 3834 и се позовават на неговите изисквания.

Предприятие, което е сертифицирано по определен приложен продуктов или отраслов стандарт не е задължено да бъде сертифицирано и по EN 3834, но в негов интерес е да притежава този сертификат.

С разкриване на свободния пазар (1 януари 1993 г.) и въвеждането на Новата концепция ("New Approach") за осигуряване на свободно движение на стоки, услуги, физически лица и капитал в европейското икономическо пространство бяха разработени различни (европейски) директиви, с които се създават общите законови основания за всичките страни-членки на Европейската общност. Така например, за съоръженията под налягане (ненагрявани съдове, индустриални тръбопроводи и др.) действа директивата 97/23/EG, за железопътните транспортни средства директивата 2004/49/ EG, за строителните продукти директивата 89/106/EWG и т.н.

Европейските директиви установяват само основополагащите изисквания за сигурност. Изпълнението на законовите предписания се осигурява от така нар. ***хармонизирани*** (с „мандат") европейски стандарти. Такива са приложните стандарти в различните отрасли на регулираната област. Съответствието на определен продукт с изискванията на съответстващата европейска директива трябва да бъде освидетелствано от производителя или от упълномощена (акредитирана, изпитваща, надзорна, сертифицираща институция). На 22 юли 1993 г. Съветът на Европейските общности прие директива за модулните процедури за оценяване на съответствието и правилата за поставянето и използването на характеристичния знак за съответствието CE („Глобалната концепция/подход", "Global Approach to Conformity Assessment").

В областта на заваряването Европейския комитет по стандартизация (CEN) сравнително най-продължително и най-трудно разработва хармонизираните приложни стандарти, особено тези отнасящи се до:

- железопътните транспортни средства – EN 15085 (октомври 2007 г.)
- стоманените конструкции – EN 1090-2 (декември 2008)
- ненагряваните съдове под налягане – EN 13445 (в консолидиран вид излязъл в края на 2009 г.).

Причините за това са:

– от една страна, съществените различия в отделните национални стандарти и правилници, които традиционно са се утвърдили в продължение на много години, като например AD 2000, CODAP, PD 5500 (и трите за съдове под налягане), DIN 6700 (за жп транспортни средства), DIN 18 800 (за строителни стоманени конструкции) и др.,

– а от друга страна, новите приложни стандарти трябва да отразяват концепцията за осигуряване на качеството, съдържаща се в поредицата от стандарти (виж фиг.1), третиращи квалификацията на кадри, квалификацията на заваръчни процедури, изпитването, контрола и оценяване на качеството на заварените съединения и всички останали общо-браншови стандарти, част от които бяха окончателно разработени едва в последните години.

2. ОСНОВНИ АКЦЕНТИ В КОНЦЕПЦИЯТА ЗА ок НА ПРИЛОЖНИТЕ СТАНДАРТИ

Независимо, че актуалните приложни стандарти са разработени от различни технически комитети на CEN те в значителна степен са изградени на общите принципи на ОК в заваряването:

1. Философията на ОК на заварените конструкции се свежда до заваросъобразно проектиране/оразмеряване в зависимост от конкретните експлоатационни натоварвания и до квалифицирано производство, включващо на първо място заваръчните и контролно-изпитателни процеси.

2. Въвеждане на категоризация на заварените съединения (в дадено изделие) или на заварените конструкции като цяло с оглед на по-нататъшното степенуване на поставяните към тях изисквания и на процедурите за оценяване на съответствието.

3. Поставяне на изисквания за ОК към цялостния производствен процес и доказване на съответствието на използваните проектно-изчислителни методи и получените свойства и реални показатели на заварената продукция с поставяните изисквания в европейските директиви.

По-долу ще бъде направен кратък анализ на основните концепционни прилики и разлики при реализацията на тези акценти в три от най-важните приложни стандарти за регулираната област на индустрията - EN 13445, EN 15085 и EN 1090-2.

3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВИДА/КАТЕГОРИЯТА НА ЗАВАРЕНИТЕ СЪЕДИНЕНИЯ/КОНСТРУКЦИИ

Водещо начало при организиране на цялостната система за ОК за производството на дадена заварена конструкция е видът на експлоатационното натоварване и риска от него (безопасността или сигурността на конструкцията). На тази база се определя категорията на конструкционната част и/или класа на качество на заваръчните шевове. Всеки индустриален сектори е приел специфичен подход за оценяване на особеностите на заварените конструкции.

3.1 Видове класове на качество на заварените съединения в отрасъла „Железопътни транспортни средства" (EN 15085)

За оценяване на натоварването и сигурността на дадена конструкция или нейна компонента стандартът въвежда два критерия **„състояние на напрегнатост**" (високо, средно и ниско) и **„потребност от сигурност"** (голяма, средна и малка).

Състоянието на напрегнатост се определя в зависимост от използване на възможното натоварване (напрегнатост) съгласно табл.1. *Използваното натоварване* представлява отношението на наличните към допустимите напрежения в пресмятаното заварено съединение при съблюдаване на меродавния коефициент на сигурност.

Таблица 1 Състояния на напрегнатост

Състояние на напрегнатост	Използване на възможното натоварване/напрегнатост (S)		
	Стандартни стойности на якостта на умора	Стойността на уморната якост от циклично натоварване на представителни проби	
		Опция 1	Опция 2[a]
високо	$\geq 0{,}9$	$\geq 0{,}8$	$\geq 0{,}9$
средно	$0{,}75 \leq S < 0{,}9$	$0{,}5 \leq S < 0{,}8$	$0{,}75 \leq S < 0{,}9$
ниско	$< 0{,}75$	$< 0{,}5$	$< 0{,}75$
[a] Съответната гранична стойност трябва да се съгласува с клиента или с договорената организация			

Потребността от сигурност дефинира въздействието на отказа на отделен заварен шев по отношение на последствията за хората, съоръженията и околната среда. Потребностите от сигурност са подразделени както следва:

малка: отказът на заваръчния шев не довежда директно до влошаване на цялостната функция; няма вероятност за щети на хора.

средна: отказът на заваръчния шев води до влошаване на цялостната функция или до щети за хората от произтичащи от отказа събития;

голяма: отказът на заваръчния шев води до отказ на цялостната функция и до произтичащи от него събития, свързани с щети за хората.

В крайна сметка от комбинацията на двата критерия се определя минимално необходимия **„клас на качество/изпълнение"** за всеки заваръчен шев от конструкцията. Той се означава с **„CP"** (***c****lass of* ***p****erformance*) – табл.2.

Таблица 2 Избор на класа на качество на заварените шевове съгласно табл.2 на EN 15085-3

Състояние на напрегнатост	Потребност от сигурност		
	голяма	средна	малка
Високо	CP A	CP B	CP C2
Средно	CP B	CP C2	CP C3
Ниско	CP C1	CP C3	CP D

Класът на качество се определя във фазата на проектирането на конструкцията и се нанася във всички конструктивни чертежи. Той представлява отправната база за по нататъшното технологично планиране, респ. за производството/заваряването на изделието.

3.2 Видове класове на изпълнение на заварените конструкции в отрасъла „Стоманени и алуминиеви носещи конструкции" (EN 1090-2)

Тук се въвежда критерият **„клас за качество на изпълнени**е", който означава степенувани обобщени изисквания, които са установени по отношение изпълнението на цялата стоманена

конструкция, на отделни конструкционни части или на отделни детайли от конструкционната част, в зависимост от натоварването и отговорността им. Под изпълнение се има предвид всяка дейност по изготвянето на конструкцията, т.е. снабдяването с материали, производството, заваряването, механичното свързване, транспортиране, монтажа, повърхностната защита и принадлежащите към тях контрол/изпитване и документиране.

В актуалното издание на стандарта (EN 1090-2) се дава препоръчителна методика за определяне на класа на изпълнение, като се изхожда от постановката, че оразмеряването на конструкцията е проведено в съответствие със стандарта EN 1993, респ. EN 1994. По този начин се осъществява неразделна връзка между фазите на проектиране и изработване на тези конструкции.

Таблица 3 Критерии за категорията на натоварване съгласно табл.B.1 на EN 1090-2

категория	Характеристични особености
SC1	• носещи конструкции и части, оразмерени само за преобладаващо статично натоварване (например: сгради) • носещи конструкции и части с техните съединения, оразмерени за земетръсно въздействие в области с ниска сеизмичност и в DCL* • носещи конструкции и части, оразмерени за променливи натоварвания (умора) в кранове (клас S_0)**
SC2	• носещи конструкции и части, оразмерени за променливи натоварвания съгласно EN 1993 (примери: пътни и железопътни мостове, кранове (класове S_1 до S_9), чувствителни към трептения носещи конструкции при действието на вятър, пешеходци или ротиращи машини) • носещи конструкции и части с техните съединения, оразмерени за земетръсни въздействия в области със средна или висока сеизмичност в DCM* и DCH*
* DCL, DCM, DCH: класове на пластичност съгласно EN 1998-1 ** за класифициране на въздействията при променливо натоварване на кранове виж EN 1991-3 и EN 13001-1	

Класът за качество на изпълнение се определя в следната последователност:

а) най-напред се избира **„класа за аварийните последици”** (**CC1, CC2 и CC3** - във възходящ ред), който се изразява под формата на предвидими последици за човешкия живот, за стопанството или за околната среда в резултат на отказ или авариране на дадена конструкционна част; *приложение B* на стандарта EN 1990:2002 съдържа указания за избора на тези класове с оглед диференциране на надеждността;

б) следва избор на „**категорията на натоварване” (SC1 и SC2** – във възходящ ред**)** и на „**категорията на изготвяне” (PC1 И PC2)** – съответно в табл.3 и табл.4.

в) най-накрая се определя самия „**клас на изпълнение”** (**EXC1, EXC2, EXC3, EXC4** – във възходящ ред) на база на направения избор в т. а) и т. б) – табл.5.

Таблица 4 Критерии за категорията на изготвяне съгласно табл.B.2 на EN 1090-2

категория	Характеристични особености
PC1	• незаварени конструкционни части, изготвени от стоманени продукти на всички сортове стомана • заварени конструкционни части, изготвени от стоманени продукти на сортове стомана под S355
PC2	• заварени конструкционни части, изготвени от стоманени продукти на стоманени сортове S355 и нагоре • конструкционни части със съществено значение за експлоатационната сигурност, които се заваряват помежду си на строителната площадка • конструкционни части, които се изготвят чрез горещо формоизменение или които в процеса на изготвянето са подложени на термообработка • конструкционни части от кухи кръго-профилни решетъчни конструкции, които изискват особено рязани крайни сечения

Таблица 5 Препоръчвана матрица за определяне на класовете на изпълнение съгласно табл.B.3 на EN 1090-2

клас за аварийни последици		CC1		CC2		CC3	
категория на натоварване		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Категория на изготвяне	PC1	**EXC1**	**EXC2**	**EXC2**	**EXC3**	**EXC3**[a]	**EXC3**[a]
	PC2	**EXC2**	**EXC2**	**EXC2**	**EXC3**	**EXC3**[a]	**EXC4**

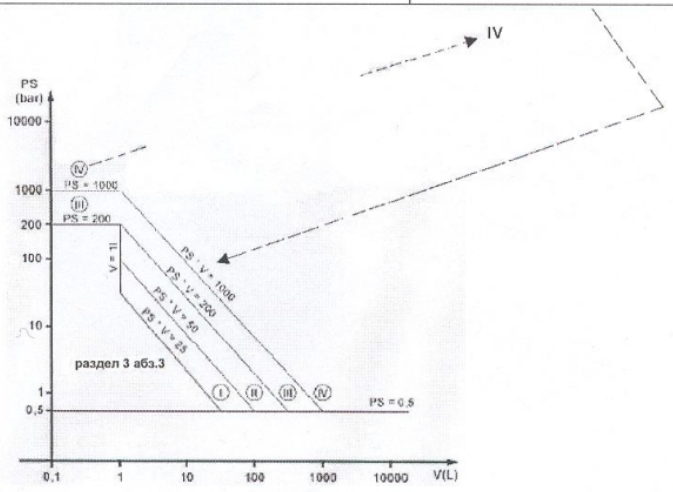
[a] Да се използва EXC4 при необикновени носещи конструкции или при носещи конструкции с големи аварийни последици, в съответствие с националните предписания

Дадена носеща конструкция или дадена конструкционна част може да съдържа части или детайли принадлежащи към различни категории на натоварване или на изготвяне.

3.3 Рискови категории на заварените конструкции в отрасъла „Съдове под налягане" (EN 13445)

В този стандарт натоварването и безопасността на конструкцията се разглежда в съответствие с постановките на Директивата за съдовете под налягане (ДСН) 97/23/EG, т.е. говори се за рискова категория на съда.

- вид на съда	***очистител***
- максимално налягане	***6 бара***
- обем	***1000 литри***
- приложение	***универсално***
- работен медиум	***газ ⇒ флуид група 1***
- дали изделието е изключено от директивата в смисъла на чл.1 (3), например: мрежи за снабдяване, далекопроводни системи и др.	***не, съд под налягане***
- дали изделието е част от обзавеждане с обезопасителни функции, например осигуряващи вентили и др.; ако да категория IV, евентуално да се категоризира като изделието, което ще осигурява	***не***
- дали е съд под налягане с пламъчно подгряване произвеждащо пара, например водно-тръбен котел	***не***
- установяване дали изделието е съд под налягане или тръбопровод	***очистител = резервоар***
- установяване дали медиумът е газ или течност	***универсален = газ***
- установяване групата на флуида : група 1 или група 2	***универсален = група 1***
- установяване на произведението max. допустимо налягане x обем	***6 x 1000***



- установяване на категорията	***по диаграма 1 → IV категория***
- избираеми модули	***B+D, B+F, G, H1***

Фиг. 2 Определяне на категорията на заварен съд под налягане (резервоар) при дадените параметри, респ. на модулите за оценяване на съответствието

Съдовете под налягане се класифицират в категории – от I до IV (по нарастващ потенциал на опасност) в зависимост от следните параметри:

- вид на съда и приложение – резервоари, подгрявани съдове под налягане (вкл. тенджери под налягане), тръбопроводи и детайли от съдовете с обезопасителни функции;
- вид на флуида – опасни флуиди (група 1) и останали флуиди (група 2)
- максимално налягане, PS (> 0,5 бара над нормалното атмосферно налягане)
- обем, V.

Категоризацията на съда определя метода за оценяване на съответствието, т.е. подхода, чрез който се установява изпълнението на изискванията по отношение на проектирането и изработването на съда под налягане за да се осигури неговата безопасна експлоатация. За целта директивата установява 9 диаграми („Диаграми за оценяване на съответствието"), от които може да се определи категорията на съда в зависимост от горепосочените параметри, а на базата на категорията – модулите за оценяване на съответствието, съгласно „Глобалната концепция/подход" (за модулите виж табл.12 във част II на доклада):

На фиг.2 е даден пример за определяне на категорията на съд под налягане и избора на модули за оценяване на съответствието съгласно ДСН 97/23/EG (диаграма № 1).

Стандартът EN 13445 не въвежда категоризация на заварените съединения по начина на изпълнение, както е в горните два стандарта. Концепцията на стандарта EN 13445 предвижда към всички съдове под налягане да се предявяват еднакви общи изисквания за ОК в процеса на производството на заварените съединения. Различията в изискваната безопасност на отделните категории съдове под налягане намира отражение в процедурите по изпитването (вид и обем на контрола и изпитванията) и начина на оценяване на съответствието в дадена категория – виж част II на настоящия доклад.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

проф. д.т.н. инж. Александър Желев
Технически университет
1000 София, бул."Климент Охридски" №8
e-mail: a_zhelev@yahoo.de

доц. д-р инж. Георги Саев
Технически университет
1000 София, бул."Климент Охридски" №8
e-mail:gsaev@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ABOUT THE CONCEPT OF APPLIED HARMONIZED STANDARDS FOR QUALITY ASSURANCE OF WELDED CONSTRUCTIONS – part II: Requirements and proof of conformity

Alexander ZHELEV **Georgi SAEV**

Abstract: In the reports is shown the concept of the three applied standards, railway vehicles *EN 15085*, steel structures *EN 1090-2* and unfired pressure vessels *EN 13445* in relation of the categorization of welded joints/constructions in the respective industry departments. The resulting gradation of the requirements to the quality assurance as well as finalization activities of proving conformity of the obtained properties, gives the right to put the CE sign to the finished products.

Key Words: Standards, railway vehicles, steel structures, unfired pressure vessels.

ОТНОСНО КОНЦЕПЦИЯТА НА ПРИЛОЖНИТЕ ХАРМОНИЗИРАНИ СТАНДАРТИ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЗАВАРЕНИТЕ КОНСТРУКЦИИ - II част: Изисквания и доказване на съответствието

Александър ЖЕЛЕВ **Георги САЕВ**

Резюме: *В докладите е изложена концепцията на трите приложни стандарта железопътни транспортни средства EN 15085, стоманени конструкции EN 1090-2 и ненагрявани съдове под налягане EN 13445 по отношение на категоризирането на заварените съединения/конструкции в съответните отрасли на индустрията. Произтичащото от него степенуване на изискванията към осигуряване на качеството, както и финализиращите дейности по доказване на съответствието на получените свойства, дава право да се постави знака CE на готовата продукция.*

Ключови думи: *стандарти, железопътни транспортни средства, стоманените конструкции, ненагряваните съдове под налягане.*

4. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИЗИСКВАНИЯТА КЪМ ОСИГУРЯВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО ПРИ ПРОИЗВОДСТВОТО НА ЗАВАРЕНИТЕ КОНСТРУКЦИИ

ОК при производството на даден заварен продукт изисква технологичните дейности да се извършват квалифицирано и по определена процедура. Общо взето приложните стандарти отнасят изискванията към:

- производственото предприятие като цяло (квалифициран заваръчен и контролно-изпитващ персонал, квалифицирани заваръчни процедури, подходящо заваръчно и друго обзавеждане и т.н.) – ***общи изисквания***, които обикновено се определят (степенуват) в зависимост от категорията на заварените съединения или конструкции;
- специфичните производствени дейности (подготовката на материалите и заваръчните краища, начина на монтажа, прихващане и заваряване, почистване и допълнителна обработка, подгряване и допълнителна термична обработка и т.н.) – ***специфични изисквания***, които в по-голямата си част са еднакви за всички категории заварени съединения и конструкции за отрасъла.

4.1. Изисквания към ОК в отрасъла „Железопътни транспортни средства" (EN 15085)

Изискванията към вида и обема на изпитване на заварените съединения се описват в т.нар.**класове на изпитване СТ –** общо 4 на брой, които са функция на класа за качество на заваръчните шевове – табл. 6.

Таблица 6 Зависимост между състоянието на напрегнатост, потребността от сигурност, класовете за качество на заваръчните шевове, оценъчното равнище на несъвършенствата, класовете за изпитване и изпитването

Състояние на напрегнатост	**Потребност от сигурност**	**Клас за качество на заваръчния шев**	**Оценъчно равнище на несъвършенствата по EN ISO 5817**	**Клас за изпитване**	**Обемни изпитвания RT или UT**	**Повърхностни изпитвания MT или PT**	**Визуално изпитване VT**
високо	голяма	CP A	по-високи изисквания от B	CT 1	100%	100%	100%
високо	средна	CP B	B	CT 2	10%	10%	100%
високо	малка	CP C2	C	CT 3	не е необходимо	не е необходимо	100%
средно	голяма	CP B	B	CT 2	10%	10%	100%
средно	средна	CP C2	C	CT 3	не е необходимо	не е необходимо	100%
средно	малка	CP C3	C	CT 4	не е необходимо	не е необходимо	100%
ниско	голяма	CP C1	C	CT 2	10%	10%	100%
ниско	средна	CP C3	C	CT 4	не е необходимо	не е необходимо	100%
ниско	малка	CP D	D	CT 4	не е необходимо	не е необходимо	100%

Таблица 7 Изисквания към заваръчните предприятия съгласно EN 15085-2

	Сертификационна степен			
	CL 1	**CL 2**	**CL 3**	**CL 4**
Сертифициране на производителя	необходимо	необходимо	не е необходимо	необходимо
Класове за качество на заваръчни шевове	CP A до CP D	(CP C1), CP C2 до CP D	CP D	CP A до CP D
Изисквания към осигуряване на качеството	EN ISO 3834-2	EN ISO 3834-3	EN ISO 3834-4	EN ISO 3834-3
Отговорен заваръчен надзор	степен A	степен B или C	не е необходим	за зав. конструкции: - CL 1: степен A - CL 2: ст. B или C
Заместник на заваръчния надзор	заместник: степен A следващ заместник: степен B или C	заместник: степен C	не е необходим	не е необходим
Заварчици/ оператори	за всеки заваръчен процес и група материали са необходими заварчици, положили изпит по EN 287-1 (за стомана) и EN ISO 9602-2 (за алуминий) и оператори, положили изпит по EN 1418			не се отнася
Изпитващ персонал	✓ изпитващ персонал, необходим за изпитване на заваръчното качество; ✓ надзорен персонал, необходим за изпитване на заваръчното качество: отговорно надзорно лице в заваряването (не се отнася за CL 3); ✓ изпитващ персонал за неразрушаващо изпитване: степен 1- EN 473; ✓ надзорен персонал за неразрушаващо изпитване: степен 2 - EN 473;			не се отнася
Спецификации на заваръчни процедури	WPS според: стандартизационната поредица EN ISO 15609 или EN ISO 14555 или EN ISO 15629			не се отнася
Спецификации на заваръчни процедури	Доказване с WPQR според: EN ISO 15610, EN ISO 15611, EN ISO 15612, EN ISO 15613, EN ISO 15614 или EN ISO 114555 или EN ISO 15620 (подробности виж EN ISO 15085-4) За CP D, само ако се изисква по договор		WPS се квалифицира чрез WPQR, само ако се изисква по договор	не се отнася

Общите изисквания към заваръчното предприятие, които се задават в EN 15085-2, зависят от **сертификационната степен CL** (общо 4 на брой) и са посочени табл.7.

Специфичните изисквания към качеството на изготвяне на заварените изделия (основни и добавъчни материали, подготовка, монтаж, изпълнение на заваряването, контрол преди по време и след заваряването и т.н.) се разглеждат подробно в EN 15085-4.

Важна особеност в концепцията на стандарта е хармонизацията му с общите ОК-браншови стандарти. По принцип изискванията към заваръчното производство трябва да отговарят на основополагащия стандарт EN 3834 (без необходимост от специално сертифициране). Изискванията към заваръчния и контролно-изпитващ персонал и към начина на квалифициране

на заваръчните процедури се дава също в съответствие с хармонизираните европейски стандарти (EN 287-1, EN 14731, EN 473, EN 15607…15614 и др.). Оценяването на несъвършенствата на заваръчните шевове се извършва в съответствие с EN ISO 5817, но се добавят и *допълнителни изисквания* за най-високия клас на качество ***CP A*** (виж табл.6).

4.2. Изисквания към ОК в отрасъла „Стоманени носещи конструкции" (EN 1090-2)

Изискванията към изготвянето на заварените конструкции в зависимост от класа на изпълнение са систематизирани в нормативното *приложение А* на EN 1090-2 – **табл. 8.**, като отделните детайли се разглеждат подробно в текста на стандарта.

Таблица 8 Изисквания в зависимост от класа на изпълнение (извадка от табл.А.3)

Раздели	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
4.2 Документация на производителя				
4.2.1 за качеството	не (няма изискване)	да	да	да
5.2 Конструкционни материали – възможност за идентифициране, контролно-изпитни свидетелства (сертификати) и проследимост				
сертификати	табл.1 (в стандарта)	табл.1 (в стандарта)	табл.1 (в стандарта)	табл.1 (в стандарта)
проследимост	не	да (ограничена)	да (напълно)	да (напълно)
обозначение	не	да	да	да
6 – Подготовка и монтаж				
6.2 Възможност за идентифициране	не	не	готови части / изпитни свидетелства	готови части / изпитни свидетелства
6.4 Рязане				
6.4.3 Термично рязане	-без съществени несъвършенства -твърдост по табл.10 (ако се изисква)	-EN ISO 9013 u=област 4 Rz5=област 4 -твърдост по табл. 10 (ако се изисква)	-EN ISO 9013 u=област 4 Rz5=област 4 -твърдост по табл. 10 (ако се изисква)	-EN ISO 9013 u=област 3 Rz5=област 3 -твърдост по табл. 10 (ако се изисква)
6.5 Формоизменение				
6.5.3 Пламъчно изправяне	не	не	да се разработи подходящ метод	да се разработи подходящ метод
6.6 Пробиване на отвори				
6.6.3 Изпълнение	щанцоване	щанцоване	щанцоване+ райбероване	щанцоване+ райбероване
6.7 Изрязвания	не	минимален радиус: 5 мм	минимален радиус: 5 мм	минимален радиус: 10 мм не се допускат щан-цовани изрязвания
7 – Заваряване				
7.1 Общо	EN ISO 3834 - 4	EN ISO 3834 - 3	EN ISO 3834 - 2	EN ISO 3834 - 2
7.4 Квалифициране на заваръчните процедури и на заваръчния персонал				
7.4.1 Квалифициране на заваръчните процедури	не	виж табл.12 и табл.13	виж табл.12 и табл.13	виж табл.12 и табл.13
7.4.2 Заварчици и оператори	заварчик EN 287-1 оператор EN 1418	заварчик EN 287-1 оператор EN 1418	заварчик EN 287-1 оператор EN 1418	заварчик EN 287-1 оператор EN 1418
7.4.3 Заваръчен надзор	не	технически познания съгласно табл.14, респ.15	технически познания съгласно табл.14, респ.15	технически познания съгласно табл.14, респ.15
7.5 Подготовка и изпълнение на заваръчните дейности				
7.5.1 Подготовка на заваръчния шев	не	не	не се допускат не-обработени произ-водствени покрития	не се допускат не-обработени произ-водствени покрития
7.5.6 Монтажни спо-магателни части	не	не	използването им трябва да се уточни не се допуска рязане и стружко-обработка	използването им трябва да се уточни не се допуска рязане и стружко-обработка
7.5.7 Прихващащи шевове	не	квалифицирана заваръчна процедура	квалифицирана заваръчна процедура	Квалифицирана заваръчна процедура
7.5.9 Челни шевове	не	входящи и	входящи и изходящи	входящи и

7.5.9.1 Общо		изходящи планки, ако се изискват	планки	изходящи планки
7.5.9.2 Едностранни съединения			оставащи подложки без прекъсване	оставащи подложки без прекъсване
7.5.17 Изпълнение на заваръч. работи			да се отстраняват заваръчните пръски	да се отстраняват заваръчните пръски
7.6 Критерии за приемане	EN 5817 - оценъчно равнище D , ако се изисква	EN 5817 - оценъчно равнище C най-общо	EN 5817 - оценъчно равнище B	EN 5817 - оценъчно равнище B+
12 – Контрол, изпитване и коригиращи действия				
12.4.2 Контрол след заваряването				
12.4.2.2 Обем на контрола	визуално изпитване	Неразрарушаващо изпитване-табл.24	Неразрарушаващо изпитване-табл.24	Неразрарушаващо изпитване-табл.24
12.4.2.5 Коригиране на завар.съединения	не се изисква WPQ	съгласно WPQ	съгласно WPQ	съгласно WPQ
12.4.4 Работни изпити	Не	не	ако се изискват	ако се изискват

Курсивираните елементи се отнасят до цялостната надзорна система на изпълнението и са достъпни при обикновения избор на класа на изпълнение за цялата стоманена конструкция (останалите елементи се отнасят до детайлизирания избор на класа на изпълнение).

Прави впечатление, че таблицата 8 съдържа както общите изисквания към предприятието – елементите т.7.1, т.7.4, т.7.6, т.12.4.2, т.12.4.4, така и част от специфичните изисквания към заваръчния процес - т.5.2, т.6.2, т.7.5, а също и към другите технологични процеси – рязане (т.6.4), формоизменение (т.6.5), пробиване на отвори (т.6.6), изрязвания (т.6.7) и др. Това показва по-голямата диференцираност на подхода, с който се поставят изискванията, било от съображения за по-висока степен на сигурност или пък от необходимостта да се направят допълнения към универсалните предписания на EN 3834.

Както в стандарта EN 15085 и тук изискванията към ОК на заварените стоманени конструкции са хармонизирани с актуалните общобраншови стандарти - EN 3834 (без необходимост от специално сертифициране), EN 287-1, EN 14731, EN 15607…15614, EN ISO 5817 и др. И тук също се поставят *по-високи изисквания* по отношение на нивото на несъвършенствата (въвежда се ***ниво B+***) за най-високия клас на изпълнение EXC4 (елемент 7.6 в табл.8).

Общото впечатление за частта 2 на стандарта - „Технически правила за изпълнение на носещите стоманени конструкции", като цяло е, че съдържа комплексни и много детайлизирани насоки за производството на заварени съединения и редица нейни раздели могат да се приемат като готови технологични инструкции за директно използване.

4.3. Изисквания за ОК в отрасъла „Съдове под налягане" (EN 13445)

Концепцията на този стандарт по отношение на изискванията към заваръчния технологичен процес се различава от тази на предидущите стандарти (EN 15085 и EN 1090). Основните й положения могат да се сведат до следното:

🕮 заваръчно-технически изисквания са единни за всички типове съдове под налягане, т.е. те не се степенуват в зависимост от натоварванията или от рисковата група на изделието;

🕮 минималните изисквания към качеството на заваряване за всеки един съд под налягане трябва да отговарят най-малкото на ***стандартните изисквания за качество***, които лимитира стандартът EN ISO 3834-3; производителят декларира, че е изпълнил изискванията на стандарта и решава сам дали да изгради система за управляване на качеството;

🕮 водещо начало при изграждане на системата от заваръчно-технически изисквания е поведението на основните материали (стоманите) при заваряване и по-специално създаваните от тях трудности в производството, което рефлектира върху вида и обема на неразрушаващите изпитвания (*въвеждат се групи за изпитване* - виж по-долу).

Тези концепционни особености са причината изискванията към ОК да се разглеждат в различни части на стандарта: част 2 „Материали", част 4 „Производство" и част 5 „Инспекция и изпитване". Освен, че съдържа системата за подразделяне на материалите в групи и подгрупи в съответствие с CR ISO 15608:2000 (респ. ISO TR 15608:2005), част 2 съдържа и необходимата информация за предотвратяване на крехкото разрушаване на основния материал и на заварените съединения на базата на механиката на разрушаване.

За да се отговори адекватно на появяващите се при производството проблеми, в част 5 на стандарта се въвеждат така нар. ***групи за изпитване*** на заварените съдове под налягане

отнасящи се до неразрушаващите методи на изпитване (NDT), техния вид и обем. Групите на изпитване отчитат вида на групата на материала, максимално допустимата му дебелина, процеса на заваряване, обхвата на работната температура и коефициента на завареното съединение, който участва при оразмеряване на съда.

В табл.9 са систематизирани групите на изпитване, номерирани от 1 до 4 при низходящи нива на изпитване. Въведени са и ***подгрупи*** на изпитване за да може по-гъвкаво да се отговори на по-благоприятното поведение на ония стомани, които имат по-добра заваропригодност – стоманите от групи 1.1, 1.2 и 8.1. За тези стомани са оформени подгрупите 1b, 2b и 3b.

Таблица 9 Групи на изпитване за стоманени съдове под налягане (табл. 6.6.1-1 на EN 13445-5)

Изисквания	**Групи на изпитване** [a]						
	1		2		3		4
	1a	1b	2a	2b	3a	3b	[b, j]
Допускани материали [g]	1 до 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 9.3, 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 10	1.1, 1.2, 8.1	1.1, 8.1
Обем на NDT за главните заваръчни съединения (ЗС) [e, h]	100%	100%	100% - 10% [d]	100% - 10 % [d]	25%	10%	0%
NDT на други ЗС	определен за всеки вид заваръчно съединение в табл. 6.6.2-1 (на стандарта)						
Коефициент на ЗС	1	1	1	1	0,85	0,85	0,7
Максимални дебелини, за които се допускат специфични материали	Неограничено [f]	Неограничено [f]	30 mm за групи 9.1, 9.2	50 mm за група 1. 1, 8.1	30 mm за групи 9.1, 9.2	50 mm за група 1.1, 8.1	12 mm за групи 1.1, 8.1
			16 mm за групи 9.3, 8.2 [f],10	30 mm за група 1. 2	16 mm за групи 8.2, 10	30 mm за група 1.2	
Заваръчни процеси	Неограничено [f]	Неограничено [f]	Само за напълно механизирано заваряване [c]		Неограничено [f]	Неограничено [f]	Неограничено [f]
Обхват на работни температури	Неограничено [f]	Неограничено [f]	Неограничено [f]	Неограничено [f]	Неограничено [f]		Ограничено в (-10 до +200°C) за група 1.1 и в (-50 до +300°C) за група 8.1

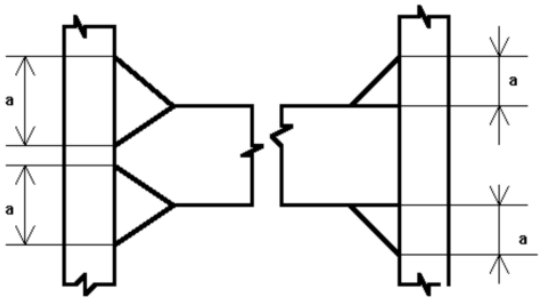
[a] Всички групи на изпитване изискват 100% визуално изпитване във възможно най-голям обем.
[b] Група на изпитване 4 трябва да се използва само за:
- флуиди група 2 ; и
- P_S < 20 bar; и
- $P_S.V$ < 20 000 bar.L над 100 °C; или
- $P_S.V$ < 50 000 bar.L - ако температурата е равна или под 100 °C;
- по-високо изпитване под налягане (виж член 10);
- максимален брой пълни цикли под налягане по-малък от 500;
- долно ниво на номиналните проектни напрежения (виж EN 13445-3).

[c] Напълно механизиран и/или автоматизиран заваръчен процес (виж EN 1418:1997).
[d] Първа цифра: начален, втора цифра: след задоволителен опит. За дефиниция на "задоволителен опит", виж т.6.6.1.1.4 (от стандарта)
[e] Подробности за изпитванията са дадени в табл. 6.6.2-1 (от стандарта)
[f] Неограничено означава, че няма допълнителни ограничения, дължащи се на изпитванията. Ограниченията, упоменати в таблицата са ограничения наложени от изпитванията. Други ограничения дадени в различни членове на стандарта (като проект, или ограничения за материала и т.н), също трябва да се взимат предвид.
[g] Виж EN 13445-2 за допускани материали.
[h] Процентът е в съответствие с процента на заваръчните съединения на всеки отделен съд.
[i] 30 mm за група материал 8.2 е позволено, ако се съдържа делта ферит в заваръчните консумативи, използвани за запълващите слоеве, но без декоративните слоеве.
[j] Ограничено за отделни секции на съдовете и отделни групи материали.

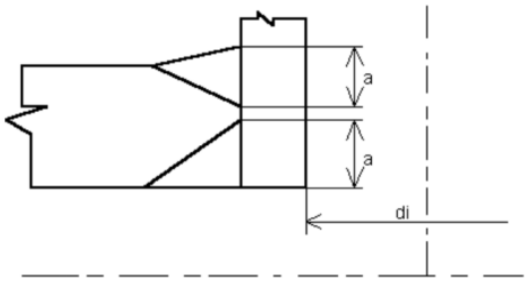
По принцип за целия съд под налягане се прилага една единствена група на изпитване, но се допуска и комбинация от различни групи на изпитване, за да могат да се спазят някои специфични изисквания.

Видът и обема на неразрушаващите изпитвания се определя за конкретните заварени съединения и възли по табл.10 (заедно с фиг.3 и фиг.4). Заварените съединения са онагледени графично на фиг.5.

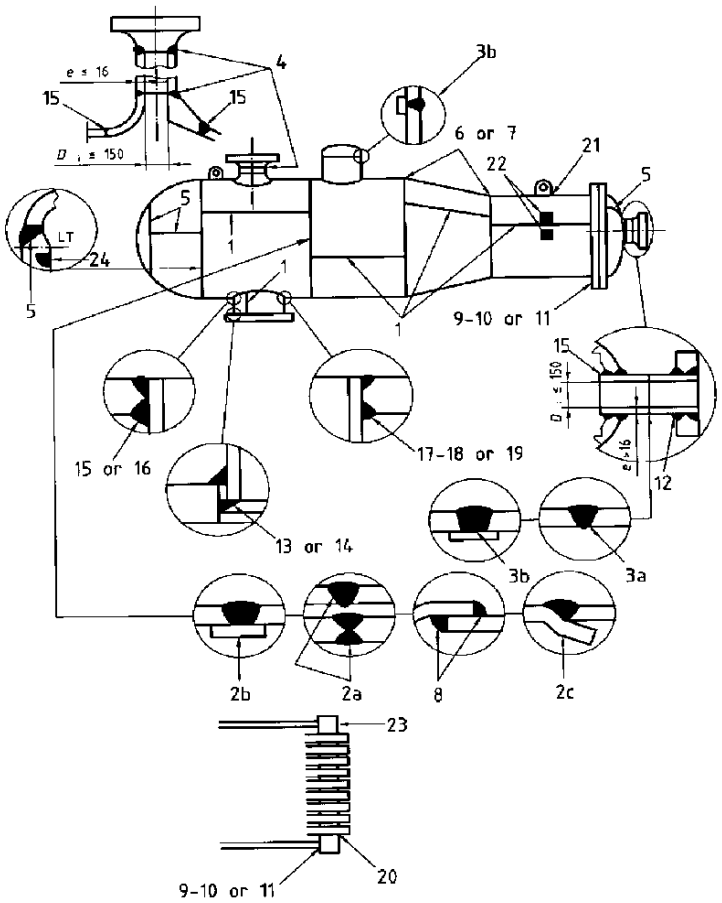
За оценяване на несъвършенствата на заварените съединения при NDT на всички видове съдове под налягане се изисква минимално ниво „С“ по EN ISO 5817 за преобладаващо статично натоварените съдове и ниво „В” за циклично натоварените съдове.



Фиг.3 Дефиниране на „а” за съединенията тип 10 и 11 на табл.10 (отговаря на фиг.6.6.2-1 от EN 13445-5) – виж още фиг.5



Фиг.4 Дефиниране на „а” за съединенията тип 17,18 и 19 на табл.10 (отговаря на фиг.6.6.2-1 от EN 13445-5) – виж още фиг.5



Фиг.5 Типове заварени съединения използвани в табл.10 (фиг.6.6.2-3 от EN13445-5)

Част 4 „Производство” съдържа много обширна информация за предявяваните специфични изисквания към ОК в заваръчното производство, вкл. за съпътстващите технологични процеси – пластично формоизменение, рязане, термична обработка и т.н.

Общите изисквания към производителя за ОК (квалификация на кадри, процедури, заваръчни и спомагателни съоръжения и т.н.) не са специфицирани отделно, но те трябва да бъдат по принцип изпълнени в съответствие с вече посоченото по-горе задължение, т.е. да бъдат изпълнени *стандартните изисквания за качество* съгласно EN 3834-3.

Таблица 10 Обем на неразрушаващите изпитвания (извадка от табл.6.6.2-1 на EN 13445-5)

Вид заварено съединение [a]			Изпитване [b]	Обем за групите на изпитване						
				1a	1b	2a [i]	2b [i]	3a	3b	4
				Обем за основните материали [l, m, n]						
				1 до 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 9.3, 10	1.1, 1.2, 8.1	8.2, 9.1, 9.2, 10	1.1, 1.2, 8.1	1.1, 8.1
Челни зав. шевове с пълен провар	1	Надлъжни съединения	RT или UT MT или PT	100% 10%	100% 10%[d]	(100-10)% 10%	(100-10)% 10% [d]	25% 10%	10% 10%[d]	0 0
	2a	Кръгови (напречни) съединения от корпуса	RT или UT MT или PT	100% 10%	25% 10%[d]	10%	(25-10)% 10% [d]	10% 10%	10% [c] 10%[d]	0 0
	2b	Кръгови (напречни) съединения от корпуса с оставаща подложка [k]	RT или UT MT или PT	NA NA	100% 10%	NA NA	25% 10%	NA NA	25% 10%	0 0
	2c	Кръгови (напречни) съединения с подпъхване като подложка [k]	RT или UT MT или PT	NA NA	100% 10%	NA NA	25% 10%	NA NA	25% 10%	0 0
	3a	Кръгови съединения на щуцери с D_i > 150 mm или e > 16 mm	RT или UT MT или PT	100% 10%	25% 10%[d]	(100-10)% 10%	(25-10)% 10% [d]	10% 10%	10% [c] 10%[d]	0 0
	3b	Кръгови съединения на щуцери с D_i > 150 mm или e > 16 mm с подложка [k]	RT или UT MT или PT	NA NA	100% 10%	NA NA	25% 10%	NA NA	25% 10%	0 0
	4	Кръгови съединения на щуцери с D_i □ 150 mm и e □ 16 mm	RT или UT MT или PT	0 100%	0 10%	0 (100-10)%	0 10%	0 10%	0 10%	0 0
	5	Всички съединения в сфери, дъна и полусферични дъна към корпус	RT или UT MT или PT	100% 10%	100% 10%[d]	(100-10)% 10%	(100-10)% 10% [d]	25% 10%	10% 10%[d]	0 0
	6	Възли – свързване на конични с цилиндрични части от корпуса под ъгъл □ 30°	RT или UT MT или PT	100% 10%	25% 10%[d]	(100-10)% 10%	(25-10)% 10% [d]	10% 10%	10% 10%[d]	0 0
	7	Възли – свързване на конични с цилиндрични части от корпуса под ъгъл > 30°	RT или UT MT или PT	100% 10%	100% 10%[d]	(100-25)% 10%	(100-25)% 10% [d]	25% 10%	10% 10%[d]	10% 0
Кръгови съединения с припокриване [k]	8a	Общо приложение - свързване на дъно към корпус	RT или UT MT или PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 0
	8b	Свързване на мембрани с корпуса, e □ 8 mm	MT или PT RT или UT	100% 0	100% 0	100% 0	25% 0	25% 0	10% 0	0 0
Възел – дъно/фланец или цилиндрична секция с цилиндричен корпус	9	С пълен провар	RT или UT MT или PT	100% 10%	100% 10% [d]	(100-10)% 10%	(100-10)% 10% [d]	25% 10%	10% 10% [d]	0 0
	10	С частичен провар, ако a >16mm (a както е показано на фиг. 6.6.2.-1) [j]	RT или UT MT или PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	25% 10%	10% 10%	0 0
възел – фланец или яка с корпус	11	С частичен провар, ако a □16mm (a както е показано на фиг. 6.6.2.-1) [j]	RT или UT MT или PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10%	0 10%	0 0
Възел -	12	С пълен провар	RT или UT MT или PT	100% 10%	100% 10% [d]	(100-10)% 10%	(100-10)% 10% [d]	25% 10%	10% 10% [d]	0 0

фланец или яка с корпус	13	С частичен провар [j]	RT или UT MT или PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10%	0 10%	0 0
	14	С пълен или частичен провар d □ 150 mm и e □ 16 mm [j]	RT или UT MT или PT	0 10%	0% 10% [d]	0 10%	0 10% [d]	0 10%	0 10%	0 0
Щуцер или тройник [e]	15	С пълен провар d >150 mm или e > 16 mm	RT или UT MT или PT	100% 10%	100% 25% [d]	(100-25)% 10%	(25-10)% 10% [d]	25% 10%	10% 10% [d]	0 0
	16	С пълен провар d □150 mm и e □ 16 mm	RT или UT MT или PT	0 100%	0 10%	0 (100-10)%	0 10%	0 10%	0 10%	0 0
	17	С частичен провар за всяко D_i a > 16 mm (виж фиг. 6.6.2-1)	RT или UT MT или PT	100% 10%	25% 10% [d]	(100-25)% 10%	(25-10)% 10% [d]	25% 10%	10% 10% [d]	0 0
	18	С частичен провар за D_i >150 mm a □ 16 mm (виж фиг. 6.6.2-1)	RT или UT MT или PT	NA NA	NA NA	NA NA	NA NA	0 10%	0 10%	0 0
	19	С частичен провар за D_i□ 150 mm a □ 16 mm (виж фиг. 6.6.2-1)	RT или UT MT или PT	0 100%	0 10%	0 (100-10)%	0 10%	0 10%	0 10%	0 0
Край на тръба, врязан в цилиндрична секция	20		MT или PT	100%	100%	100%	100%	25%	10%	0 0
Постоянни прихванати части [f]	21	С пълен или частичен провар	RT или UT MT или PT	25% [g] 100%	10% [d] 10%	10% 100-%	10% [d] 10%	10% 100%	10% 10% [d]	0 0
Зони с остатъчни напрежения след отстраняване на временно прихванати части	22		MT или PT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0
Платиране чрез наваряване h	23		MT или PT	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0
Ремонтирани участъци	24		RT или UT MT или PT	100% 100%	100% 100%	100% 100%	100% 100%	100% 100%	100% 100%	0 0

[a] Виж фигура 6.6.2-3

[b] RT = Радиографско изпитване, UT = Ултразвуково изпитване, MT = Магнитно-прахово изпитване, PT = Изпитване с проникващи течности, NA = Съединението не е приложимо

[c] 2%, ако e □ 30 mm и се прилага същата WPS като за надлъжни шевове, за стомани групи 1.1 и 8.1

[d] 10% ако e> 30 mm, 0% ако e □ 30 mm

[e] Процента посочен в таблицата се отнася до сумарната дължина на шевовете на всички щуцери (виж т.6.6.1.2b – от стандарта)

[f] Не се изпълнява RT или UT за шевове с дебелина на шева □ 16 mm

[g] 10% за стомани групи 8.2, 9.1, 9.2, 9.3 и 10

[h] Изпитване за вътрешни несъвършенства, ако има опасения за поява на пукнатини, причинени от свойствата на основния материал или от термична обработка

[i] За обясняване на намаляването на NDT за групи на изпитване 2, виж т.6.6.1.2 (от стандарта)

[j] В изключителни случаи или когато конструкцията или поведението на натоварването е критично, може да се наложи прилагането и на двата метода на изпитване (напр. RT&UT, MT&PT). Виж таблица 6.6.3-1 (от стандарта) за други обстоятелства на използване и на двата метода.

[K] За ограниченията на приложението виж EN 13445-3:2002, т. 5.7.3.2.

[l] Процента на изпитванията на повърхността се отнася до процента от дължината на заваръчните шевове, измерена и отвътре и отвън

[m] Методи RT и UT са за изпитване на обема, докато методи MT и PT са за изпитване на повърхността

[n] NA означава “не е приложимо”

Забележка:

Видовете съединения от № 1 до № 24 са посочени в примера на фиг.5

5. СЕРТИФИЦИРАНЕ И ДОКАЗВАНЕ НА СЪОТВЕТСТВИЕТО

Общо взето, клиентът този, който определя изискванията към функционалните и експлоатационни свойства на крайния продукт. Производителят може свободно да избере кои заваръчни процеси, материали, подготовка, изпълнение и др. да използва за изготвяне на изделието при условие, че ще докаже на клиента (ако това се изисква) състоятелността си да изпълни поставените от него изисквания и че разполага с пълноценен контрол върху производствения процес, предимно чрез:

- сертифициране на производителя;
- квалифициране на заваръчния персонал;
- квалифициране на заваръчния процес (заваръчни процедури и работни проби).

Производителят е задължен да декларира, че е постигнал необходимите качествени показатели на продукта (декларация за съответствие) на базата на проведена процедура, която се оценява от трета упълномощена организация. Европейските Директиви за съответния отрасъл съдържат конкретни указания и изисквания за изпълнение на процедурата за доказване на съответствието.

5.1. Сертифициране на производителя на жп транспортни средства по EN 15085-2

Стандартизационната поредица EN 15085 установява основната връзка между поставените във фазата на конструирането изисквания за качество и постиганото качество на заварените съединения във фазата на производството и контрола, като доказателство за достигнато крайно качество. На базата на класовете за качество на заварените шевове се определят сертификационните степени (виж табл.7 в I част), от които само степен CL3 не изисква сертифициране на предприятието.

Нормативният ход на сертификацията е посочен в EN 15085-1. В съответствие с Европейската директива за безопасност в железопътния транспорт 2004/49/ EG във всяка една от страните членки на ЕС се създава Национален орган за безопасност/сигурност, която трябва да определи упълномощената организация, която от своя страна да има правото да сертифицира производителите на ЖП транспортни средства.

След успешно проведен изпит на предприятието-производител в съответствие с EN 15085-2 сертифициращата организация издава сертификат удостоверяващ, че се изпълняват изискванията на настоящия стандарт, т.е. предприятието е квалифицирано и производителят може да издава декларации за съответствие на изработваните от него продукти. Насоките за изготвяне на декларация за съответствие са изложени в EN ISO/IEC 17050-1 и EN ISO/IEC 17050-2.

5.2. Доказване съответствието в отрасъла „Стоманени конструкции" (EN 1090-1)

Съгласно концепцията на този стандарт, главната роля за оценяване и достигане на съответствието с установените показатели, вкл. и с класовете на изпълнение, има производителят. За целта той трябва да изпълнява две основни задължения:

1) да провежда така нар. ***първоначален изпит;***
2) да извършва ***собствен*** или ***вътрешно-заводски контрол*** вкл. наблюдение/ контролиране и изпитване на изделията, които се взимат от текущото производство по твърдо установен от производителя план.

Легитимността на тази негова дейност, т.е. квалификацията на производителя трябва обаче да бъде доказана пред упълномощена организация чрез сертифициране, съгласно изискванията на директивата 89/106/EWG. За тази цел упълномощената организация провежда:

а) ***първоначална инспекция*** на завода и на вътрешно-заводския контрол;
б) ***текущо наблюдение, оценяване и признаване*** на вътрешно-заводския контрол.

На тази база упълномощената организация издава сертификат на производителя.

Стандартът подробно разглежда всички задачи на производителя и на упълномощената организация във връзка с изпълнението на горните изисквания.

При достигнато съответствие на свойствата/показателите на конструкцията с изискванията на този стандарт, производителят трябва да издаде ***декларацията за съответствие***, което му позволява да постави знака **CE** върху продукта. В декларацията наред с другите данни задължително се вписва и прилага сертификата.

5.3. Доказване на съответствието в отрасъла „Съдове под налягане" (CR 13445-7)

В процедурно отношение доказването на съответствието при изготвянето на съдовете под налягане се различава твърде много от този при ж.п. транспортните средства и носещите

стоманени конструкции. Разбира се, че и тук подходът се определя от европейската Директива за съдовете под налягане (ДСН) 97/23/EG.

Таблица 11 Резюме на модулите за оценка на съответствието

Модул		**Кратко описание на основните характеристики на модулите** [a]
A	Междинен производствен контрол	Извършва се с отговорността на производителя
A1	Междинни производствени проверки със запис на крайната оценка	Отговорността е на производителя, но крайната оценка е записана от упълномощената организация
B	Изпитване на тип ЕС	Производителят създава заедно с упълномощената организация сертификат от изпитване на тип ЕС
B1	Изпитване на проект ЕС	Производителят създава заедно с упълномощената организация сертификат от изпитване на тип ЕС
C1	Съответствие с тип	Извършва се за съответствие със сертификата за изпитване на тип ЕС с производството; записано от упълномощената организация
D	Осигуряване на качеството при производството	За производство производителят използва одобрена система за качество, както и за крайна инспекция и изпитване[c], за да покаже съответствие и със сертификата от изпитване на проект ЕС и със сертификата от изпитване на тип ЕС
D1	Осигуряване на качеството при производството	За производство производителят използва одобрена система за качество, както и за крайна инспекция и изпитване[c] и произвежда без сертификат от изпитване на проект ЕС или сертификат от изпитване на тип ЕС
E	Осигуряване на качеството на продукт	Производителят използва одобрена система за качество при крайна инспекция и изпитване [d] и доказва съответствие със сертификат от изпитване на тип ЕС
E1	Осигуряване на качеството на продукт	Производителят използва одобрена система за качество при крайна инспекция и изпитване [d] без сертификат от изпитване на тип ЕС
F	Проверка (верификация) на продукт	Извършва се по отношение на един от двата сертификата тип ЕС или проект ЕС чрез изпитване от упълномощената организация
G	Проверка (верификация) на комплект ЕС	Упълномощената организация извършва изпитването
H	Цялостно осигуряване на качеството	Производителят използва одобрена система за качество за проект, производство, крайна инспекция и изпитване [b]
H1	Цялостно осигуряване на качеството с проверка на проекта и специален надзор върху крайната оценка	Производителят използва одобрена система за качество за проект, производство, крайна инспекция и изпитване [b)]. Упълномощената организация издава сертификат от изпитване на проект ЕС и взема участие при крайната оценка.

[a] Това е само кратко и непълно описание. Пълно описание на задълженията, произтичащи от постановките на ДСН са дадени в Приложение III на Директивата.
[b] т.е. в съответствие с EN ISO 9001:2000 (или предишното издание EN ISO 9001:1994)
[c] т.е. в съответствие с EN ISO 9001:2000 (или предишното издание EN ISO 9002:1994)
[d] т.е. в съответствие с EN ISO 9001:2000 (или предишното издание EN ISO 9003:1994)

Таблица 12 Процедури за оценка на съответствието за различните рискови категории

Рискова категория на съда	**Модул или комбинация от модули** в случай на:	
	производител без система за осигуряване качеството	Производител със система за осигуряване качеството
I	**A**	
II	**A1**	**D1** или **E1**
III	**B1+F** или **B+C1**	**B1+D** или **H** или **B+E**
IV	**G** или **B+F**	**H1** или **B+D**

Основната философия на стандарта е, че производителят е отговорен за цялостното изпълнение на изискванията на EN 13445, в т.ч. инспекцията и изпитването. Той може да работи с или без одобрена система за осигуряване на качеството, но във всеки случай трябва да изпълнява заваръчно-техническите изисквания (стандартни) на EN 3834-3. Поради голямата отговорност на съдовете под налягане особено важна е ролята на Упълномощената организация, която по принцип може да се намесва във всички етапи на изготвяне на изделията.

Съгласно ДСН, най-напред производителят трябва да определи рисковата категория на съда под налягане. Впоследствие той избира модула или комбинация от модули за оценка на съответствието (от разрешените за приемане) за отделния съд (или серия от съдове).

Производителят трябва да подложи всеки съд на процедура за оценка на съответствието с основните изисквания на ДСН. Списък на процедурите за оценка на съответствието е даден в табл.11. Процедурите, които трябва да бъдат определени според рисковата категория на съда са дадени в табл. 12.

Таблица 13 Резюме на дейностите и участието на Упълномощената Организация за оценка на съответствието в елемента „Заваряване" (извадка от табл.С.4)

Категория на съда					**I**	**II**	**II**	**II**	**III**	**III**	**III**	**III**	**III**	**IV**	**IV**	**IV**	**IV**
Процедура за оценка на съответствието			**B**	**B1**	**A**	**A1**	**D1**	**E1**	**D (+B1)**	**F (+B1)**	**E (+B)**	**C1 (+B)**	**H**	**D (+B)**	**F (+B)**	**G**	**H1**
Обхват	Операции на инспекция	според EN1345 - 5:2002	**Участие на Упълномощената Организация по отношение на модулите за оценка на съответствието**														
Заваръчни спецификации	Проверка/верификация дали са в наличност подходящи заваръчни спецификации и дали тяхното съдържание е съвместимо с квалификациите на заваръчните процедури според изискванията на EN13445-4	6.1 и EN 13445-4	RA^a			RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA_{QS}	RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA	RA_{F1}
Квалификация на заварчици и оператори	Проверка/верификация на квалификацията на заварчика и заваръчния оператор: в наличност; валидна по време и валидна за производство	6.4.2	RA^a			RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA_{QS}	RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA	RA_{F1}

RA Дейности, които трябва да се извършват само от Упълномощената организация

RA_{QS} Дейности, които трябва да се наблюдават от Упълномощената организация през време на проверките върху системата по качество на производителя (периодични одити и неочаквани посещения)

RA_{F1} Дейности, които трябва да се наблюдават от Упълномощената организация през време на надзора върху крайната инспекция при производителя (неочаквани посещения)

[a] Посочените дейности се отнасят към тези, свързани с представителя на прототипа на съда от одобрения тип.

Таблица 14 Резюме на дейностите и участието на Упълномощената организация за оценка на съответствието в елемента „Неразрушаващо изпитване, NDT ” (извадка от табл.С.8)

Категория на съда					**I**	**II**	**II**	**II**	**III**	**III**	**III**	**III**	**III**	**IV**	**IV**	**IV**	**IV**
Процедура за оценка на съответствието			**B**	**B1**	**A**	**A1**	**D1**	**E1**	**D (+B1)**	**F (+B1)**	**E (+B)**	**C1 (+B)**	**H**	**D (+B)**	**F (+B)**	**G**	**H1**
Обхват	Операции на инспекция	според EN 13445-5	**Участие на Упълномощената организация по отношение на модулите за оценка на съответствието**														
Процедури за NDT	Проверка/верификация на: • подходящите процедури за NDT са в наличност • процедурите отговарят на изискванията на този стандарт	6.5.6	RA^a			RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA_{QS}	RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA	RA_{F1}
Квалификация на персонала за NDT	Проверка/верификация на валидността на квалификацията на персонала за NDT	6.5.2.6	RA^a			RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA_{QS}	RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA	RA_{F1}
Изпитване без разрушаване	Подробно изследване на всички радиограми и проверка на съответствието с протоколите от радиографията и приемателните критерии	6.5.3	RA^a				RA_{QS}		RA_{QS}	RA			RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA	RA_{QS}
	Наблюдение на други (без радиография)неразрушаващи изпитвания, както е определено в проекта	6.5.5 и 6.5.6	RA^a				RA_{QS}		RA_{QS}	RA			RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA	RA_{QS}
Протоколи от NDT	Проверка/верификация дали информацията и резултатите от протоколите от NDT съответстват на приемателните критерии	6.5.6	RA^a			RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA_{QS}	RA_{F1}	RA_{QS}	RA_{QS}	RA	RA	RA_{F1}

RA Дейности, които трябва да се извършват само от Упълномощената организация

RA_{QS} Дейности, които трябва да се наблюдават от Упълномощената организация през време на проверките върху системата по качество на производителя (периодични одити и неочаквани посещения)

RA_{F1} Дейности, които трябва да се наблюдават от Упълномощената организация през време на надзора върху крайната инспекция при производителя (неочаквани посещения)

[a] Посочените дейности се отнасят към тези, свързани с представителя на прототипа на съда от одобрения тип.

Производителят може да избере и една от процедурите, която се прилага за по-висока категория съд.

Видът и степента на намесата на Упълномощената организация в инспекцията и изпитването ще зависи от процедурата за оценка на съответствието, избрана от производителя. Участието на Упълномощената организация за всяка подходящо избрана процедура за оценка на съответствието е посочено в таблици по отделните елементи – общо 9 на брой (от табл. С.1 до табл. С.9 в приложение С). Като примери на табл.13 и табл.14 са дадени извадки от тези таблици, отнасящи се до елементите съответно „Заваряване" и „Неразрушаващо изпитване (NDT)".

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

🕮 И трите разгледани стандарти представляват хармонизирани нормативни документи, които в разгърнат вид прилагат техническите изисквания на съответните Европейски директиви по отношение изготвянето на заварени изделия в три основни отрасъла на регулираната област.

🕮 Докато изискванията на стандарта EN 15085 са адресирани изключително до технологичния процес "заваряване" при изработването на ж.п. транспортни средства, то стандартите EN 1090-2 и EN 13445 разглеждат изискванията към всички производствени процеси свързани с изготвянето на стоманени носещи конструкции и съответно на съдове под налягане.

🕮 Установява се, че и в трите приложни стандарти водещо начало при организиране на системите за ОК при изготвянето на заварени конструкции е видът на експлоатационното натоварване и риска/аварийните последици от него (респ. безопасността или сигурността на конструкцията). На тази база се определя "рисковата категория" при съдовете под налягане (EN 13445), „класа на качество на заваръчните шевове" в жп транспортни средства (EN 15085) или „класа за качество на изпълнение" при стоманените носещи конструкции (EN 1090).

🕮 Различия между трите приложни стандарта се установяват в подхода на прилагане на категоризацията на изделията, респ. на заварените съединения, която е необходима за по-нататъшното организиране на дейностите по ОК. Докато в стандартите EN 15085 и EN 1090 *класовете за качество* на шевовете, респ. *класовете на изпълнението*, служат общо взето за степенуване на *общите* и/или на *специфичните изисквания* към производствения процес, то в стандарта EN 13445 *рисковите категории* са предназначени основно за *оценяване на съответствието* на съдовете под налягане.

В последния случай (EN 13445) се приема, че заваръчно-техническите изисквания трябва да бъдат еднакви при изготвянето на всички съдове – най-малко да отговарят на „стандартните изисквания" съгласно EN 3834-3. Основните производствени трудности са свързани основно с естеството и поведението на заварявания материал и това трябва да се отрази на вида и обема на неразрушаващите изпитвания при съдовете под налягане (използват се *групи на изпитване*). Рисковият фактор, отчетен чрез категорията на съда по налягане, трябва да бъде основно обхванат от *процедурите (модулите) за оценяване на съответствието*, в което основна роля играе Упълномощената организация („Нотифицираното тяло"), пред която производителят доказва квалификацията си във всички етапи за съответните елементи на ОК.

🕮 И трите приложни стандарти използват хармонизираните основни браншови стандарти за ОК, третиращи квалификацията на надзорните и изпълнителни заваръчни и контролно-изпитващи кадри, квалификацията на заваръчните процедури и т.н.

🕮 И в трите стандарта основната отговорност за качеството и сигурността на заварената продукция се възлага на производителя. Това налага по принцип доказване на квалификацията на производителя (сертифициране) както преди започване, така и по време на производството посредством първоначален, периодичен и текущ изпит, инспекция, наблюдение и краен контрол.

🕮 Независимо, че разгледаните 3 актуални приложни стандарта са разработени от различни технически комитети на CEN, т.е. отнасят се за различни отрасли на регулираната област, те в значителна степен са изградени на общите принципи на ОК в заваряването, което е постижение за нормативната практика.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

проф. д.т.н. инж. Александър ЖЕЛЕВ, доц. д-р инж. Георги САЕВ
Технически университет
1000 София, бул."Климент Охридски" №8
e-mail: a_zhelev@yahoo.de, gsaev@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

INNOVATIVE WEARFACING SOLUTIONS AS PART OF COMPREHENSIVE MAINTENANCE CONCEPTS

M. KIRCHGAßNER I. MARKOVSKI

Abstract: *The objective of this paper is to present an overview of state of the art maintenance concepts and to show the role of wearfacing through welding within these concepts. Modern wearfacing can contribute to efficient maintenance only by considering several important aspects. First it is crucial to build up know–how about wear behaviour of alloys and evaluate correctly their behaviour under specific conditions such as abrasion or combined wear of impact and abrasion. Second construction, material development and maintenance have to cooperate closely already in the planning phase to consider wear already in the construction phase of machinery equipment.*

Key Words: *Maintenance concepts, wear facing, welding, lifetime*

1. INTRODUCTION

Maintenance is an essential investment for future success. This is stated in standards such as DIN 31051 or DIN EN 13306 A.a.i.1A.a.i.2, but was already a finding in ancient Greece. Systematic maintenance measures were implemented for example under Alexander the Great in the military sector. Skilled technical staff, repair procedures, documentation about lifetime of components, cost control and finally also know-how about material properties were already regarded as key factors for successful operation of machinery equipment.

Today high performance materials are very important in ensuring maximum availability in production and wearfacing through different welding technologies is used in a broad field of applications. So for example many basic operations to process raw materials, among them crushing, classifying or delivering which are typical for mining, steel and many other industries and where core components such as crushers are exposed to heavy wear require efficient maintenance and very often high end wearfacing measures to avoid costly downtimes and to reduce costs for expensive spare part A.a.i.3.

The objective of this paper is to present an overview of state of the art maintenance concepts and to show the role of wearfacing within these concepts. Modern wearfacing can contribute to efficient maintenance only by considering several important aspects. First it is crucial to build up know–how about wear behaviour of alloys and evaluate correctly their behaviour under specific conditions such as abrasion or combined wear of impact and abrasion. Second construction, material development and maintenance have to cooperate closely already in the planning phase to consider wear already in the construction phase of machinery equipment. This avoids that maintenance departments just have to take care for weaknesses of their production equipment. Doing so maintenance is seen quite often just as a cost centre instead of playing a major role in optimized production and increasing profits by improving availability. In case studies it is shown how wearfacing is included in different maintenance concepts and how it can be applied most profitable using latest technology.

2. MAINTENANCE CONCEPTS

2.1. General

Up to the 17th century systematic maintenance was a subject mainly in the military sector, in navigation, road and church building.

Industrialization starting in 17th century brought about big changes. Maintenance became specialized. More complex and less solid engineered production devices were prone to breakdowns to

a higher extent. Further on machinery was linked together in production chains and total output became dependent on each single equipment of production. Finally security aspects and more rational production due to permanent cost pressure gained increasing importance. **Fig. 1** shows the development of maintenance in the course of time in an overview A.a.i.4.

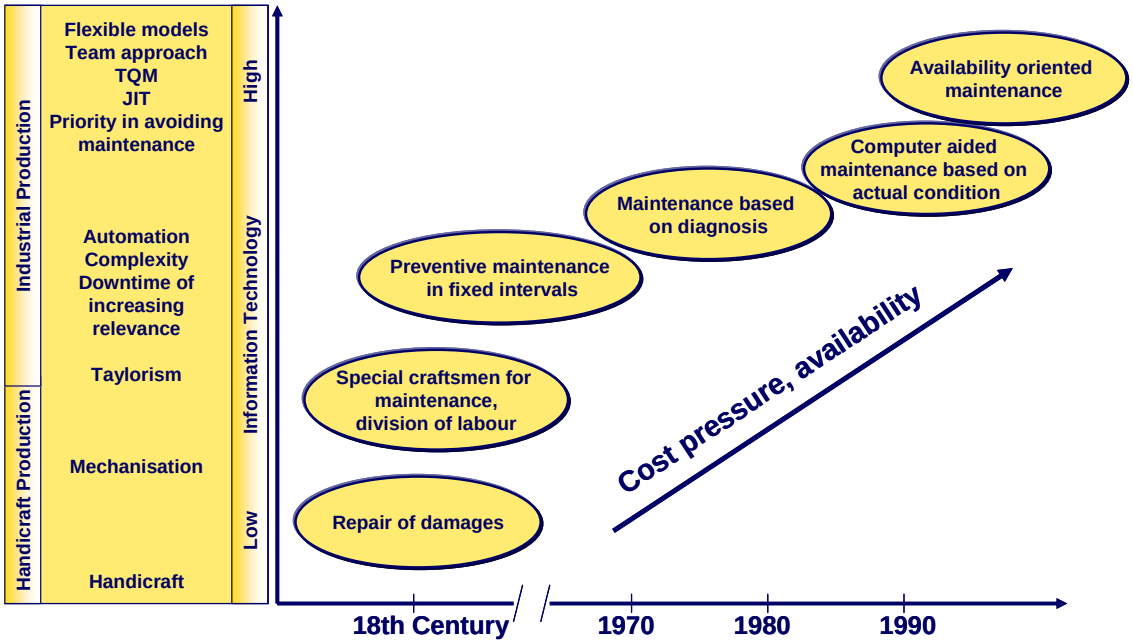


Fig. 1. Development of maintenance since the 18th century

2.2. Strategies

There are 3 major concepts regarding maintenance. Table 1 shows an overview. It can be distinguished between operative maintenance based on repair and breakdown, which can also be described as reactive maintenance. Among maintenance concepts aiming to avoid failure one can split between preventive and condition based maintenance. Finally maintenance focussed on maximum availability or reliability centred maintenance is the latest development A.a.i.5. Error! Reference source not found. clarifies the position of the different concepts related to the lifetime curve based on loss of wear reservoir.

Table 1. Overview about the 3 major groups of maintenance

Maintenance Strategy		Condition	Advantage	Disadvantage
I Operative Maintenance based on breakdown and repair	Fire brigade strategy, temporary repair, repair achieving original state or repair including improvement	Low level of using, high stock of spare parts and replacement parts, short time to change parts, no security mattters berührt	Low effort for planning, lowest possible costs for maintenance and parts per interval, interesting in case in case costs for loss in availability are minimal	High costs for spontaneous breakdowns, in case of temporary repairs repeated breakdown possible
II Maintenance avoiding failure	Preventive maintenance, dependent on using time and load	Lack of knowledge about failure and breakdown Legal regulations in case of danger for health etc.	Well plannable	Change of part providing still wear reservoir, additional costs due to too early action or replacement of parts
	Condition based maintenance	Possibility to measure wear reservoir or wear directly or indirectly	Maximum usage	Effort and expenses for inspection, diagnosis and control, qualified staff
III Maintenance based on availability	Dual maintenance philosophy, avoid potential weaknesses and eliminate causes	Knowledge about functionality of equipment and applied loads, link to innovative solutions	Cost reduction from the beginning as competitive advantage	High effort for preparation in planning phase, systematic analysis and diagnosis

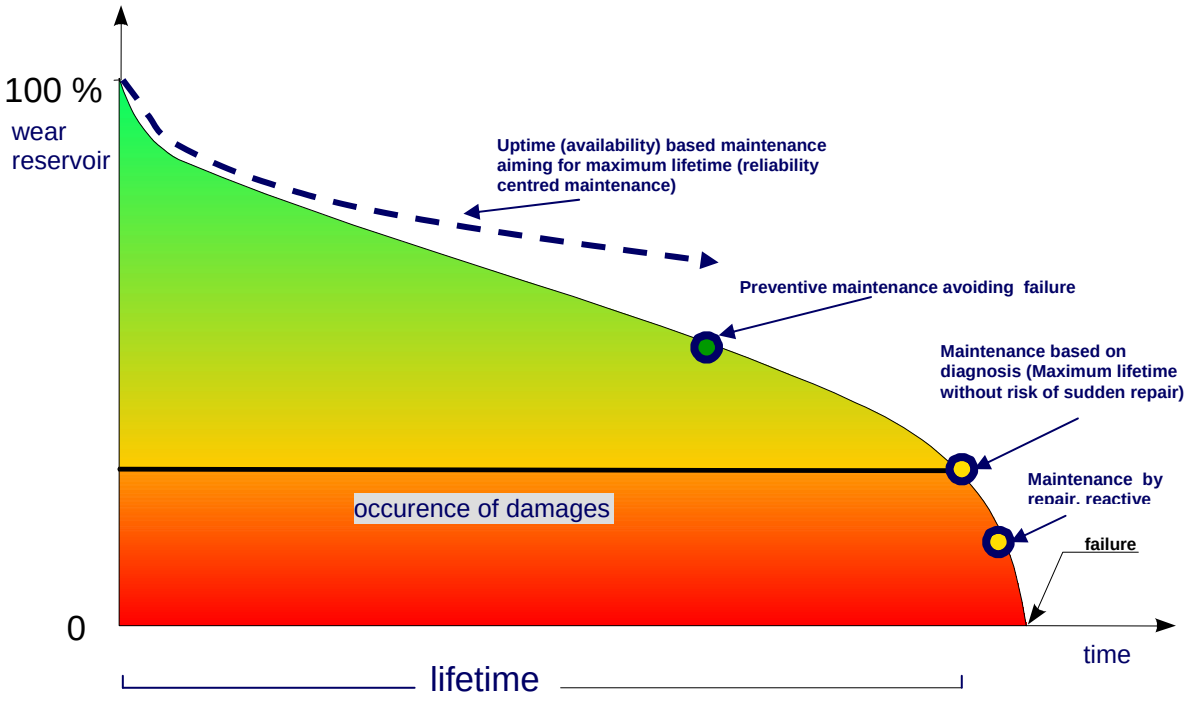


Fig. 2 Different n life time

2.2.1. Operative maintenance based on breakdown and repair

This reactive strategy is based on repair in case it is really needed for keeping equipment in operation or to bring it in operation again after sudden and unexpected breakdown. This concept, that could be described as "fire brigade system" can be applied preferably if a production stop is not crucial, if there is a high stock of spare parts and the time to repair or change a part is acceptable or rather short. The planning costs for this method are low, it is interesting in case costs for loss in availability are low. The negative side of this concept are unexpected and often very high costs in case of sudden breakdowns. Especially in the phase of early breakdown the costs for this method are very high **Fig. 3**, as achieved benefit is low at this point of time. If failure rate is low in the period of accidental failure and the risk of expensive early failure is low this concept might be justified.

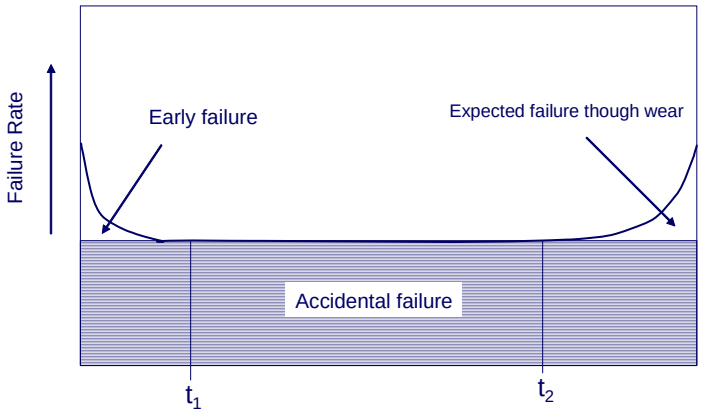


Fig. 2.Typical failure rate curve
(Failure rate = parts failing in a defined period/ parts still usable in this period)

2.2.2. Maintenance avoiding failure

Either preventive measures are applied to ensure the maintenance interval or alternatively maintenance is based on actual condition of machines which requires measurement of wear or precise diagnosis systems to come as close as possible to the point of potential damages (concepts II a and II b according (Table 1).

First concept can be planned very well, on the other side a loss of further lifetime is to be accepted. Preventive measure means that the point where first damages occur is not known exactly or fixed maintenance intervals oblige to undertake maintenance before it is technically necessary because the machine part would not last for a second period (see also Error! Reference source not found.).
Concept II b depends on inspection and mature diagnosis methods to enable to take the right decision and come as close as possible to the damage line.

2.2.3. Maintenance based on optimizing uptime (availability)

The latest strategy of maintenance tries to ensure maximum uptime under the aspect of high cost efficiency. Failures that are a result of missing comprehensive understanding of the whole process should be avoided. Many a time it is common to satisfy existing maintenance requirements instead to avoid potential weaknesses from the beginning.

Second it is crucial important to look for the real causes, to analyse the function of a machine and to understand the complete tribological system.

By this higher cost efficiency can be achieved and the total cost for maintenance, consisting of real maintenance costs (for example for welding and machining) plus the effort of technical resources that are strongly occupied in case of failures (secondary costs) gets lower and at the same time availability comes closer to 100% (fig. 4).

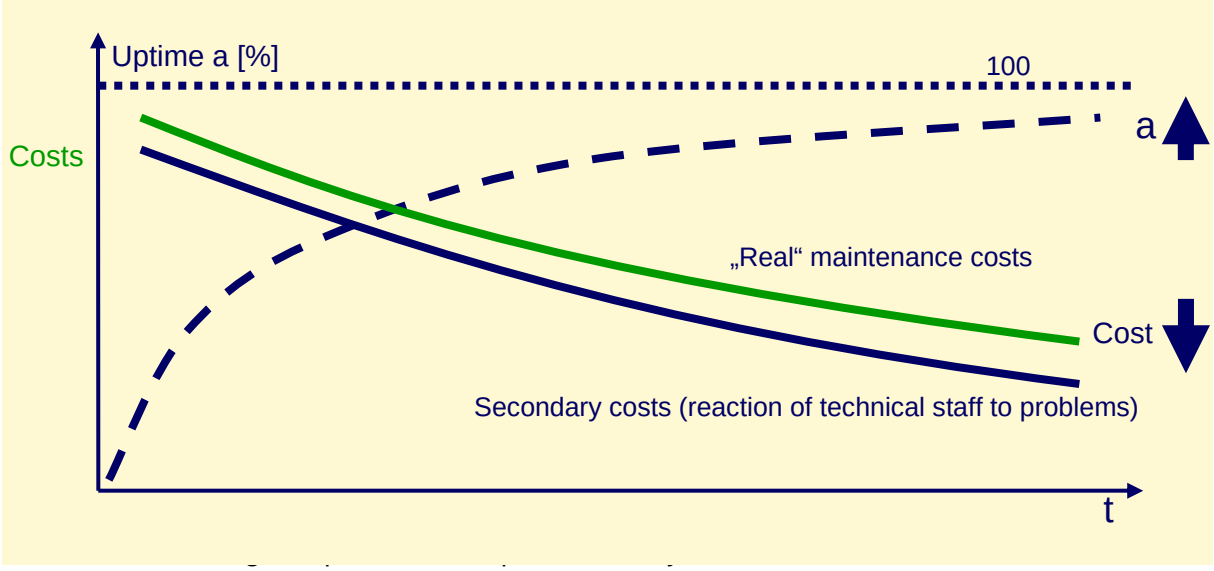


Fig. 4

Improvements that can be achieved especially by trying to understand the final tribological system already in the construction and planning phase are crucial in this concept A.a.i.6. Even expensive modelling and simulation are often worth as they finally help to fully understand the function and all aspects influencing lifetime.
Measures avoiding potential weaknesses and failures contribute in a very efficient way to cost reductions and elongating the lifetime of machinery equipment. Special wearfacing solutions that seem to be more costly at the beginning might finally reduce total costs considerably (fig. 5).

3. CASE STUDIES FOR WEARFACING MEASURES USED IN DIFFERENT MAINTENANCE CONCEPTS

3.1. Strategy I – Operative maintenance based on breakdown and repair

Wearfacing as pure repair measure is rarely found, in many cases a repair required because of excessive wear is on the one side a rebuild of the original shape, on the other side the material used is chosen in such a way that the wear resistance of the repaired part is increased considerably to increase the period to the next repair. That means the repair measure is at the same time used for elongating the further lifetime preventively.

A crusher for recycling of wood as shown in **Fig. 6** is an example for this.

The equipment chops wood pieces for example from old buildings into small chips. The surface of the hammers is partially rebuilt as repair measure and besides the repair is used for a preventive improvement as a special tungsten carbide filled flux cored wire is used for reshaping and protecting worn areas.

As in this specific case it was not necessary to ensure continuous operation the mere repair concept is sufficient.

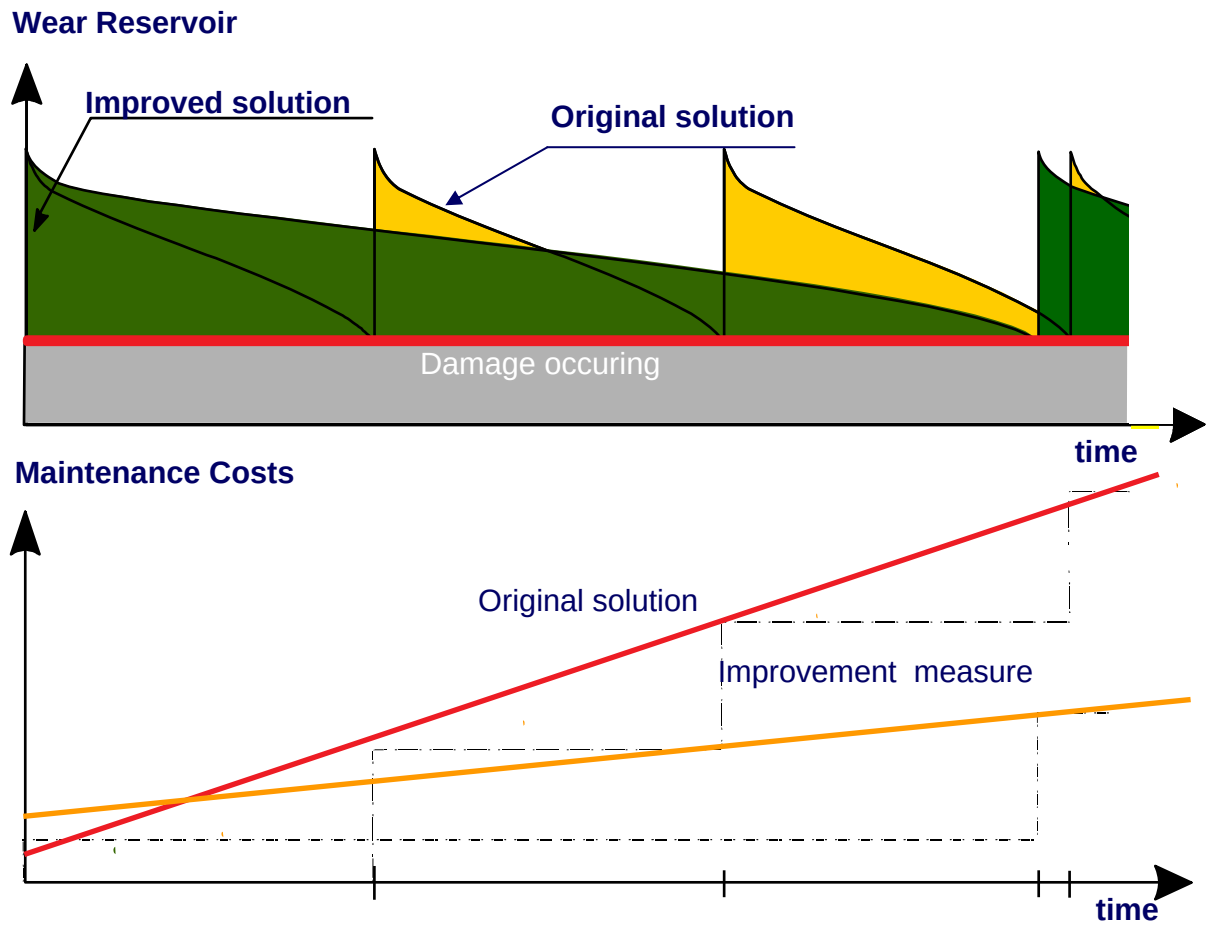


Fig. 5.Lifetime improving medasure reducing total maintenance costs



Fig. 4. Wood crusher as example for repair based maintenance

3.2. Strategy II a – Preventive maintenance to avoid failure

The preventive wearfacing of a roller press (Fig. 5) used for final crushing of clinker in a cement plant is an example for maintenance strategy II a. In this application it is of importance that the solution lasts at least for one full maintenance period, any sudden breakdown has to be avoided as costs for unexpected stops are enourmously high in a cement plant. This could be achieved by applying a gradient of hardness using different alloys. Following a cold hardening highly ductile austenitic buffer layer as second layer a tough and hard martensitic overlay that gives high resistance against pressure and abrasion at the same time is applied. As final coating a special martensitic steel reinforced with finely dispersed Titanium carbides is used. This solution ensures first of all an elongated lifetime compared to the original solution using a medium alloyed martensitic hardfacing and secondly is preventive as it avoids failure of the rolls before regular and planned shut down of the cement plant.



Fig. 5. Crusher roll for clinker preventively wearfaced by welding with flux cored wires in different grades to get a gradient of hardness and wear resistance.

3.3. Strategy II b- Condition based maintenance

Fig. 8 shows the pot were potassium is molten in a foundry. Cracks appear due to thermal stresses and as a consequence molten potassium could flow out of the pot what has to be avoided in any case.



Fig. 6. Melting pot for potassium permanently under visual control to achieve maximum lifetime

Therefore permanent visual and ultrasonic diagnosis is necessary and to weld the cracks and protect the surface as soon as any damage is appearing and before a crack might run through the whole wall thickness. Ongoing inspection is ensuring that on the point where the damages occur maintenance actions by welding are taken. Inside cracks are welded with pure iron electrodes, outside heat resistant and highly ductile special Ni-based electrodes are used for repair and wearfacing at the same time.

3.4. Strategy III - Maintenance focussed on uptime

Fig. 7 shows the head of drilling equipment for tunnels. Maximum availability is the user's requirement which results in intensive preliminary tests of the original machinery manufacturer. Powder coated plates gave maximum lifetime and minimum costs when applying this type of wear protection on the tool holder.

Another example of close cooperation between final user and construction is shown in Fig. 8. When pressing fire clay the raw material is filled in a die causing massive wear on the filler plate. Instead of permanently changing the plate that originally were made of hardened steel now a grinded wearfaced plate with a very smooth surface is ensuring 10 to 15 times higher availability thus massively decreasing costs. Only by developing the optimum way to machine the hard overlay in a cost effective way enabled the user to apply this solution. Thus finally a weak area could be removed which is much more economical than to maintain a weakness and regularly change the plate.



Fig. 7. Tool holder with wear protection plates made of NiCrBSi coated mild steel.



Fig. 8. Machined wearplate for filling the die with raw materials for fireclay.

4. SUMMARY

Three major maintenance concepts can be distinguished. All of them are used and justified under certain circumstances. Cost effectiveness and maximum uptime are characteristic for the dual maintenance strategy which is based on analysing the real reasons for weaknesses and by avoiding them already in the construction or planning phase of an equipment. Many a time wearfacing solutions applicable in different ways such as machined and finished wear parts or as GMAW solution using special flux cored wires are essential to achieve these objectives.

By cooperation of all technicians involved in the chain of building and using machinery equipment, that are the responsible maintenance staff at the enduser, but also the engineers planning and developing new machinery equipment and finally specialists in surface and wear protection, maximum availability are achievable.

REFERENCES

1. DIN 31051:2003-06 Grundlagen der Instandhaltung.
2. DIN EN 13306:2001-09 Begriffe der Instandhaltung.
3. Uetz, Abrasion und Erosion, Carl Hanser Verlag, München, **1986.**
4. Forum Instandhaltung: Moderne Instandhaltungstechniken, 4. Internationaler Fachkongress Instandhaltung, Verlag TÜV Rheinland, **1995.**
5. Mexis,N.A.D.:Die Philosophie der Instandhaltung, Die Deutsche Bibliothek – CIP Einheitsaufnahme, S.147 – 153, **2004**
6. Autorenteam: Tribologie, Schriftenreihe des Wirtschaftsförderungsinstitutes, 277

CORRESPONDENCE

Ivan MARKOVSKI
Remoterm Ltd., 56, Ilienci Str.,
1220, Sofia, Bulgaria
e-mail: remo@remoterm.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

EFFECT OF FREQUENCY ON THE PROPERTIES OF PULSE TIG WELDED JOINTS

Teofil IAMBOLIEV **Dimitar DIMITROV**

Abstract: *Pulse TIG welding in Ar+4% H_2 shielding was applied to join plates 2 mm thick of 1.4301 and 1.4404 austenitic stainless steels. The pulse frequency was increased from 0 to 15 Hz and its effect on the properties of the welds was studied. Full penetration welds of minimal cross sectional area of the fusion zone as well as higher than the base metal strength was obtained within the range 2-3 Hz in the 304 welds. There is no effect of frequency on the weld bead geometry from 6 to 15 Hz. The amount of $\tilde{\delta}$-ferrite in the austenitic microstructure was 5 FN.*

Key words: *pulse TIG, austenitic stainless steel, $\tilde{\delta}$-ferrite.*

ВЛИЯНИЕ НА ЧЕСТОТАТА НА ТОКА ВЪРХУ СВОЙСТВАТА НА СЪЕДИНЕНИЕТО ПРИ ИМПУЛСНО ВИГ ЗАВАРЯВАНЕ

Теофил ЯМБОЛИЕВ **Димитър ДИМИТРОВ**

Резюме: *Изследвано е влиянието на честотата на импулса в интервала 0-15 Hz при импулсно ВИГ заваряване на листове с дебелина 2 мм от аустенитни неръждаеми стомани 1.4301 и 1.4404 в защитна среда от Ar+4% H_2 върху свойствата на съединението. Плътен шев с пълен провар, минимална площ на напречното сечение и якост на опън, по-висока от тази на основния метал, се получава при честота 2-3 хц за стомана 1.4301. В интервала 6-15 хц честотата на тока не оказва влияние върху геометрията на шева. Структурата на метала на шева е аустенитна с остатъчен ферит 5 FN.*

Ключови думи: *импулсно ВИГ, аустенитни неръждаеми стомани, δ-ферит.*

1. УВОД

Благодарение на отличното съчетание между корозионна устойчивост и механични свойства в широк температурен интервал аустенитните неръждаеми стомани са желан материал за заварени конструкции [1-3]. При заваряването им съществува опасност от образуване на горещи пукнатини и понижаване на корозионната устойчивост [2-4]. Технологията за заваряване трябва да осигури механични свойства на съединението, равностойни на тези на основния метал, висока производителност и минимални разходи.

Съобщава се, че импулсното ВИГ заваряване /И-ВИГЗ/ удовлетворява до голяма степен тези изисквания благодарение на възможността за точно дозиране на количеството топлина, която постъпва в основния метал [2, 5-7]. Установени са зависимости между заваръчните параметри, геометрията на шева и свойствата на съединението, които показват, че влиянието на честотата на импулса в защитна среда от Ar е съществено [8-12].

Известно е, че добавяне на малко количество H_2 към Ar повишава температурата на дъговата плазма благодарение на високия йонизационен потенциал на H_2 [3]. При равни други условия се получава по-дълбок провар и скоростта на заваряване може да се повиши в сравнение със заваряването в Ar. H_2 усилва редукционното действие на газовата фаза и предпазва Cr от окисление, което благоприятства корозионната устойчивост на съединението [3, 4, 8].

Въпреки посочените предимства понастоящем липсват публикувани резултати от изследвания на И-ВИГЗ в защитна среда от Ar+H_2. Цел на настоящата работа е да изследва влиянието на честотата на тока върху свойствата на съединението при И-ВИГЗ в защитна среда Ar+4%H_2 на неръждаеми стомани 1.4301 и 1.4404, които намират широко приложение в редица отрасли.

2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНИЯТА

Използвани са планки с размери 200x75x2 мм от стомани 1.4301 (X5CrNi 18-8, AISI 304) и 1.4404 (X2CrNi 17-12-2, AISI 316) по EN 10088-2 с химически състав според табл. 1. И двата вида стомани имат. 1.4404 се отличава от 1.4301 с по-високата си корозионна устойчивост благодарение на легиране с Mo.

Таблица 1 Химически състав, %

Стомана	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	N
1.4301	0.05	0.42	1.61	0.003	0.027	18.1	8.1	0.042
1.4404	0.017	0.54	1.76	0.002	0.034	16.9	10.1	0.045

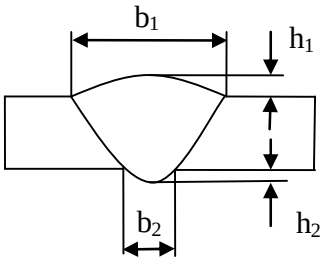
След обезмасляване с ацетон върху планките са стопени ивици с пълен провар, а след това са заварени челни съединения с пълен провар по метод И-ВИГЗ на режим: импулсен ток $I_и$ – 125 а; фонов ток $I_ф$ – 50 а; продължителност на импулса $t_и$=0.4 ($t_и$+$t_п$), %; честота на импулса 0-15 хц; скорост на заваряване – 4.2 мм/с; дължина на дъгата - 2 мм; напрежение на дъгата – 11 в; защитен газ: лицева страна - Ar+4% H_2, корен – Ar. Използван е токоизточник Lincoln Electric Invertec V270.

Критерий за качество са видът и количеството на заваръчните несъвършенства и геометрията на шева по ISO 5817, ниво C, микроструктурата и механичните свойства на заварените съединения. Микроструктурата, проявена с разтвор 50 % HCl + 50 % HNO_3, е изследвана с оптически и електронен микроскоп. Количеството остатъчен δ-ферит е измерено с феритомер по оста на шева.

На опън по EN 875 са изпитани по 3 броя образци от челни съединения, заварени с различна честота на тока. Резултатите са сравнени с тези от образци, заварени безимпулсно. Независимо че завареното съединение е нехомогенно по отношение на химичния състав и структурата си, освен якостта на опън и мястото на разрушаване е определен и показател за пластичност – относително удължение, който дава по-пълна представа за товароносимостта на съединението. Този подход е залегнал при окачествяване на заваръчна процедура по ISO 15614-1.

3. РЕЗУЛТАТИ

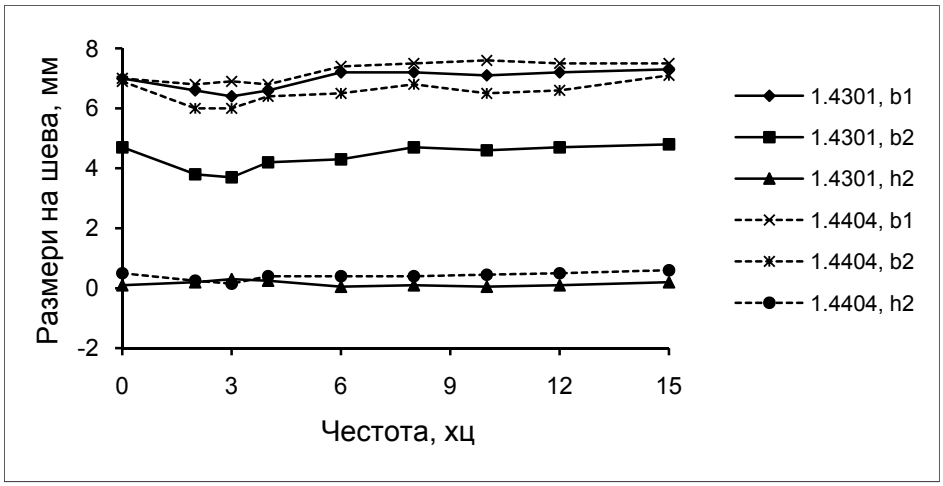
3.1. *Геометрия на шева*



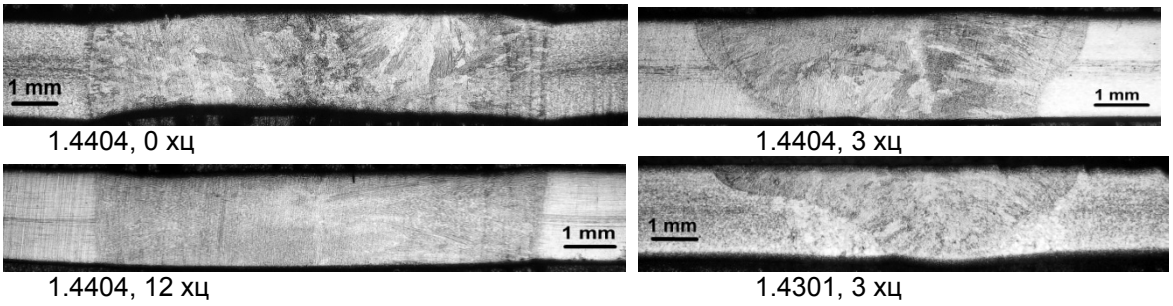
Фиг. 1. Размери на шева

Размерите на шева са съгласно фиг. 1. Всички шевове са гладки, плътни, с пълен провар и плавен преход под ъгъл ~180° към основния метал. Някои шевове са леко хлътнали откъм лицевата страна, но удовлетворяват изискванията на ISO 5817, ниво C.

Изменението на размерите на шева от честотата на импулсния ток е представено на фиг. 2. При стомана 1.4301 ширината на шева от лицевата страна е с около 50 % по-голяма, отколкото от кореновата. След първоначално понижение в сравнение с безимпулсното заваряване ширината достига минимум в интервала 2-3 хц.



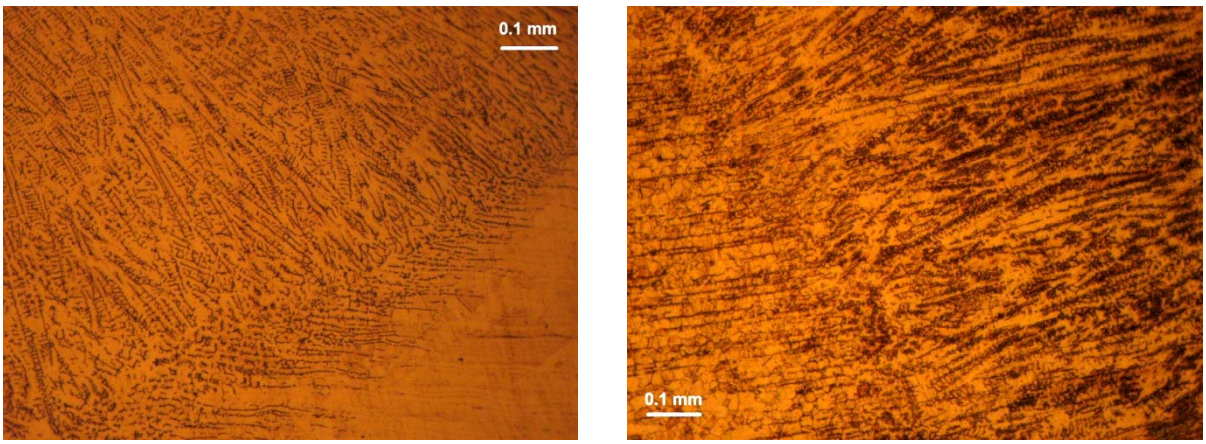
Фиг. 2. Влияние на честотата на импулсния ток върху размерите на шева в планки от стомани 1.4301 и 1.4404



Фиг. 3. Напречно сечение на шева на челни съединения, заварени с различна честота на импулсния ток

3.2. *Структура на съединението*

Металът на шева и при двети стомани е изграден от едри иглести зърна, нарастващи епитаксиално. В близост до оста на шева зърната издребняват и стават равноосни, като този ефект е по-добре изразен в шевовете, заварени с честота до 3 хц при стомана 1.4301, фиг. 3. Зърната са изградени от едри дендрити с вторични разклонения, които по оста на шева преминават в равноосни, фиг. 4.



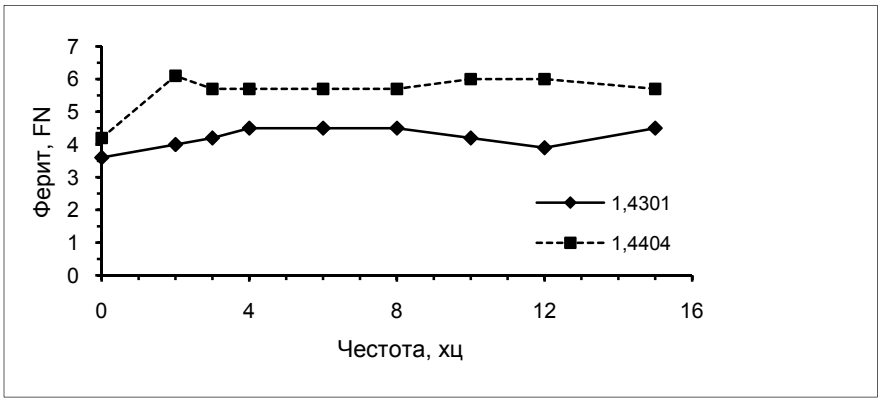
а ***б***

Фиг. 4. Микроструктура по линията на сплавяване на челни съединения от различни стомани: а) 1.4301; б) 1.4404

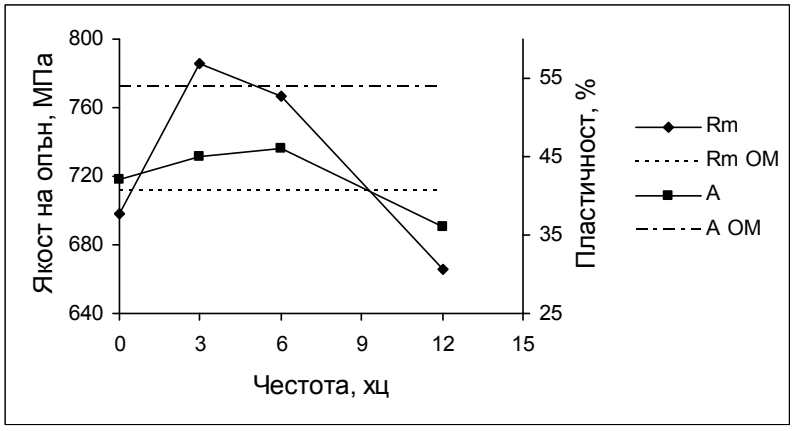
В аустенитна матрица е разположен остатъчен вермикулярен ферит, чието присъствие свидетелства за водещата му роля в кристализацията. Количеството му е около 4,5 FN при стомана 1.4301 и 5.7 FN при стомана 1.4404 и не се влияе от честотата на импулсите, фиг. 5. То е с около 1 % по-високо от това при безимпулсното заваряване. В това количество остатъчният ферит повишава устойчивостта на метала на шева срещу горещи пукнатини. Заваръчни несъвършенства не са установени. Зоната на термично влияние /ЗТВ/ при 1.4301 е разширена в сравнение с тази при 1.4404.

3.3. *Механични свойства*

Якостта на опън и относителното удължение в зависимост от честотата на тока са показани на фиг. 6 и фиг. 7. Якостта на съединенията от 1.4301 е максимална при 3 хц. Тя е по-висока с около 10 % от тези на съединенията, заварени безимпулсно, и на основния метал. Относителното удължение е максимално в интервала 3-6 хц.



Фиг. 5. Количество на остатъчния ферит в метала на шева на челни съединения от различни стомани

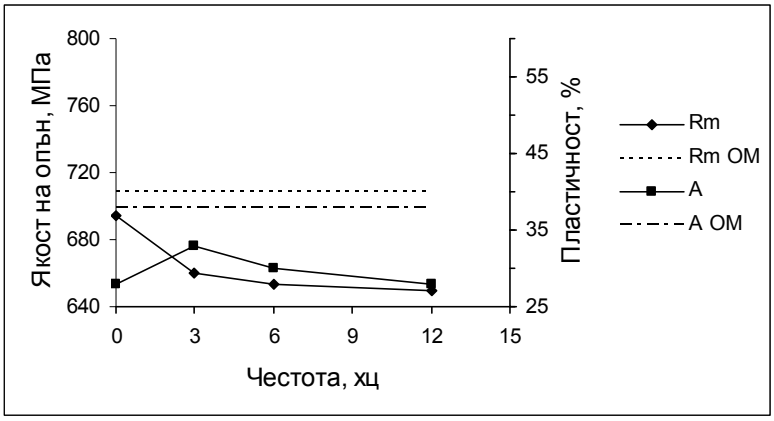


Фиг. 6. Зависимост между честотата на импулсния ток и якостта на опън на челни заварени съединения от стомана 1.4301

То превишава удължението на съединенията, заварени безимпулсно, но е по-ниско от това на основния метал. Въпреки това налице е висок запас от пластичност. Разрушаването на образците протича в основния метал и рядко по линията на сплавяване. С нарастване на честотата якостта и относителното удължение се понижават.

Якостта на опън на съединенията от стомана 1.4404 се понижава с 2-7 % в сравнение с тези на съединенията, заварени безимпулсно, и с 9 % спрямо якостта на основния метал. Аналогично относителното удължение е по-ниско с 13 % от това при безимпулсното заваряване, и с 36 % от удължението на основния метал. Разрушаването протича по линията на сплавяване и в метала на шева.

С нарастване на честотата на импулсния ток якостта и относителното удължение на съединенията от двете стомани се понижават.



Фиг. 7. Зависимост между честотата на импулсния ток и якостта на опън на челни заварени съединения от стомана 1.4404

4. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Добавката от 4 % H_2 в защитния газ поддържа по-висока температура на дъговата плазма и повишава количеството на вложената топлина в сравнение със заваряване в чист Ar [3, 4]. То допълнително нараства с повишаване честотата на импулсния ток, т. е. двата топлинни ефекта се сумират и усилват. От друга страна поради понижена топлопроводност, характерна за аустенитните стомани, металът във ваната прегрява.

В резултат на това размерите на ваната се увеличават, понижава се температурният градиент в нея и по време на кристализацията настъпва концентрационно преохлаждане. Свидетелство за посочените явления е морфологията на дендритите в метала на шева - в близост до линията на сплавяване чрез епитаксиално нарастване се образува транскристализационна зона. Изградена е от малко на брой, но едри зърна, съставени от първоначално едноосни дендрити. В близост до оста на шева те преминават в равоосни кристали и оформят дребни равноосни зърна. Причина за преобладаващата едрозърнеста структура на шева е понижената скорост на охлаждане, която разширява ЗТВ. Тези белези са по-силно изразени в шева на съединенията от стомана 1.4404, вероятно поради съществена разлика в стойностите на топлофизичните й характеристики в сравнение с тези на стомана 1.4301.

Прекомерното нагряване на 1.4404 е причина за понижена якост и пластичност на съединението независимо от честотата на импулсите. За 1.4301 вложената топлина при честота 2-3 хц води до уякчаване на съединението и разрушаване в основния метал. Обяснението на този факт изисква допълнителни изследвания.

Несъществено е влиянието на честотата върху едрината на зърната. Вероятна причина за това е по-силният топлинен ефект от добавянето на H_2 в сравнение с въздействието на токовите импулси, за които е известно, че издребняват зърната в метала на шева [7-12].

5. ИЗВОДИ

При импулсно ВИГ заваряване на стомани 1.4301 и 1.4404 с нарастваща честота на импулсите в границите 0-15 хц, е установено следното.

А. Плътен шев с пълен провар и минимална площ на напречното сечение, удовлетворяващ изискванията на ISO 5817, ниво С, се получава при заваряване с честота на тока 3 хц. Площта на шева при стомана 1.4301 е по-малка от тази при стомана 1.4404.

Б. В интервала 6-15 хц на импулсите честотата не оказва влияние върху геометрията на заваръчния шев. Тя е еднаква с тази на шева, получен чрез безимпулсно заваряване.

В. Структурата на метала на шева е аустенитна с остатъчен ферит 5 FN. Изградена е от транскристализационна зона и равноосни зърна до оста на шева.

Г. Якостта на опън на заварените съединения от стомана 1.4301 превишава с 10 % якостта на основния метал и якостта на съединенията, заварени безимпулсно. Разрушаването е в основния метал.

Д. Якостта на опън на заварените съединения от стомана 1.4404 е по-ниска от якостта на основния метал, както и от якостта на съединенията, заварени безимпулсно. Разрушаването е по линията на сплавяване.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват благодарността си към инж. Стефан Маргаритов от «Томика - Метал» АД – Пловдив, за помощта при изработване на пробните тела.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев, А. *Металловедение*, М., Машиностроение, **1977**.
2. Желев, А., Ст. Христов. *Заварени конструкции*, т. 1, С., Техника, **1982**.
3. *Сварка в машиностроении*. т. 2, под ред. В. А. Винокурова, М., Машиностроение, **1979**.
4. Lippold, J. C., D. Kotecki. Welding metallurgy and weldability of stainless steels. John Willey & Sons, Inc., Hoboken, NJ, **2005**.
5. Ташков, Т., А. Янков, В. Бакърджиев. *Заваряване в защитна газова среда*. С., Техника, **1984**.
6. Тонгов, М. *Заваряване,* ч. 1: Процеси
7. R. Leitner, G. McElhinney, E. Pruit*. An investigation of pulsed GTA welding variables.* Welding Journal, 9, **1973**, pp.405-409.
8. Becker, D., C. Jr. Adams. *The role of pulsed GTA welding variables in solidification and grain refinement.* Welding Journal, **1979**, 5, pp.143-152.
9. Omar, A., C. Lundin. *Pulsed plasma – pulsed GTA arc: a study of the process variables*. Welding Journal, **1979**, 4, pp.97-105.
10. Lothongkum, G., P. Chaumbai. Bhandhubanyong P. *TIG pulse welding of 304L austenitic stainless steel in flat, vertical and overhead positions*. Journal of Materials Processing Technology 89-90, **1999**, pp.410-414
11. Tseng, K. H, C. P. Chou. The effect of pulsed GTA welding on the residual stress of a stainless steel weldment. Journal of Materials Processing Technology, 123, **2002** pp.346-353
12. Lothongkum, G., E. Viyanit, P. Bhandhubanyong. *Study on the effects of pulsed TIG welding parameters on delta-ferrite content, shape factor and bead quality in orbital welding of AISI 316L stainless steel plate.* Journal of Materials Processing Technology, 110, **2001**, pp.233-238.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р инж. Теофил ЯМБОЛИЕВ
Катедра “Машиностроителна техника и технологии”
ТУ София, филиал Пловдив
“Цанко Дюстабанов” № 25, Пловдив 4000
e-mail: tiamb@tu-plovdiv.bg

инж. Димитър ДИМИТРОВ
Студент – магистър, спец. „МТТ”, ФМУ,
ТУ София, филиал Пловдив
“Цанко Дюстабанов” № 25, Пловдив 4000

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

OPTIMIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES DURING MANUFACTURING AND INSTALLATION OF TANKS IN PETROLEUM TERMINALS

Serafim SERAFIMOV **Krasimir TODOROV** **Rumyana BARAMOVA**

Abstract: *We have a good legal basis for the construction of tanks for petroleum products. Quality assurance, especially to foreign investors is the strict control of technological processes: Design of the tank; Pre fabrication Material; Assembly and welding work; Corrosion protection of metal. This report e with applicable scope and examine an optimized scheme of technological operations in the construction of three storage tanks for diesel fuel with a capacity of 20 000 m^3 each.*

Key Words: *Tank, Quality assurance, Pre fabrication, Assembly, Welding.*

ОПТИМИЗИРАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПРОЦЕСИ ПРИ ФАБРИКАЦИЯ И МОНТАЖ НА РЕЗЕРВОАРИ В ПЕТРОЛНИ ТЕРМИНАЛИ

Серафим СЕРАФИМОВ **Красимир ТОДОРОВ** **Румяна БАРЪМОВА**

Резюме: *Разполагаме с добра нормативна база за изграждане на резервоари за нефтопродукти. Гаранцията за качество, особено пред чуждестранни инвеститори, е строг технологичен контрол на технологичните процеси: проектиране на резервоара; префабрикация на материалите; монтажно - заваръчни работи; защита от корозия на метала. Настоящият доклад има приложен характер и разглежда една оптимизирана схема на технологичните операции при изграждане на три резервоара за съхранение на дизелово гориво с обем 20 000 м^3 всеки.*

Ключови думи: *резервоар, контрол, префабрикация, монтаж, заваряване*.

Настоящият доклад има приложен характер и разглежда една оптимизирана схема на технологичните операции при изграждане на три резервоара за съхранение на дизелово гориво с обем 20 000м ^{3} всеки.

За да се гарантира добро качество на строително монтажните работи и пълно съответствие с нормативните документи, съгласно които се изграждат резервоарите, е необходимо да се разработи подробно и компетентно техническо задание. В повечето случай Възложителят не е в състояние да подготви такова задание и договора за изпълнение на строително монтажните работи се сключва на база предмет на договора и оскъдни данни за основните параметри на резервоарите, като вид на продукта, диаметър и височина на резервоара, вид на покрива, антикорозионна защита.

Този подход води до редица грешки, неточни решения, губене на време за уточнения още на стадий проектиране.

В последствие се забавят строително монтажните работи, поради непълноти в работния проект и промени в процеса на работа, забавят се и се оскъпяват доставките на незаявеното оборудване за резервоарите, отлагат се и многократно сроковете за пускане в експлоатация.

В резултат на многогодишния си опит в проектирането и изграждането на резервоари за складиране на нефтопродукти и промишлени води КЗУ ИНЖЕНЕРИНГ ООД съвместно с Катедра МТМ – секция „Заваряване на металите” към МТФ на ТУ – София, приложихме една изчислена оптимална схема на работа за проектиране и изграждане на три резервоара с вместимост 20 000 м^3 всеки, за съхранение на дизелово гориво в Петролна база Сливен.

Тази схема е пригодна за българските условия на работа, съобразена е с манталитета и работоспособността на българските специалисти – проектанти, технолози, строители, монтажници, заварчици, дефектоскописти, наладчици и др. и обхваща видовете работи в следната последователност:

1. Разработка на подробно техническо задание за проектиране, включващо:
   - Правилници и стандарти.
   - Строителна част – фундаменти опори, обваловки, обслужващи сгради, пътища, канали (подземни и надземни), басейни и др.
   - Възложителят е предоставил геоложки доклад – изследване на почвата и топографско изследване.
   - Възложителят е предоставил ген план на Петролната база.
   - Метална конструкция – технически данни (date sheets) за резервоара, дъно, стена, покрив, допуск за корозия , щуцери , люкове,стълби, площадки, парапети, контролни отвори, ревизионни шахти.
   - Тръбопроводна система – тръби, фитинги, задвижки (вид, уплътнения, предпазни клапани и др.).
   - Електрическа система – осветление, заземяване и катодна защита.
   - КИП и А система.
   - Дренажна система.
   - Противопожарна система.
   - Хидравлични тестове.
   - Антикорозионна защита.
   - Калибриране.

Едно компетентно и подробно разработено Техническо задание осигурява проектиране на всички необходими възли и детайли в работния проект, точни конструктивни решения и значително намалява времето за проектиране.

2. Работен проект с количествено стойностна сметка – проектиране в пряка връзка с технолога по съответната част.
   Основни критерий за оценка на проекта са технологичност и съответствие със стандартите
3. Строително монтажни работи, антикорозионна защита и хидравлични изпитания – по технологични инструкции за извършване на отделните видове работи и пооперационен технологичен контрол на обекта. Ежедневен дневник на СМР, протоколи от неразрушаващ контрол, протоколи за строителните работи, протоколи за извършените работи
4. Тестване на монтираното оборудване, КИП и А – пробна експлоатация
5. Комплектация на техническата документация, съгласно нормативния документ – паспорт на резервоарите.

На базата на тази схема в Петролна база Сливен са изградени три броя резервоари с обем 20 000 м^3 от Монтаж комплект инженеринг ЕООД, София. Монтирано е необходимото оборудване и свързващи тръбопроводи, изпитана електрическа система, изпитана КИП и А система и изпитана противопожарна система.

Благодарение на стройната организация на работа сроковете за изпълнение на отделните фази са съкратени до минимум, а именно за проектиране – 1,5 месеца и изграждане на трите броя резервоари – 8,5 месеца.

ЛИТЕРАТУРА

1. API 650 : **2003,** Заварени стоманени резервоари за складиране на горива.
2. БДС EN 14015 **: 2005,** Технически условия за проектиране и изграждане на вертикални надземни резервоари с плоски дъна за съхранение на течности при атмосферно и повишено налягане.
3. API 650 : **2003,** Заварени стоманени резервоари за складиране на горива.
4. API RP 2550, Метод за измерване и калибриране на вертикални цилиндрични резервоари.



Фиг. 1. Нулева обработка на заготовките



Фиг. 2. Газокислородно рязане на заготовките

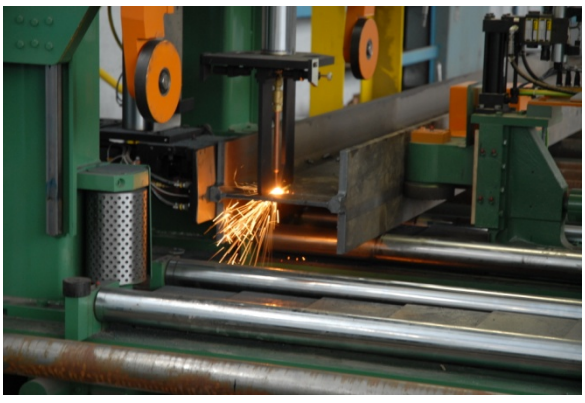




Фиг. 3. Плазмена обработка на заготовките







Фиг. 4. Изработване на заготовките



Фиг. 5. Изграждане на фундаментите









Фиг. 7. Изграждане на стените на резервоарите



Фиг. 6. Монтаж и заваряване на дъната на резервоарите







Фиг. 8. Монтаж и заваряване на покривите



Фиг. 9. Общ изглед на готовите резервоари

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

н.с. инж.Красимир Тодоров
КЗУ Инженеринг ООД,
Бул. Цариградски шосе бл. 115
1113 София
Тел. 028728539
e-mail: kzu_ing@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

EVALUATING THE COLD CRACKING RESISTANCE OF WELDED JOINTS WITH SMALL DIAMETER

Plamen TASHEV Stefan HRISTOV Nikolai ALEKSIEV

Abstract: *Reasons for the occurrence of cold cracks are a critical combination of hydrogen content, structure of the material and tensile residual stresses. We developed a new method and device for testing the susceptibility of steels to the formation of cold cracks. The basic parameters are measured and saved with a computer system.*

Key Words: *welding, cold cracks, steel, circular weld joints.*

ОЦЕНЯВАНЕ СКЛОННОСТТА КЪМ ОБРАЗУВАНЕ НА СТУДЕНИ ПУКНАТИНИ ПРИ ЗАВАРЯВАНЕ НА КРЪГОВИ ШЕВОВЕ С МАЛЪК ДИАМЕТЪР

Пламен ТАШЕВ Стефан ХРИСТОВ Николай АЛЕКСИЕВ

Резюме: *Причините за поява на студени пукнатини са критична комбинация от съдържание на водород, структура на материала и остатъчни опънови напрежения. Разработена е нова проба за изпитвания на склонността на стоманите към образуване на студени пукнатини обхващаща система за прилагане на напрежение на усукване, закрепващо приспособление, подходящи пробни тела, компютърна измервателна система за отчитане и запис на заваръчните параметри, температурата и прилаганото усилие.*

Ключови думи: *заваряване, студени пукнатини, високояки стомани, кръгови шевове.*

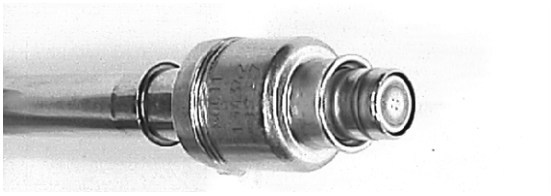
Студените пукнатини представляват значителен проблем за качеството на заварени съединения от високояки стомани. Оформянето на конструкцията и дефинирането на заваръчния процес се извършва с предписания и технологични изпитвания на стандартизирани проби, за да се оцени заваряемостта (заваропригодността) на даден материал в комбинация със заваръчния процес и параметрите на заваряване.

Студените пукнатини възникват в заварените съединения при изстиване под 250°C. Нарастването на студените пукнатини може да предизвика разрушаване / повреждане на завареното съединение още по време на заваряването или след него. Неоткрити (скрити) пукнатини водят също много често до разрушаване и аварии по време на експлоатация.

Статистически оценки на възникнали разрушавания в заваръчни шевове в продължение на 5 години показват, че на студените пукнатини се дължат 60% от случаите. Най-големи поражения нанасят студените пукнатини, разположени надлъжно на заваръчния шев в зоната на термично влияние (ЗТВ). Техният процентен дял възлиза на 70% от всички видове студени пукнатини. За сравнение, делът на пукнатините, разположени напречно на шева и в ЗТВ е само 5%. Пукнатините в самия наварен метал са в повечето случаи напречни пукнатини. Дългогодишни изследвания и събран практически опит са довели до изясняване на проблема и разработване на превантивни мерки. Така в цитираната литература [1-7] се съдържат редица изпитвания, заедно със зависимости и критерии, показващи различни резултати, които не дават ясно становище по отношение на използване на ефективни, превантивни мерки.

Причините за студените пукнатини са критична комбинация от съдържание на водород, структура на материала и остатъчни опънови напрежения. Поради това, полезните и целеви изпитвания за устойчивост срещу студени пукнатини трябва да отчитат всички условия, свързани със свойствата на материалите, конструкцията и използваните методи на производство. Съществуващите технологични изпитвания обаче, не покриват всички тези

условия, каквито съществуват при заваряване на прътови и тръбни конструкции. Въз основа на нарасналите изисквания към устойчивостта срещу студени пукнатини, например при инжекционните вентили (фиг.1), въпросът за разширяване обхвата на технологичните изпитвания чрез разработване на нов тип технологична проба е изключително актуален.



Фиг. 1. Заварен инжекционен вентил (източник: Robert Bosch GmbH)

Едно ново решение за прогнозиране на възникването на студени пукнатини в назованите заварени съединения, би повишило устойчивостта срещу образуване на студени пукнатини и би предоставило на ползувателя голямото предимство да оразмери заварената конструкция и да избере заваръчен процес, гарантиращ максимална сигурност срещу възникване на студени пукнатини. Освен това едно такова решение дава важни специфични за детайлите конструктивни познания, които не могат да бъдат получени от съществуващите методи на изпитвания. Необходимо е прогнозиране сигурността срещу образуване на студени пукнатини, което да се основава на експериментални и математически проверени (потвърдени) критерии.

Разработването на нова проба за изпитванията за склонност към образуване на студени пукнатини обхваща създаване на система за натоварване, закрепващо приспособление, подходящи пробни тела, система за отчитане на основните параметри температура и прилагано усилие на натоварване. Необходимо е и извеждане на надеждни критерии за оценяване на устойчивостта срещу образуване на студени пукнатини.

Изискванията към пробата са:

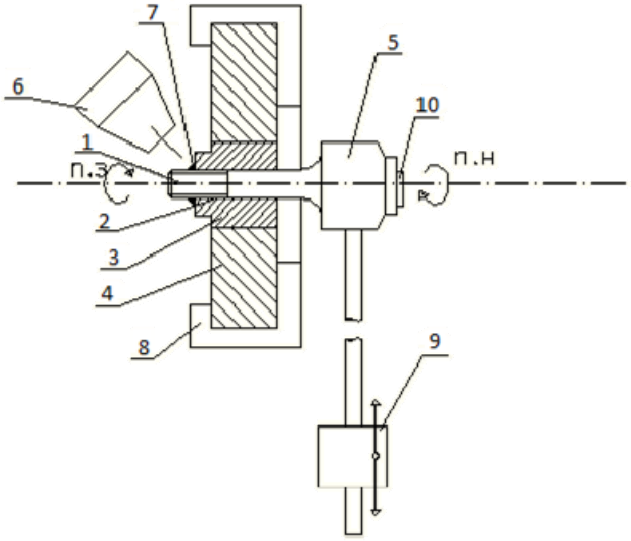
- евтина и компактна реализация, като се използва наличното широко разпространено заваръчно оборудване;
- достоверни количествени резултати, които да отчитат склонността към пукнатинообразуване при различни материали, методи и режими на заваряване.
- да обхваща всички възможни съединения (челни и ъглови) от тръби и прътов материал, както и комбинацията между тях.

Метода и устройството разработено за изпитване склонността на металите към образуване на пукнатини при заваряване на кръгови шевове се поясняват с фиг. 2., където изпитваният образец 1 (представляващ кръгло цилиндрично тяло изработено от изпитвания материал на което е изпълнен винтов надрез) се поставя в отвор 2 на втулка 3 изработена от същия материал. Втулката 3 се захваща в съставна масивна плоча 4. След това плочата се поставя в центриращото приспособление 8 монтирано на масата на заваръчен манипулатор или ротатор. Свободният край на тялото 1 е захванат към лостова система 5. Заваръчната глава 6 се позиционирана спрямо втулката 3 и образеца 1. Тя може да бъде разположена както от страната на лостовата система 5 така и от обратната в зависимост от варианта. Лостовата система 5 позволява обръщане на посоката на натоварване по време на заваряването. По този начин завареното съединение може да се натовари както по време на заваряване, така и след приключването му. Към лостовата система 5 е захванат датчик 10 отчитащ степента на натоварване при усукване $\tau_{ус}$. Към лостовата система 5 подвижно е монтирана тежест 9, с помощта на която предварително настройваме необходимото усилие. След завъртане на работната маса със скорост равна на скоростта на заваряване, в посоката на свободно въртене се изпълнява заваръчният шев 7.

При провеждане на изпитване на конкретна стомана се заваряват серия образци по един и същи метод на заваряване и при един и същ режим на заваряване. Изпълнява се едно и също заварено съединение. Когато се провеждат изпитвания за определяне склонността на материалите към образуване на студени заваръчни пукнатини, натоварването се извършва след като заваръчния шев се охлади под 250ºС. Образеца се натоварва на усукване в продължение на 20 часа и се проверява дали същия е разрушен като се отчита времето от натоварване до разрушаване(в случай че има разрушаване). Ако след 20 часа образеца не е разрушен същия може да се изследва за наличието на студени пукнатини по металографски и други методи.

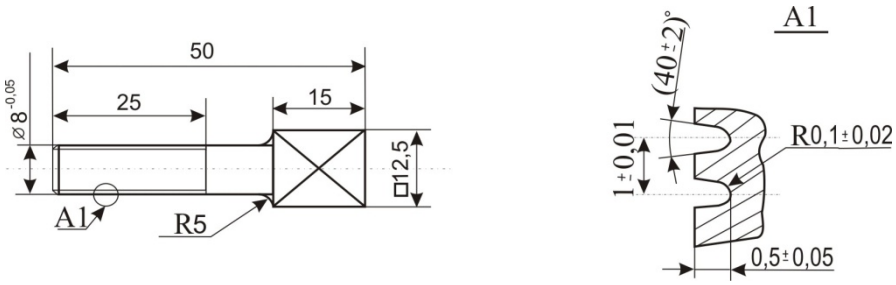
Възможно е провеждане на изпитване, при което натоварването на усукване на тялото може да се извършва по време на заваряването или след това, при избрана температура.

Разработен е и вариант, при който тялото се заварява с челен заваръчен шев към втулката, а също така варианти за изпитване на тръбни образци и комбинации плътни с тръбни.



Фиг. 2. Устройството за изпитване склонността на металите към образуване на пукнатини при заваряване на кръгови шевове.

Формата и размерите на плътния пробен образец и вида на надреза, който служи за концентратор на напрежението, са показани на фиг. 3.



Фиг. 3. Образец плътно тяло

Образеца се състои от квадратна глава, към която се захваща лостовата система за натоварване, и от цилиндрична част с винтов надрез за иницииране на пукнатината.

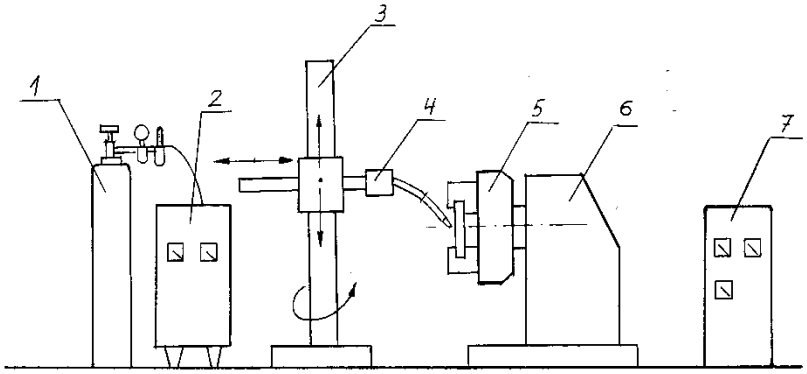
Възможни са изпитвания за сравняване на:

- материали (например различни марки стомани от един якостен клас)
- методи на заваряване
- режими на заваряване при избран метод
- изпитвания с различни температури на предварително или последващо подгряване с програмируема ТВЧ система (фиг. 4).



Фиг. 4. Система за ТВЧ нагряване

На фиг. 5 е показана блок схема на апаратурата за реализиране на процеса на заваряване, натоварване и измерване, и регистриране на параметрите.



Фиг. 5. Използвана апаратура

Апаратурата се състои от заваръчен токоизточник за МИГ/МАГ заваряване 2 с бутилка за защитен газ 1. С цел да се избегне субективното влияние на заварчика горелката 4 се застопорява на заваръчна колона 3 с необходимите степени на свобода, които гарантират точното позициониране на горелката. Пробата е закрепена на заваръчното приспособление за захващане и натоварване 5. То е захванато към план-шайбата на заваръчен манипулатор 6. Данните от изпитването се отчитат и регистрират от компютърна измервателна система 7.

Основните параметри на процеса на заваряване и натоварване са:

- Заваръчен ток $I_з$ [A];
- Напрежение на заваряване - $U_з$ [V];
- Скорост на заваряване – $V_з$ [cm/min];
- Температура при която се извършва натоварването T[°C];
- Усилие на натоварване G – [N];
- Време до разрушаване - t [min].

Компютърната измервателна система е изпълнена с необходимите датчици, два блока Spider8 на HBM (фиг. 6) и лаптоп. За реализиране на проекта е използван софтуер Catman.



Фиг. 6. Spider8 на HBM

Компютърната измервателна система позволява регистриране и запис на параметрите на процеса на заваряване и натоварване. С нейна помощ е възможно записване на термични цикли в различни точки на пробния образец.

Извършени са пробни изпитвания с цел доказване на работоспособността на метода и устройството за изпитване склонността на металите към образуване на пукнатини при заваряване. Изпитването е проведено на образци (фиг. 7) изработени от стомана S960QL.



Фиг. 7. Пробен образци от стомана S960QL

Образците са заварени по МИГ/МАГ метод с ъглов шев. Рарушаването е протекло в зоната на термично влияние. Разрушени в следствие на студени заваръчни пукнатини образци са показани на фиг. 8.



Фиг. 8. Разрушен образец от стомана S960QL

При проведените тестове метода и устройството доказаха своята работоспособност. Предстоят подробни изпитвания на избрана високояка стомана, записване и анализ на параметрите на протичащите процеси както и моделиране на процесите на нагряване-охлаждане-натоварване с помощта на ANSYS. Необходимо е систематизиране и подбор на опитните образци, материали, заваръчните шевове и параметри за отчитане на възможностите на приложение и годност за адаптиране към реални детайли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработени са оригинални метод и система за изпитване и оценяване на склонността на металите към образуване на пукнатини при заваряване на пръстеновидни шевове с малък диаметър.

Методът и системата позволяват изпитването на различни видове заварени съединения с пръстеновидни шевове с малък диаметър и сравнително количествено оценяване на тяхната склонност към образуване на пукнатини при заваряване.

ЛИТЕРАТУРА

1. DVS-Richtlinie 1006: Kaltrissprüfverfahren, Übersicht.

2. Uwer, D., Höhne H. *Charakterisierung des Kaltrissverhaltnes von Stählen beim Schweißen*, Schweißen u. Schneiden, 43, **1991**, H.4, S. 195-199

3. Granjon, H. *Information on Cracking Tests IIS/IIW-93-62* (ex-doc IX-290-61)

4. Christov, S. *A possibility of complex estimation of the weld cold cracking resistance*, Ninth European Conference on Fracture (ECF-9) "**Reliability and Structural Integrity of Advanced Materials**", 21-25.09.92, Varna, Bulgaria, EMAS, **1992**, Vol.II, p.963-970

5. Michailov, V. *Bewerten der Kaltrissneigung, Braunschweig-Kolloquium*, Qualitätssicherung in der Schweißtechnik, 3./4., Nov. **1994**

6. Zimmer, P., Th. Kannengießer, W. Florian, Th. *Böllinghaus. Kaltrissprüfung für hochfeste Feinkornbaustähle*, DVS-Berichte Bd. 232, DVS-Verlag Düsseldorf **2004**, S. 207-214

7. Zimmer, P. *Zur Bewertung der Kaltrisssicherheit von Schweißverbindungen aus hochfesten Feinkornbaustählen*, Dissertation, BAM-Dissertationsreihe, Band 29, Berlin **2007.**

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Н.с. I ст. д-р. инж. Пламен ТАШЕВ
Институт по металознание, съоръжения и технологии „Акад. А. Балевски” с център по хидроаеродинамика - БАН, София, Бул. „Шипченски проход” №67
e-mail: weld@abv.bg

Чл.кор. проф. д.т.н. Стефан ХРИСТОВ
Институт по металознание, съоръжения и технологии „Акад. А. Балевски” с център по хидроаеродинамика - БАН, София, Бул. „Шипченски проход” №67
e-mail: s.hristov@me.com

Н.с. I ст. инж. Николай АЛЕКСИЕВ
Институт по металознание, съоръжения и технологии „Акад. А. Балевски” с център по хидроаеродинамика - БАН, София, Бул. „Шипченски проход” №67
e-mail: naleksiev@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria
65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

HYBRID WELDING (REVIEW)

Manachil TONGOV

Abstract: *A short review on hybrid welding methods.*
Key Words: *hybrid welding.*

ХИБРИДНИ МЕТОДИ НА ЗАВАРЯВАНЕ (ОБЗОР)

Манахил ТОНГОВ

Резюме: *Направен е кратък обзор на хибридните методи на заваряване.*
***Ключови думи*:** *заваряване хибридни методи.*

Хибридното заваряване предполага комбинирането на два различни заваръчни технологични процеса в един с цел използване предимствата на всеки един от тях и по възможност премахване или намаляване на недостатъците на всеки един от тях. В настоящият момент в различна степен на използване и изследване се намират няколко основни комбинации, като всяка от тях има повече или по-малко специфични приложения: МИГ/МАГ + ВИГ; МИГ/МАГ + ПЗ (плазмено заваряване); МИГ/МАГ + ЛЗ (лазерно заваряване); ВИГ + ЛЗ; УЗ (ултразвуково заваряване) + ЗТ (заваряване чрез триене. Прави впечатление, че се развиват предимно процесите на заваряване чрез стопяване. Най–много публикации са посветени на комбинацията МИГ/МАГ + ЛЗ. Основната причина за това е, че този процес се очертава като най-гъвкав и с най-ярко изразено повишаване на скоростта на заваряване.

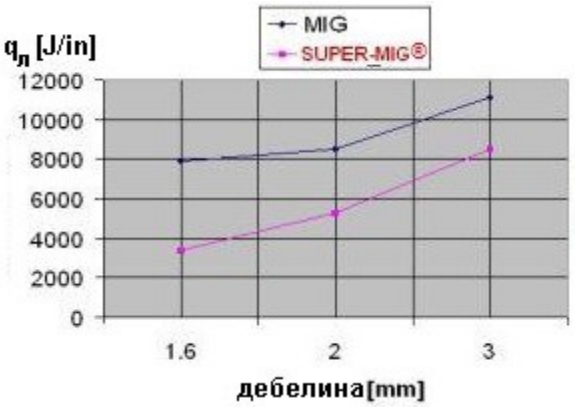
МИГ/МАГ + ПЗ. Процесът е илюстриран на фиг. 1 [1]. Той е разработен главно за заваряване на алуминиеви сплави, но намира приложение и в други случаи. Характеризира се с по-голяма проваряваща способност от стандартният МИГ/МАГ процес. Използва се в автомобилостроенето, тъй като е подходящ и при съединения с преогънати краища. Фирмата Plasma Laser Technologies го използва под търговската марка Super-MIG® [2].



Фиг. 1

На фиг. 2 е сравнена линейната енергия на заваряване на хибридната и стандартната технология. Вижда се, че при използването на хибридната технология линейната енергия е значително по-малка, което означава и много по-малка ЗТВ както и по-ниско ниво на заваръчните деформации. От гледна точка на проваряваща способност и производителност процесът е способен да конкурира стандартното подфлюсово заваряване.

МИГ/МАГ + ВИГ. Процесът е илюстриран на фиг. 3. Характерното за този процес е, че той не се осъществява с една горелка [3], но се реализира в обща вана и обединена газова защита. Процесът има предимствата на високата производителност на МИГ/МАГ технологията и високата стабилност на провара, характерна за ВИГ процеса. Този хибриден процес изглежда като естествено развитие на ВИГ заваряването с ДГТ.

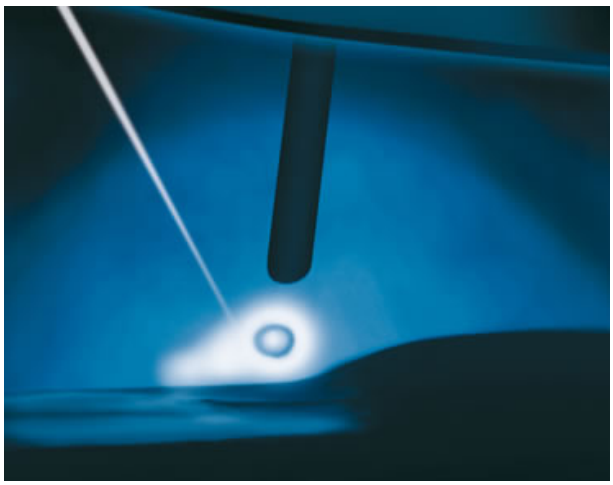


Фиг. 2

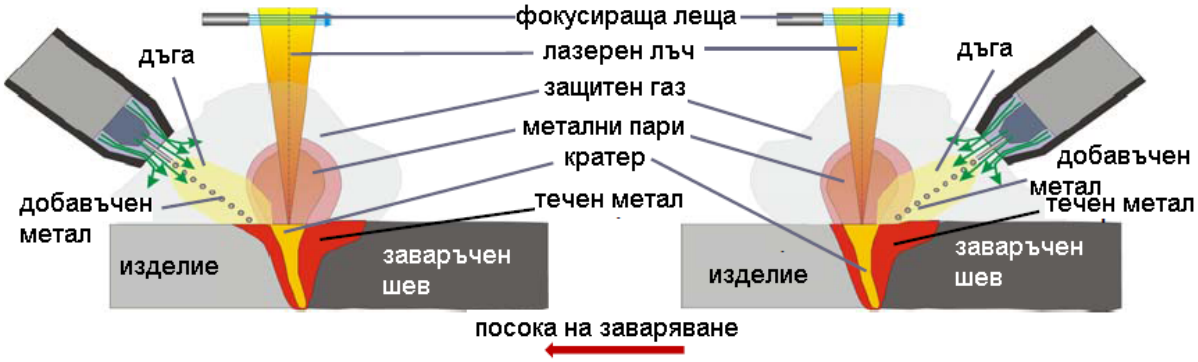


Фиг. 3

МИГ/МАГ + ЛЗ (фиг. 4). Това е най-разпространеният и най-дълбоко изследван процес на хибридно заваряване. Използва се високата концентрация на топлинния източник на лазерният лъч и високата производителност на стопяване на МИГ/МАГ процеса. Хибридният процес има две основни схеми на реализиране в зависимост от относителното разположение на лазерния лъч и горелката за МИГ/МАГ заваряване (фиг. 5) [7]. По време на заваряването се образува дълбок кратер и специфична форма на заваръчната вана. Скоростта на заваряване е значително по-висока (до 5 m/min [5]) от тази при стандартният МИГ/МАГ процес.



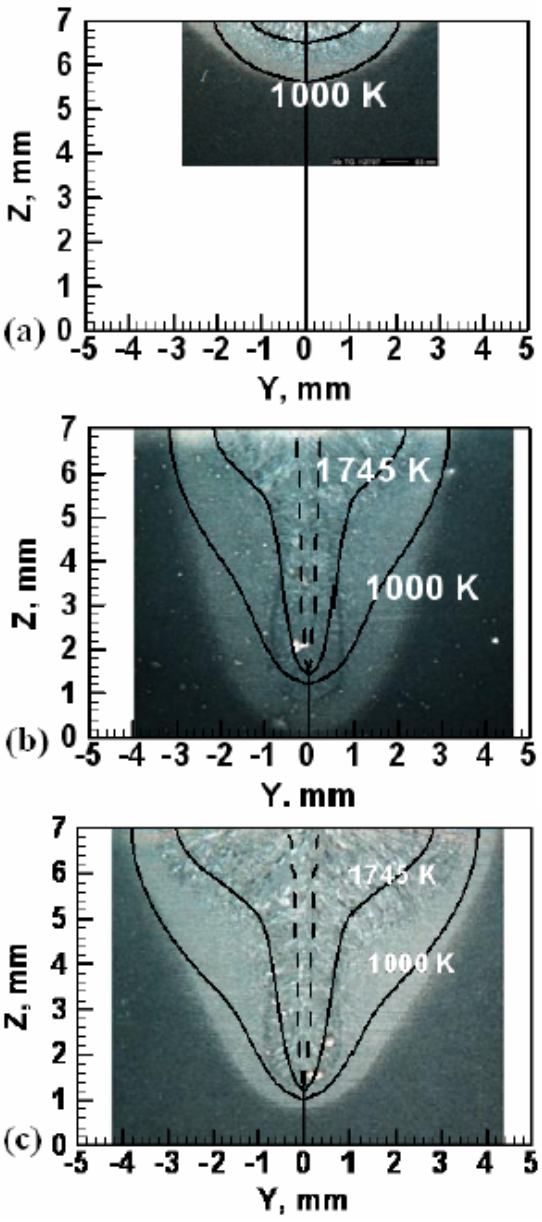
Фиг. 4



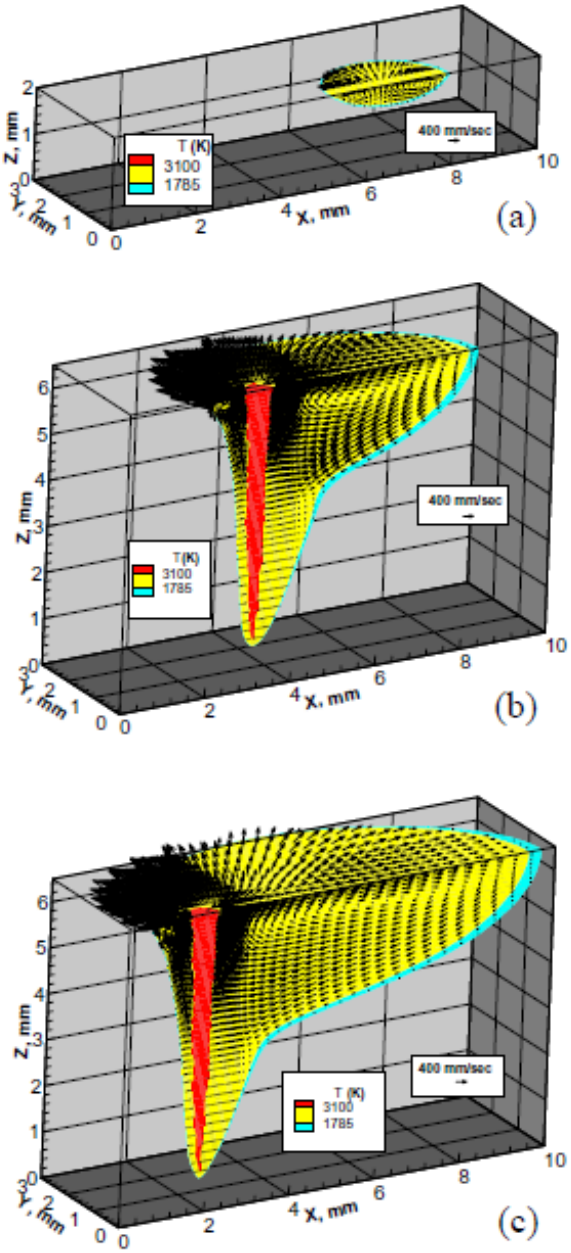
Фиг. 5

На фиг. 6 и фиг. 7 [4] (a – ВИГ, b – ЛЗ и c – хибридно заваряване) показан резултат от симулиране на процеса по МКЕ, където добре се вижда съчетаването на предимствата на двете технологии. Илюстрирани са температурното поле и полето на скоростите на течната фаза в заваръчната вана. Тук фактически е моделиран процес без допълнителен метал (ВИГ), но достатъчно добре се описва формата на ваната както в напречно така и в надлъжно сечение.

При реализирането на процеса един от основните параметри е взаимното разположение на лазерния лъч и горелката (фиг. 8) [6]. В зависимост от това се получават както различни форми на провара така и различна структура. Значителен брой изследвания са посветени на определянето на оптималното разстояние между лъча и горелката и изводът е, че това разстояние зависи както от заваряваната дебелина така и от основния метал. Повечето от изследванията се провеждат върху високояки стомани.



Фиг. 6

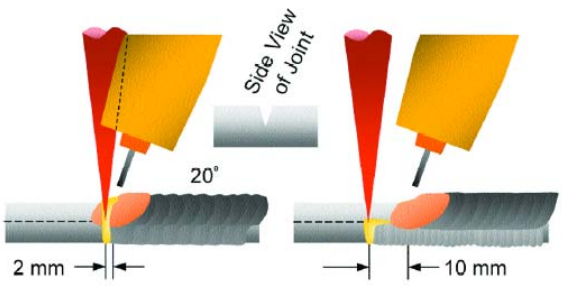


Фиг. 7

Формата на провара (фиг.9, [5]), съчетава характерните особености на лазерното и МИГ/МАГ заваряване. Вижда се значително по-голямата проваряваща способност, дължаща се на лазерния лъч и характерната за заваряването в защитно – газова среда изпъкналост на шева. Формирането на шева силно зависи от разстоянието между лазерния лъч и заваръчната дъга (фиг. 10) [6].

На фиг. 11 са сравнени формите на провара при хибридно заваряване и подфлюсово заваряване [6]. Тук ясно проличават предимствата на хибридния метод по отношение на разхода на метал и скосяването на краищата.

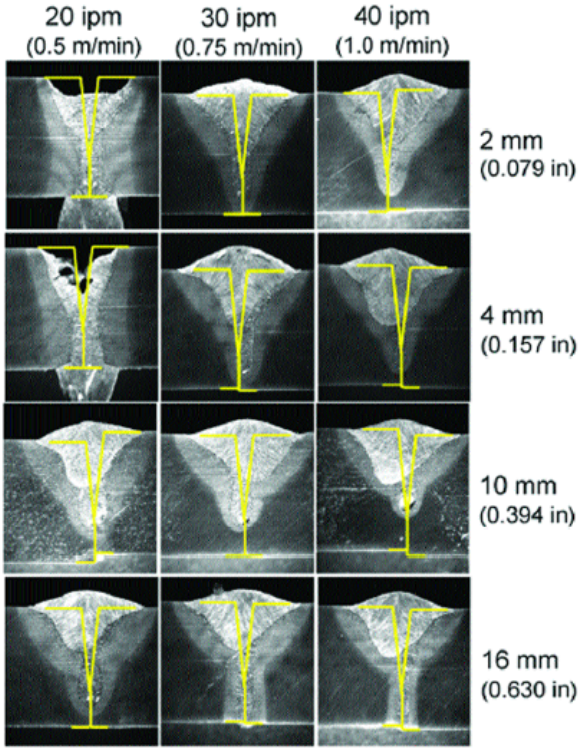
Високите скорости на заваряване и значително по-ниската линейна енергия водят до много по-малки деформации при заваряването [8]. Това е илюстрирано на фиг. 12.



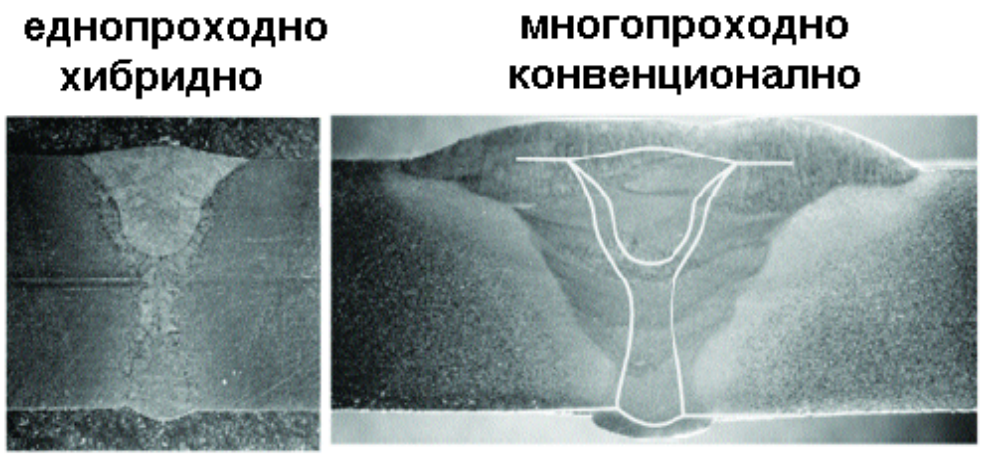
Фиг. 8



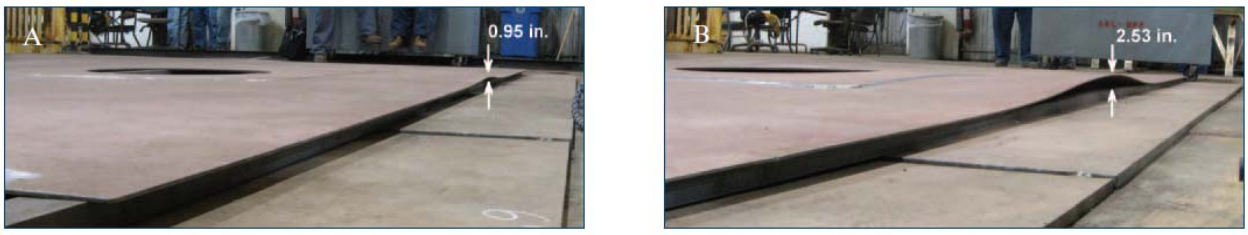
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитието на отделните технологични процеси доведе до създаването на хибридни такива. Независимо от огромния напредък, особено в лазерните хибридни процеси, за мащабното използване на новите технологии в индустреята са необходими изследвания, които да докажат както техните чисто технически така и икономически предимства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Asai S., T.Ogawa, Y.Ishizaki, T.Minemura, H.Minami and S.Miyazaki. *Application of Plasma-MIG Hybrid Welding to Dissimilar Joint between Copper and Steel*. - IIW Doc. No.XII-**1972**-09.
2. http://www.plasma-laser.com/new/technologies.asp?catID=2&subCatID=1.
3. Dykhno, I., R. Davis. *Joining GMAW and GTAW*, THE FABRICATOR, November, **2006**.
4. Ribic, B.D., R. Rai, T.A. Palmer, and T. DebRoy. *Arc-Laser Interactions and Heat Transfer and Fluid Flow in Hybrid Welding*. Trends in Welding Research, P r o c e e d i n g s of the 8th International C o n f e r e n c e Stan A. David, Tarasankar DebRoy, John N. DuPont, Toshihiko Koseki, Herschel B. Smartt, editors, pp. 313-320.
5. Moriaki Ono, Yukio Shinbo, Akihide Yoshitake and Masanori Ohmura. *Development of Laser-arc Hybrid Welding*. Nkk Technical Review, No.86, **2002**, pp.8-12.
6. Reutzel, E. W., Michael J. Sullivan, and Darlene A. Mikesic. *Joining Pipe with the Hybrid Laser-GMAW Process: Weld Test Results and Cost Analysis*. Welding Journal, june **2006**, pp.66-71
7. Kah P., A. Salminen, J. Martikainen. *The effect of the relative location of laser beam with arc in different hybrid welding processes*. ISSN 1392 - 1207, Mechanika, Nr.3(83), **2010**, pp.68-74
8. KELLY, S. M., S. W. BROWN, J. F. TRESSLER, R. P. MARTUKANIITZ, AND M. J. LUDWIIG. *Using Hybrid Laser-Arc Welding to Reduce Distortion in Ship Panels*. Welding Journal, MARCH **2009**, pp.32-36.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р Манахил ТОНГОВ
ТУ–София, катедра МТМ, МТФ
e-mail: tongov@dir.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

MODELLING THE QUANTITY OF RETAINED AUSTENITE IN AUSTEMPERED DUCTILE IRONS BY ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

Julieta KALEICHEVA **Valentin MISHEV**

Abstract: *Artifical neural network model for a prediction of the quantity of the retained austenite in austempered ductile irons have been created. Feedforward neural networks have been used. Entrance parameters of neural network are a chemical composition (C, Si, Mn, Mo, Ni, Cu), a temperature of heating T_γ, a time of heating t_γ, a temperature of isothermal transformation T_A and a time of isothermal transformation t_A . Issue of neural network is the quantity of the retained austenite A. Neural network model is used for study the influence of the isothermal transformation time t_A on the quantity of the retained austenite A of austempered ductile irons.*

Key words: *neural networks, retained austenite, bainite, spheroidal graphite cast irons, austempering.*

МОДЕЛИРАНЕ НА КОЛИЧЕСТВОТО ОСТАТЪЧЕН АУСТЕНИТ В ИЗОТЕРМИЧНО ЗАКАЛЕНИ ВИСОКОЯКИ ЧУГУНИ ЧРЕЗ ИЗКУСТВЕНИ НЕВРОННИ МРЕЖИ

Жулиета КАЛЕЙЧЕВА **Валентин МИШЕВ**

Резюме: *Разработен е модел на изкуствена невронна мрежа за предвиждане на количеството остатъчен аустенит в изотермично закалени високояки чугуни. Използвани са feedforward йерархични изкуствени невронни мрежи. Химичният състав на чугуна (C, Si, Mn, Mo, Ni, Cu), температурата на нагряване T_γ, времето на нагряване t_γ, температурата на изотермично превръщанеT_A и времето на изотермично задържане t_A са входни параметри за мрежата. Изход за невронната мрежа е количеството остатъчен аустенит А. Използвайки разработения невронен модел е изследвано влиянието на времето на изотермично задържане t_A върху количеството остатъчен аустенит А в изотермично закалени високояки чугуни.*

Ключови думи: *невронни мрежи, остатъчен аустенит, бейнит, високояк чугун, изотермично закаляване.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изотермично закалените вискояки чугуни намират широко приложение за изработването на детайли, използвани в автомобилната промишленост, жп-транспорта и др. отрасли на промишлеността. Високояките чугуни имат своите предимства в сравнение с други материали, например кованите стомани, като добри леярски свойства, по-ниски разходи за обработка, способност да гасят вибрации, по-ниска плътност и др. Тези характеристики, заедно с добрите механични свойства, които могат да бъдат постигнати чрез изотермично закаляване, правят тези материали конкурентни за много приложения, в които кованите стомани са били доминиращи. Оптималната комбинация от високовъглероден аустенит и бейнитен ферит гарантира отлични механични свойства на изотермично закалените високояки чугуни. Съотношението на фазите се променя при различните състави и режими на изотермично закаляване, което дава възможност да се произвежда гама от материали с различни свойства, съчетаващи висока якост с повишена жилавост [1,5].

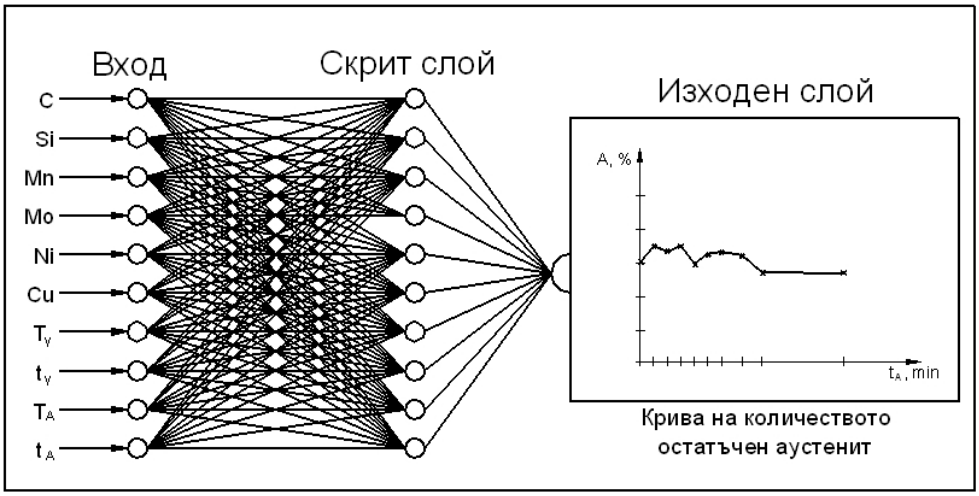
Получаването на изотермично закалени високояки чугуни и изследването на микроструктурата и свойствата им е свързано с мащабна експериментална работа, изискваща

усилията и времето на голям брой изследователи, разход на материали, както и скъпоструващи експериментални установки. Напоследък се засилва интересът към изучаване и контролиране на процесите и явленията при различните технологии за получаване и обработка на материалите чрез методите на компютърното моделиране. Изкуствените невронни мрежи се нареждат сред най-мощните обектно ориентирани подходи за компютърно моделиране и управление на различни процеси и явления. Те намират все по-широко приложение при симулиране на взаимовръзки в случаите, трудно описуеми чрез физическо моделиране, като процесите на фазови и структурни превръщания в материалите [1-4].

Целта на настоящата работа е да се разработи модел на изкуствена невронна мрежа за предвиждане на количеството остатъчен аустенит в изотермично закалени високояки чугуни, като функция на химичния състав и режима на термична обработка.

2. ОПИСАНИЕ НА МОДЕЛА

За предвиждане на количеството остатъчен аустенит са използвани feedforward йерархични изкуствени невронни мрежи. Входни параметри за мрежата са съставът на чугуна, температурата на аустенитизация T_γ, времето на аустенитизация t_γ, температурата на изотермично превръщане T_A и времето на изотермично задържане t_A. Съставът на чугуна е представен чрез количеството на въглерод, силиций, манган, молибден, никел и мед. Изход за невронната мрежа е количеството остатъчен аустенит A в чугуна след изотермично закаляване (фиг. 1).



Фиг. 1. Схематичен модел на изкуствена невронна мрежа за предвиждане на количеството остатъчен аустенит в изотермично закалени високояки чугуни

За обучението на невронната мрежа са използвани възможностите на Neural Network Toolbox към софтуерния продукт Matlab 7.6.0.

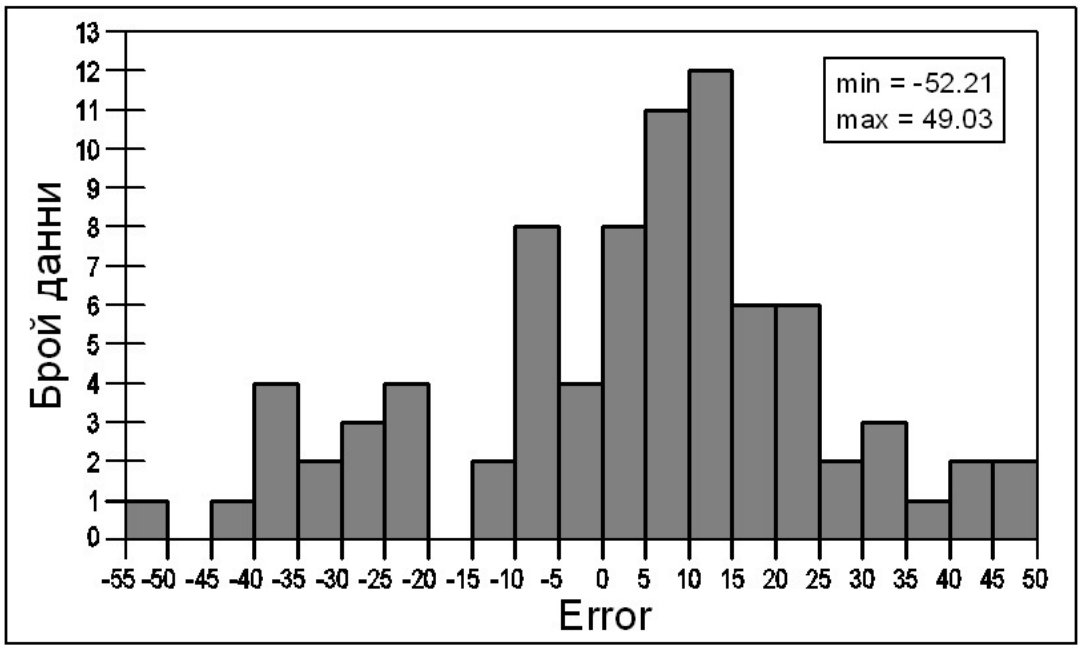
Мрежата за предвиждане на остатъчния аустенит притежава 10 входа и 1 изход. При обучението на невронната мрежа е използвана база данни, съставена от стойности на количеството остатъчен аустенит във високояки чугуни след изотермично закаляване при различни режими, взети от литературни източници. Бяха колекционирани 1032 входно-изходни двойки данни в следните интервали на входните параметри: 3,16 – 3,81 % C , 1,57 – 3,78 % Si, 0,016 – 1,230 % Mn, 0,003 – 0,740 % Mo, 0,05 – 3,82 % Ni, 0,024 – 1,60 % Cu; температура на аустенитизация T_γ: 800 – 1050 ^oC; време на аустенитизация t_γ: 15 - 240 min., температура на изотермично превръщане T_A : 260 - 440 ^oC; време на изотермично задържане t_A : 1 – 60 000 min. 70% от входно-изходните двойки данни са използвани за трениране, 15% за потвърждение и 15% за тестване на мрежата. Коефициентът на корелация (R - regression) на така обучената мрежа достигна стойност 0,87413, като при пропускане на нови данни запазва стойност 0,85255.

Архитектурата на невронната мрежа включва вход, 35 скрити и 1 изходен слой (фиг. 2). Броят на невроните във входния и изходния слоеве е определен въз основа на броя на входните и изходни параметри респективно. С цел намиране на оптималната архитектура, е варирано с броя на невроните в скритите слоеве. Чрез множество експерименти е определена следната оптимална мрежова конфигурация: многослойна мрежа с *bias* вектор, обучена с *Backpropagation* обучаващо правило с *Levenberg - Marquardt* алгоритъм в комбинация с *Bayesian* регуляризация.



Фиг. 2. Архитектура на невронната мрежа за предвиждане на количеството остатъчен аустенит

След обучението на невронната мрежа, точността на изпълнение е потвърдена чрез допълнително извършен статистически анализ на грешката в предвижданията на мрежата (фиг. 3). Бяха пресметнати чрез невронната мрежа стойностите на количеството остатъчен аустенит за цялата база данни. Получените стойности са сравнени със съответните експериментални данни и са пресметнати относителните грешки. Грешката има класическо Гаусово разпределение около нулата. За около 85% от базата данни грешката в предвижданията е в границите ±20 %.Тези резултати потвърждават, че разработеният модел може да се използва за предвиждания със задоволителна за практиката точност.



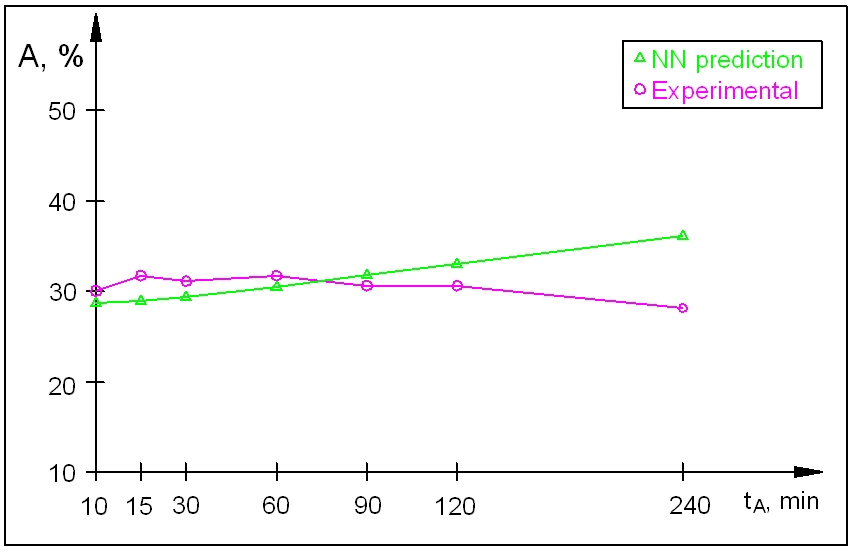
Фиг. 3. Статистически анализ на грешката в предвижданията на невронната мрежа за определяне на количеството остатъчен аустенит

3. ВЛИЯНИЕ НА ВРЕМЕТО НА ИЗОТЕРМИЧНО ЗАДЪРЖАНЕ ВЪРХУ КОЛИЧЕСТВОТО НА ОСТАТЪЧНИЯ АУСТЕНИТ В ИЗОТЕРМИЧНО ЗАКАЛЕНИ ВИСОКОЯКИ ЧУГУНИ

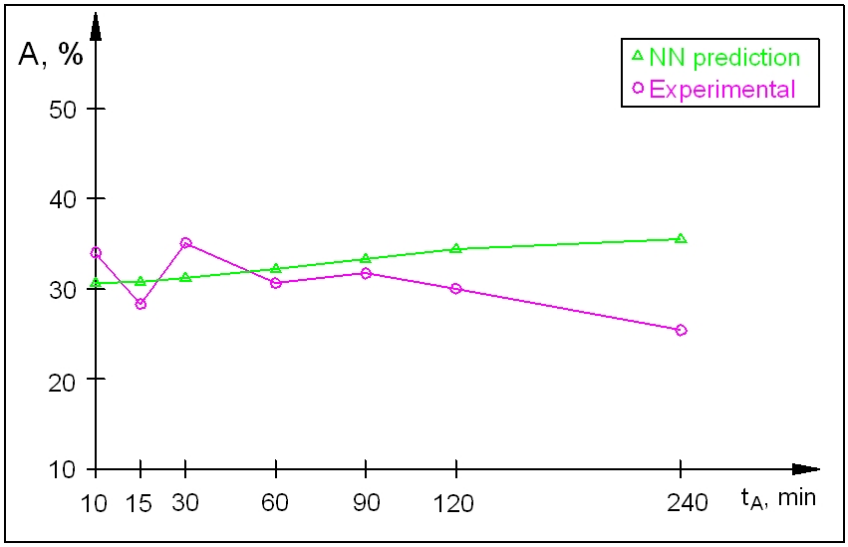
На базата на обучената невронна мрежа е разработен модел за предвиждане на количеството остатъчен аустенит А в изотермично закалени високояки чугуни. Разработеният модел е използван за анализ на влиянието на входния параметър - време на изотермично задържане t_A,, върху количеството остатъчен аустенит А (фиг. 4 и 5).

От гледна точка на теорията на бейнитното превръщане, разпадането на преохладения аустенит при изотермично закаляване води до образуване на структурата бейнит. Бейнитът бива горен или долен, в зависимост от температурния интервал, в който се образува. Фазовият състав на тези структури е еднакъв: бейнитен ферит (α – фаза) и карбиди. В началото на аустенит-бейнитното превръщане от преохладения аустенит се образува преситена с въглерод α – фаза по мартензитен механизъм и се запазва значително количество непревърнат

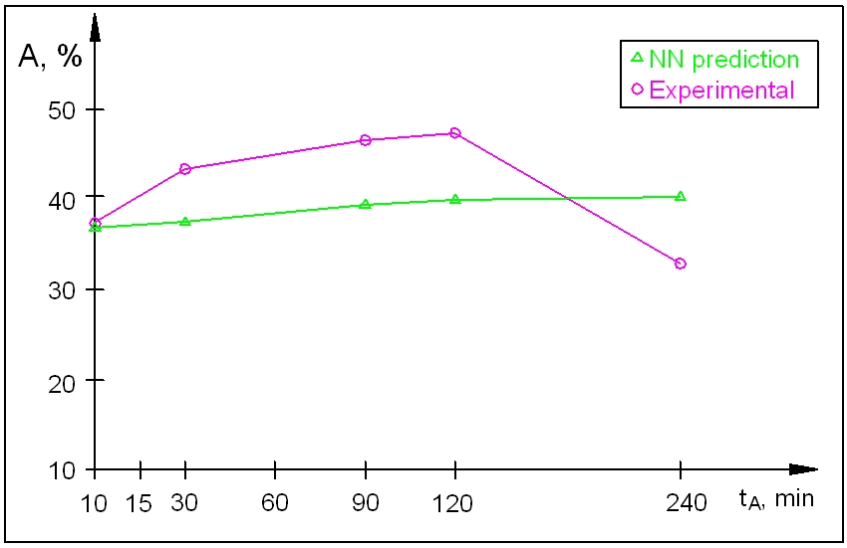
а)



б)



в)



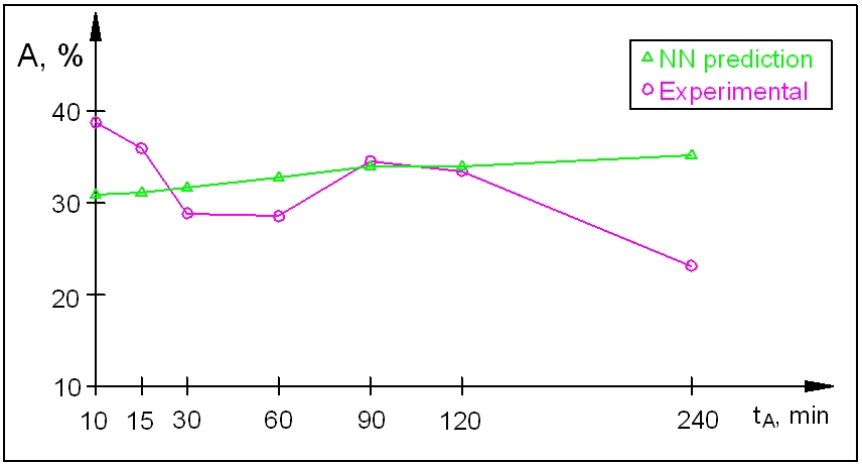
Фиг. 4. Изменение на количеството остатъчен аустенит A в зависимост от времето на изотермично задържане t_A при температура на нагряване $T_\gamma = 800°C$ (а) , 870°C (б) и 950°C (в), време на нагряване t_γ = 120 min и температура на изотермично превръщане T_A=375 °C (експерименталните данни са за чугун със състав I)

аустенит, обогатен с въглерод. На по-късен етап от превръщането, след период на затишие, обогатеният с въглерод аустенит може да се разпадне на двуфазна ферито - карбидна смес или да се запази непревърнат. Обогатеният с въглерод аустенит или част от него, след изотермичното закаляване, се запазва в структурата като остатъчен аустенит А, тъй като неговата т. $M_н$ се понижава. При охлаждане до стайна температура е възможно част от него да се превърне в мартензит [1,5].

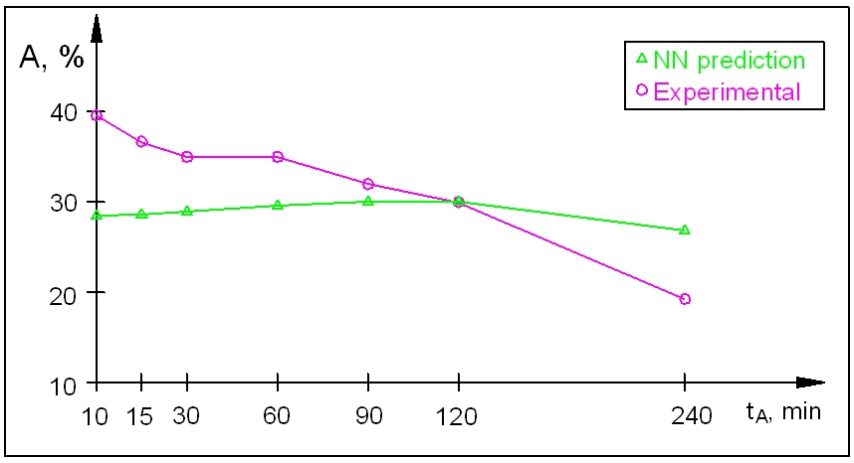
Анализът на кривите за количеството остатъчен аустенит А показва, че с повишаване на температурата на нагряване от 800 до 950 °С се увеличава количеството на остатъчния аустенит в чугуните след изотермично закаляване при температура 375 °С от 10 до 240 min (фиг.4). При аустенитизация количеството на разтворения в твърдия разтвор въглерод зависи от температурата на нагряване и времето на задържане и се увеличава с повишаване на температурата при постоянно време на нагряване. При температура на изотермично превръщане 375 °С от преохладения аустенит по мартензитен механизъм се образува бейнитен ферит (α – фаза), който съдържа въглерод по-малко от въглерода в изходния аустенит. Това увеличава количеството на въглерода в непревърнатия при температурата на изотермата аустенит. Този обогатен с въглерод аустенит или част от него, при охлаждане до стайна температура, се запазва в структурата като аустенит остатъчен А.

На фиг. 4 са сравнени данните за количеството остатъчен аустенит, получени от обучената невронна мрежа, с експерименталните данни за чугун със състав: Fe-3.39C-2.56Si-0.37Mn-0.25Mo-0.29Cu wt % (състав I), след изотермично закаляване при 375 °С, време на задържане от 10 до 240 min, температура на нагряване 800, 870 и 950 °С и време на нагряване 120 min. Сравнението показа най-добро съгласуване на данните от невронната мрежа с тези от експеримента за температура на нагряване 800 °С.

а)



б)



Фиг. 5. Изменение на количеството остатъчен аустенит А в зависимост от времето на изотермично задържане t_A при температура на нагряване $T_\gamma = 870$°С , време на нагряване t_γ=120 min и температура на изотермично превръщане T_A=375 °С (а) и 400 °С (б) (експерименталните данни са за чугун със състав II)

На фиг. 5 са сравнени данните за количеството остатъчен аустенит, получени от обучената невронна мрежа, с експерименталните данни за чугун със състав: Fe-3.49C-2.33Si-0.42Mn-0.23Mo-0.25Cu wt % (състав II), след изотермично закаляване при 375 и 400 ^{o}C , време на задържане от 10 до 240 min, температура на нагряване 870 ^{o}C и време на нагряване 120 min.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Използвайки възможностите на изкуствените невронни мрежи е разработен модел за предвиждане на количеството остатъчен аустенит А в изотермично закалени високояки чугуни като функция на химичния състав (*C, Si, Mn, Mo, Ni, Cu*) и технологичните параметри (T_{γ}, t_{γ}, T_A, t_A). За разработения модел е извършена оптимизация на архитектурата, предавателната функция и обучаващия алгоритъм на съответната невронна мрежа. Установено е добро съответствие между резултатите, получени от оптималната мрежова архитектура и експерименталните данни. За около 85% от базата данни грешката в предвижданията е в границите ± 20 %. Използвайки разработения модел на невронна мрежа е изследвано влиянието на времето на изотермично задържане t_A върху количеството остатъчен аустенит А.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bhadeshia, H.K.D.H. *Bainite in Steels, 2 nd ed.*, Inst. of Materials, Cambridge, London, **2001**, 460 p.
2. Bhadeshia, H. K. D. H. *Neural Networks in Materials Science*. ISIJ International, vol. 39, No 10, **1999**, pp. 966-979.
3. Yescas-Gonzalez, M. A., H. K. D. H. Bhadeshia, D. J. C. MacKay. *Estimation of the Amount of Retained Austenite in Austempered Ductile Irons Using Neural Networks*. Materials Science and Engineering A, vol. 311A, **2001**, pp. 162-173.
4. Yescas-Gonzalez M. A. *Prediction of the Vickers Hardness in Austempered Ductile Cast Irons Using Neural Networks.* International Journal of Cast Metals Research, vol. 15, **2003**, p. 513-521.
5. Kaleicheva J., N. Kemilev, V. Mishev. *Austempering of Alloy Spheroidal Graphite Cast Irons.* The Fifth International C o n f e r e n c e Heavy Machinery HM2005, Kraljevo, **2005**, p. II A.27-II A.30.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Julieta KALEICHEVA, Assoc. Prof., Dr.
Department of Materials Science and Technology of Materials
Technical University of Sofia,
8, Kliment Ohridski St.
1000 Sofia, BULGARIA
e-mail: jkaleich@tu-sofia.bg

Valentin MISHEV, Eng.
Department of Materials Science and Technology of Materials
Technical University of Sofia,
8, Kliment Ohridski St.
1000 Sofia, BULGARIA
e-mail: vaky@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ABOUT THE INFLUENCE OF THE PROCESS OF CARBONITRIDING IN LOW TEMPERATURE PLASMA OVER THE RESIDUAL STRESSES

Angel ZUMBILEV **Ilia ZUMBILEV**

Abstract: *The aim of this paper is to investigate the influence of certain modes of ion carbonitriding over the processes of forming residual micro stresses in Armco-iron. Layers of various thickness and surface micro-hardness have been obtained after carbonitriding. The residual stresses in the diffusion zone of the carbonitrided layers have been defined by means of the Roentgenoggraphic method.*

The obtained results show that under the selected modes of ion carbonitriding of Armco–Fe, residual micro-stresses due to strain and stress are formed in the hard solution of the α – iron and their size depends on the mode of treatment.

Key Words: *ion carbonitriding, ammonia, corgon, residual stresses.*

ОТНОСНО ВЛИЯНИЕТО НА КАРБОНИТРИРАНЕТО В НИСКОТЕМПЕРАТУРНА ПЛАЗМА ВЪРХУ ОСТАТЪЧНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ

Ангел ЗЮМБИЛЕВ **Илия ЗЮМБИЛЕВ**

Резюме: *Целта на настоящата работа е да се изследва влиянието на определени режими на йонно карбонитриране върху формирането на остатъчните макро напрежения в Армко - желязото. След карбонитриране са получени слоеве са с различна дебелина и повърхностна микротвърдост. Остатъчните напрежения в дифузионната зона на карбонитридните слоеве са определени чрез рентгенографски метод.*

Получените резултати показват, че при избраните режими на йонно карбонитриране на Армко – желязо, в твърдия разтвор на α–желязото се формират остатъчни макронапрежения на опън или натиск, които са с определена големина и в зависимост от режима на обработка .

Ключови думи: *йонно карбонитриране, амоняк , коргон , остатъчни напрежения.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Основен метод за повишаване на износоустойчивостта на детайлите е целенасоченото подобряване на свойствата на повърхностния им слой чрез механична, термична, химико-термична и други видове уякчаваща обработка [1,2,3,4,11]. Актуална задача с оглед да се повиши ефективността на разработваните за тази цел технологии е изследването на получените след съответна обработка вътрешни напрежения в материалите [5,6].

Известни са голям брой методи за определяне на вътрешни напрежения, които могат да бъдат разделени в следните две групи: Разрушителни методи - метод на разглобяването, метод на провисването, метод с нанасяне на свредловъчен отвор, метод на разстъргването и метод на обстъргването; Безразрушителни методи - рентгенов метод, магнитен метод**,** метод с ултразвук , метод с неутронни лъчи [7].

При рентгенографския метод на измерване на напрежения, могат да бъдат регистрирани субмикроскопични изменения на междуатомните разстояния респективно на измерваните равнини в кристалната решетка на зърната на един многокристален материал. Методът е напълно безразрушителен.

Разстоянието между атомите в кристалната решетка обикновено е около няколко нанометъра. Дължината на вълната λ на рентгеновите лъчи също е няколко десетки нанометра, т.е. порядъкът на тези величини е един и същ. Затова рентгеновите лъчи се считат за едни от най-надеждните за изследване на структурата на кристалите [8,9,10].

Целта на настоящата работа е да се изследва влиянието на формираните карбонитрирани слоеве върху вида и големината на създадените остатъчни напрежения след йонно карбонитриране на Армко-желязо.

2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

2.1. Материали за изследване и режими на термична обработка

На изследване е подложено Армко-желязо с химичен състав, даден в табл. 1, който е определен в уредба за автоматичен анализ "Спектротест".

Таблица 1 Химичен състав на Армко - желязото

Материал	*Химични елементи, тегловни проценти*							
	C	*Cr*	*Mo*	*Ni*	*P*	*Si*	*Mn*	*S*
Армко - желязо	*0,02*	*0,02*	*0,02*	*0,03*	*0,002*	*0,01*	*0,07*	*0,002*

От Армко-желязото са изработени пробни образци с размери 15 x 15 x 10 mm. Пробните тела са отгряти в защитна среда при температура 940 ^{o}C, и са с твърдост 75HB. След което, те са шлифовани с грапавост на повърхнините R_a = 0.63 μm.

Така обработени, образците са подложени на йонно карбонитриране в инсталация "Йон-20", съгласно режимите дадени в табл. 2 . Като насищащи газове са използвани амоняк (NH_3) и коргон (82 % Ar и 18% CO_2) в различно процентно съотношение.Температурата на обработване на пробните тела е 550°

Таблица 2 Режими на йонно карбонитриране

Режим №	*Образец №*	*τ [h]*	*P_1 амоняк [Pa]*	*P_2 коргон [Pa]*	*$P_{общ.}$ [Pa]*	*U [V]*
1	*33*	*4*	*280*	*120*	*400*	*435*
2	*388*	*2*	*350*	*350*	*700*	*380*
3	*9*	*6*	*350*	*350*	*700*	*380*

2.2. Металографски изследвания

При металографския анализ на карбонитрираните пробни тела е използван микроскоп - Axioscope. Дебелината на карбонитрирания слой е определена по дълбочината, до която се постига твърдост равна на сърцевината плюс 50. Измерването на микротвърдостта е осъществено с микротвърдомер - Shimadzu. Използуван е метода на Викерс с натоварване 100g.

2.3. Вътрешни напрежения

Изследването на вътрешните напрежения в карбонитрираното Армко-желязо е извършено с рентгенов дифрактометър SET-X ENSAM , чрез „ $\sin^2\Psi$" метода. Благодарение на установените чрез дифрактометъра ъгли Ψ и φ може по-точно да се измерят съответните дифракционни ъгли θ_{hkl} и да се определят формираните на повърхността на образеца остатъчните напрежения**.**

За тариране на рентгеновия дикрактометър се използва прахов образец.Тъй като, праховият образец е освободен от остатъчни напрежения, това позволява да се провери и по лесен начин да се настрой дифрактометъра. В конкретния случай работим с хромово рентгеново лъчение Cr - Kα с дължина на вълната λ=2.29Å. Информация за създадените напрежения може да достигне на разстояние до 11μm от повърхността на карбонитрираната повърхност. Чрез настройване на дифракционните ъгли, се регулира дълбочината на проникване на хромовото лъчение, което е 2μm под свързаната зона в областта на дифузионната зона на карбонитрирания слой в равнина α - Fe {2 1 1}.

Чрез рентгеновия дифрактометър са измерени дифракционните ъгли в карбонитрирани слоеве. Получените данни се въвеждат в програмата – „MATHLAB-2008". Посредством графично построяване на права в координати „2θ - $\sin^2$ Ψ"се определя стойността на

дифракционния ъгъл 2θ при $\sin^2 90^\circ$ - фиг. 1. Остатъчните напрежения в карбонитрираните пробни тела са определени чрез следната зависимост:

$$\sigma_\phi = \frac{E}{2(1+\mu)} \cot\theta \left(2\theta_{\psi=0} - 2\theta_{\psi=90}\right) \frac{\pi}{180} \quad (1)$$

В дадената формула стойностите за еластичните константи са избрани за не азотирана стомана: коефициент на Поансон μ = 0,29, модул на еластичност E = 210 GPa. Еталонният дифракционен ъгъл е 2θ = 156°30', а θ = 78°15'. Грешката при определяне на напреженията зависи от относителната грешка Δθ/θ при определяне на ъгъл θ, която е в границите на 2-3%.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

В карбонитридните слоеве чрез рентгеновият дифрактометър са измерени дифракционните ъгли при различни ъгли Ψ и φ на завъртане на образеца. Получените данни се въведени в програмата – „MATHLAB-2008", чрез която са построени графики и са определени стойностите на ъгъл 2θ за $\sin^2\Psi$, при Ψ=90°.

След определяне на ъгъл 2θ при Ψ=90° за всички карбонитрирани пробни тела, чрез уравнение (1) са изчислени остатъчните напрежения в карбонитрираните слоеве. Получените резултати са дадени в табл. 3. Използвани са три начина за определяне на дифракционните ъгли: метод на максималния интензитет - $\sigma^{\varphi s}$, метод на хордата - $\sigma^{\varphi c}$ и метода на центъра на тежестта - $\sigma^{\varphi b}$.

Таблица 3 Резултати от получените остатъчни напрежения в слоевете

Реж. №	τ [h]	P_1 NH_3 [Pa]	P_2 коргон [Pa]	$HV_{0,1}$	$\delta_{об}$ [μm]	$\delta_{с.з}$ [μm]	σ_φ^s [MPa]	σ_φ^c [MPa]	σ_φ^b [MPa]
1	4	280	120	480	280	6.5	-31	-22	-8
2	2	350	350	540	210	4	21	30	73
3	6	350	350	560	320	7	54	16	70

От табл. 3. се вижда, че след йонно карбонитриране на Армко-желязото (образец 33, табл.3) при : t = 550°C, P_{NH3} = 280Pa, , $P_{82\% Ar +18\% CO2}$ = 120Pa, τ = 4h се получава карбонитриран слой с обща дебелина $\delta_{об}$ = 280μm, дебелина на свързаната зона $\delta_{сз}$ = 6,5 μm и максимална микротвърдост 480$HV_{0.1}$. В така формирания слой се създават остатъчни натискови напрежения с различна стойност. От трите метода за определяне на дифракционните ъгли при $\sin^2 90$, най- висока стойност на остатъчните напрежения ($\sigma^{\varphi s}$ = - 31MPa) се получават при метода на максималния интензитет.

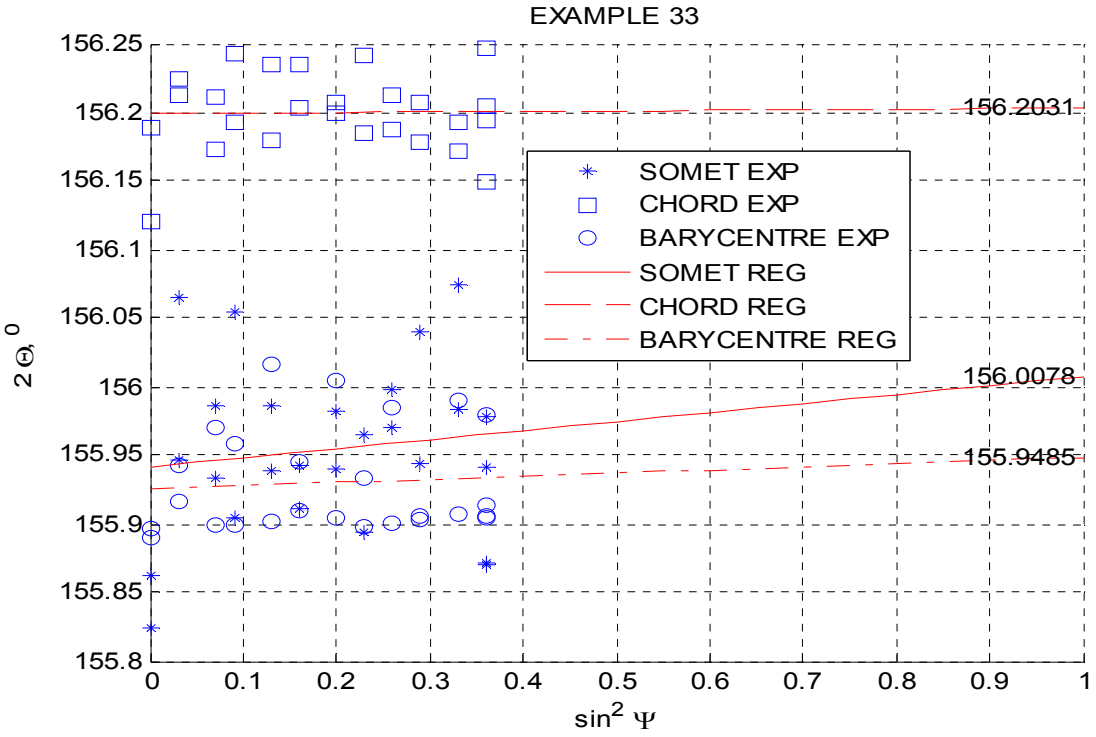
След йонно карбонитриране на Армко-желязото при t = 550°C, P_{NH3} = 280Pa , $P_{82\% Ar +18\% CO2}$ = 120Pa и τ = 4h в дифузионата зона на карбонитрирания слой се наблюдават, по- малко количество карбонитридни отделяния от останалите режими на карбонитриране - фиг. 2.

Наличието на тези карбонитридните отделяния, водят до повишаване на обема на дифузионната зона, следствие на което в този образец се формират малки остатъчни натискови напрежения- табл. 3.

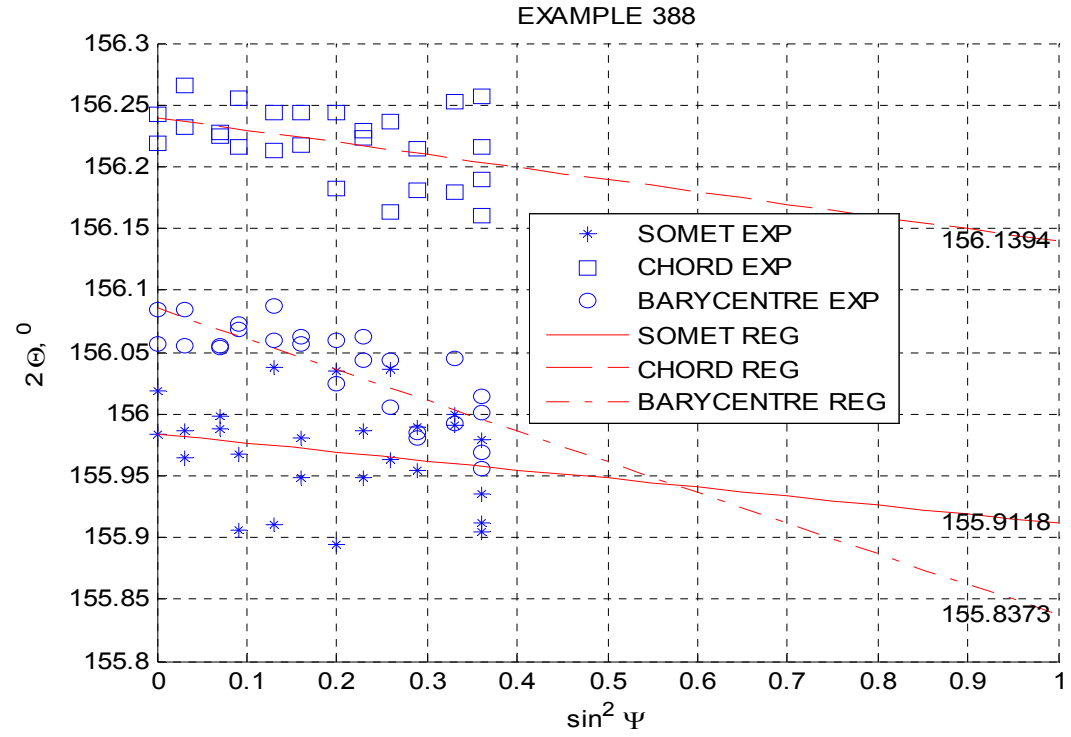
С повишаване на налягането на газовата среда от 400 на 700Pa (P_{NH3} = 350 Pa и $P_{82\% Ar +18\% CO2}$ = 350 Pa - режим 2 и 3, табл.3), се получават карбонитрирани слоеве с по- висока микротвърдост (540 - 560 $HV_{0.1}$). Дебелината на карбонитрирания слой е в диапазона 210-320 μm, а дебелината на свързаната зона 4-7 μm. От табл. 3 може да се отбележи, че при по-високото налягане (700Pa) на насищащите газове във вакуумната камера, за разлика от първия режим на карбонитриране се формират остатъчни опънови напрежения на повърхността.

Поради отсъствие на легиращи елементи в Армко-желязото не се образуват специални карбонитриди. При изменението на концентрацията на азот, (която може да достигне до 0.1% при евтектоидна температура) в твърдия разтвор на α – желязото не се наблюдава съществено изменение на параметрите на ОЦК - решетката. Поради което разликата в специфичните обеми на дифузионната зона и основния материал е малка.Това води до ниски стойности на формираните остатъчни напрежения в карбонитрирания слой на Армко-желязото. Повишено

съдържание на азот и въглерод в свързаната зона, може да предизвика и промяна на вида на формираните остатъчни напрежения в дифузионната зона [10]. При образуването на твърдия разтвор на α – желязото, изменението на специфичния му обем е с два порядъка по- малък , отколкото при карбонитридите [4].

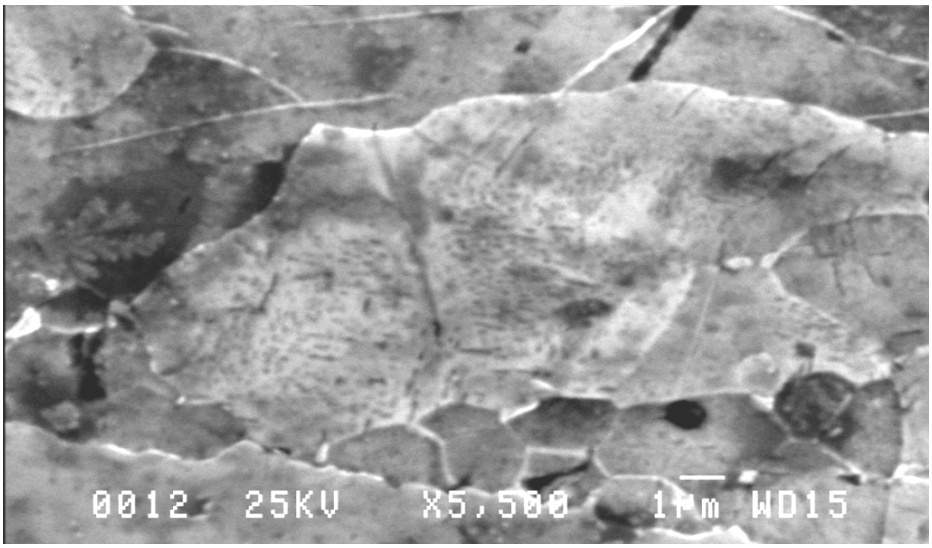


а)



б)

Фиг. 1. Графика за определяне ъгъл 2θ при Ψ= 90^0 :
а)- образец 33 ; б)- образец 388



Фиг. 2. Микроструктура на Армко-желязо, след карбонитриране при: P_{NH3} = 280Pa , $P_{82\% Ar +18\% CO2}$ = 120Pa , τ = 4h

Високото налягане на двата насищащи газа $P_{общ}$= 700Pa, не активизира процеса разпрашване, поради ниското напрежение на разряда на плазмата (U = 380V, табл. 3). При тези условия на повърхността на пробното тяло се доставя по-голямо количество въглерод и азот, следствие на което се повишава тяхната концентрация в карбонитрирания слой. Получава се голям концентрационен градиент на двата насищащи елемента между свързаната зона и дифузионната. Тази разлика вероятно води формирането на малки остатъчни опънови напрежения в дифузионната зона. Голямото количество карбонитридни отделяния в дифузионната зона, също спомагат за по- малките остатъчни напрежения в слоя. Допълнителни изследвания са необходими за изясняването на формираните остатъчни опънови напрежения в дифузионната зона на карбонитрирания слой [10].

От трите метода за определяне на дифракционните ъгли при $\sin^2 90$, най-голяма стойност на остатъчните опънови напрежения (σ_φ^b = 73MPa) се получават при метода на центъра на тежестта (бари център).

От направените изследвания, може да се отбележи, че в зависимост от режима на йонно карбонитриране на повърхността се формират, карбонитрирани слоеве с различен специфичен обем. В зависимост от концентрацията на азот и въглерод в свързаната зона и наличието на карбонитридни отделяния, в дифузионната зона, специфичният обем на повърхността се изменя. От своя страна това води до създаване на остатъчни натискови или опънови напрежения с различна стойност.

4. ИЗВОДИ

4.1. Установено е, че в зависимост от режима на йонното карбонитриране се формират остатъчни натискови или опънови напрежения в дифузионната зона на карбонитрирания слой.

4.2. Доказано е, че при йонното карбонитриране на Армко-желязото, повишаването на налягането на амоняка и коргона във вакуумната камера, води до намаляване стойността на остатъчните напрежения в дифузионната зона на слоя .

ЛИТЕРАТУРА

1. Lampe T. *Plasmawärmebehandlung von Eisenwerkstoffen in stickstoff-und kohlenstoffhaltigen Gasgemischen*, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, **1985**, p.288.

2. Chatterjee-Fisher R., F-W.Eysell, R.Hoffman, D.Liedtke,H.Mallener, W.Rembges, A.Schreiner, G.Welker. *Nitrieren und Nitrocarburieren*, Expert Verbag, **1994**, p.254

3. Тошков В. *Азотиране в нискотемпературна плазма*, София, Кинг, **2004**, с. 242.

4. Hoffman R.F. *Effects of Nitrogen in Metal Surfaces, Proceeding of an International Conference on Ion Nitriding,* Cleveland, Ohio, USA 15-17, September **1989**, pp. 23-30.

5. *Contract Heat Treatment Association: Nitriding and Nitrocarburisin*g, Secretariat: c/o WHTC, Aston University, Aston Triangle, Birmingham B4 7ET, UK, **1996**, pp. 1-2.

6. Русев Р. *Особености, механизъм на образуване и морфология на карбонитридни слоеве, получени в среда от амоняк и въглероден двуокис*, Дисертация, **1979**.

7. Hilley M. Residual *Stress Measurement by X-ray Diffraction, SAE J784a, Society of Automotive Engineers*, Warrendale, PA, **1971**, pp. 21-24.

8. *Standard Method for Verifying the Alignment of X-ray Diffraction Instrumentation for Residual Stress Measurement*, E 915, Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01, ASTM, Philadelphia, **1984**, pp. 809-812.

9. Prevey P. *A comparison of X-ray diffraction residual stress measurement methods of machined surfaces /advances in X-ray analyses*, **1976**, V 19, pp. 709-724.

10. da Silva Rocha A., T. Stroheacker, V. Tomala, T. Hirsch. *Microstructure and residual stresses of a plasma-nitrided M2 tool steel,* Surface and Coatings Technology, 115, **1999**, pp. 24-31.

11. Bell T., Y Sun, A. Suhadi: *Environmental and technical aspects of plasma nitrocarburising*, Vacuum , 59, **2000**, pp. 14-23.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват благодарност на колегите от института ENESAM-Париж за представената им възможност, част от изследванията да се проведат в лаборатория „Materiaux” .

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2010 г.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Ангел ЗЮМБИЛЕВ
Технически университет София - филиал Пловдив,
ул. Цанко Дюстабанов №25
4000 Пловдив
E-mail: zumbilev@mail.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

QUANTITATIVE METALLOGRAPHIC ANALYSIS WITH "MATLAB"

Petar DASKALOV **Rumen MITEV**

Abstract: *The paper examined the methodology for measuring the size of particles and pores dust-metallurgist. Also determine the total area of pores (porosity), respectively related diffusion area of metal components using the program MATLAB functions for the spatial transform of images, morphological operations, linear filtering with different filters, analysis and improvement of the image. This is possible in the presence of photograph shot microsection.*

Key Words: *microsection, MATLAB, photograph shot.*

КОЛИЧЕСТВЕН МЕТАЛОГРАФСКИ АНАЛИЗ С ПРОГРАМАТА "MATLAB"

Петър ДАСКАЛОВ **Румен МИТЕВ**

Резюме: *Разгледана е методика за измерване размерите на праховометалургичните частици и пори. Така също определяне сумарната площ на порите (пористост), респективно площта на дифузионно свързаните метални компоненти, използвайки функциите на програмата MATLAB за пространствено преобразуване на изображенията, морфологически операции, линейна филтрация с различни филтри, анализ и подобряване на изображенията. Това става възможно при наличието на фотографска снимка на микрошлиф.*

Ключови думи: *микрошлиф, MATLAB, фотографска снимка.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Обработката на металографски снимки, респективно шлифове, е задача трудоемка, трудна, в някои случай и не точна. Определянето едрина, форма, процентно съдържание на фази, структурни съставни, неметални включения и други съставни на структурата се използват възможностите на микроскопа. Особено голяма трудност представлява определянето на някои физични свойства на металните прахове и изделията получени от тях. В праховата металургия е необходимо ползването на сложна апаратура за намиране на пористост, едрина и форма на зърната, специфична повърхност, което прави изследването много тромаво и неточно. Добра възможност дава използването на компютърна програма Matlab за подобряване и улесняване обработката на металографски снимки и направата на количествен микроскопски анализ.

Целта на настоящата статия е обработка на снимки на металографски шлифове – определяне големината на зърната, на различните включвания, площта на всички зърна, площ на една фракция, брой на зърната в единица повърхност, големина и форма на зърната, пористост на изделия от метални прахове.

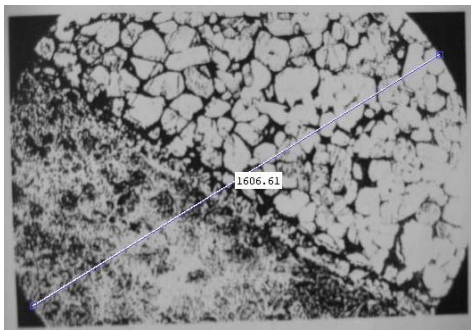
2. МЕТОДИКА НА РАБОТА

В системата Matlab, един от модулите Image Processing Toollbox е предназначен за цифрова обработка и анализ на изображения. Състои се от набор функции (m-файлове) за пространствено преобразование на изображенията, морфологически операции, линейна филтрация с различни филтри, анализ и подобряване на изображенията.

При обработката на изображенията се спазва следната последователност:

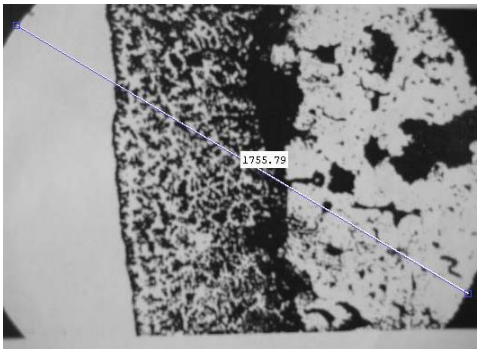
- въвеждане на изображението - imread;
- преобразование в полутоново изображение rgb2gray;
- разширение с един пиксел, посредством функцията imdilate;

-измерването се извършва с функцията makeConstrainToRectFcn, като се показва съответното разстояние в пиксели.

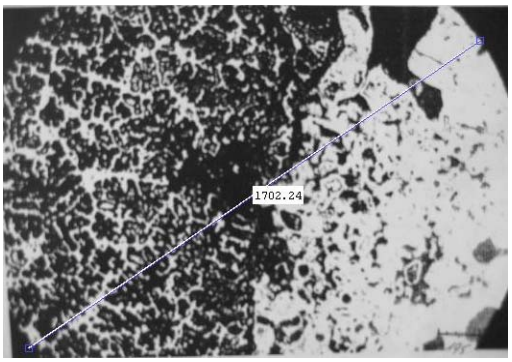


Фиг. 1. Зрително поле на обектива за снимка 1

Мащабният коефициент за снимката (фиг. 1) се определя посредством измерването на представения диаметър и сравняването му с реалния размер на шлифа (диаметър на зрителното поле на обектива) в конкретния случай 900 μm. Следователно 1606 пиксела съответстват на 900 μm, т.е 1 μm от пробата, отговаря на 0.5604 пиксела от снимката.



Фиг. 2. Зрително поле за снимка 2

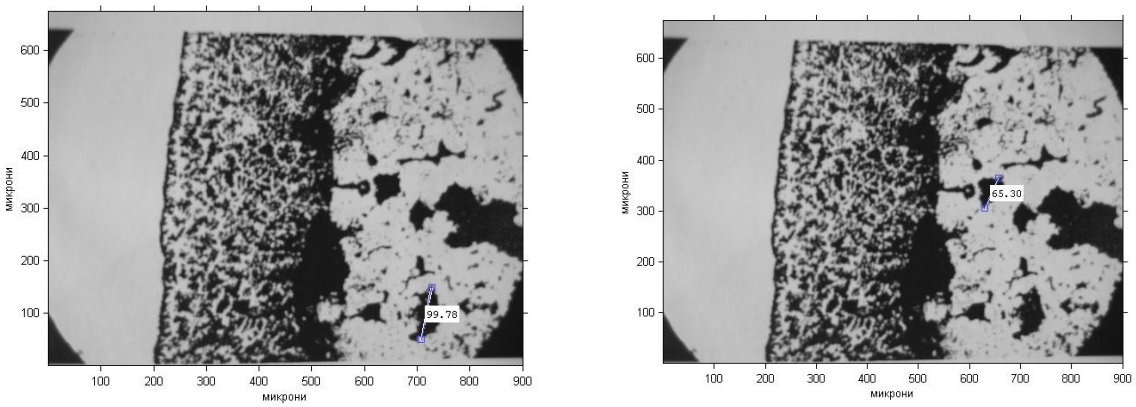


Фиг. 3. Зрително поле за снимка 3

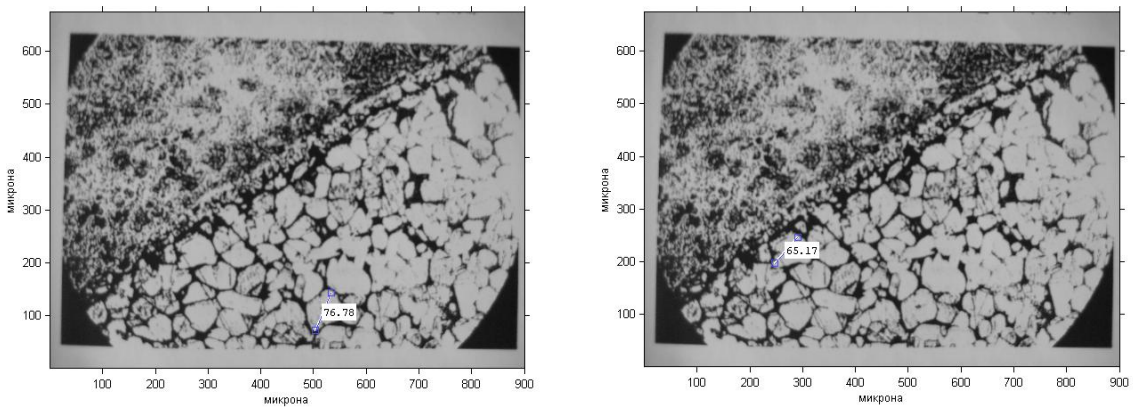
За снимката (фиг. 2) тази стойност е 0.5128, а за фиг. 3 0.5288 пиксела. Тези стойности са въведени в съставените програми за системата Matlab, така че при измерване директно се отчитат реалните размери на обекта, т.е големината на зърната и на включенията се определят чрез директни измервания.

Размерите на вътрешни пори на изделие от метални прахове са показани на фиг. 4.

Големината на металните зърна се определя, като се измери еквивалентния диаметър и от там среден размер на основната фракция на синтерованите частици за снимка 1 (фиг. 5а, фиг. 5б, фиг. 5в) и за снимка 3 (фиг. 6).



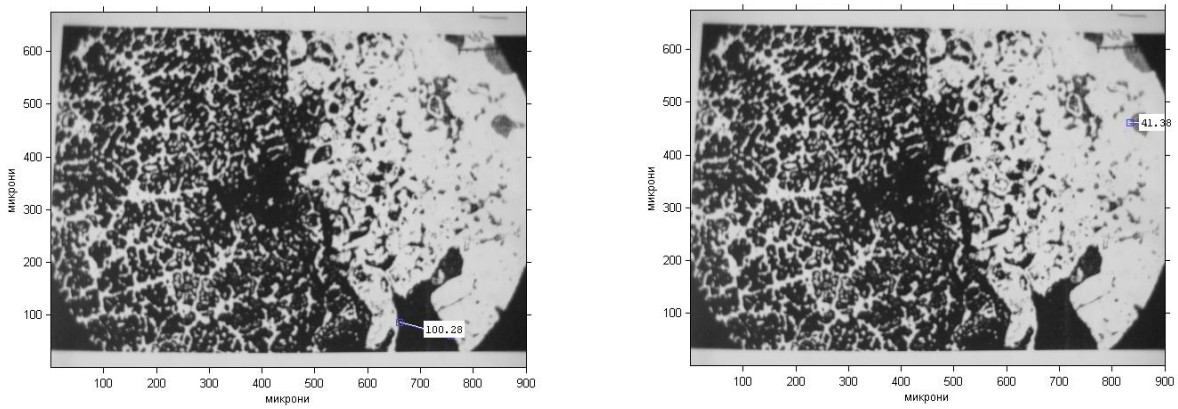
Фиг. 4. Размери на вътрешните пори за снимка 2



а) *б)*

в)

Фиг. 5. Определяне средния размер на зърната за снимка 1



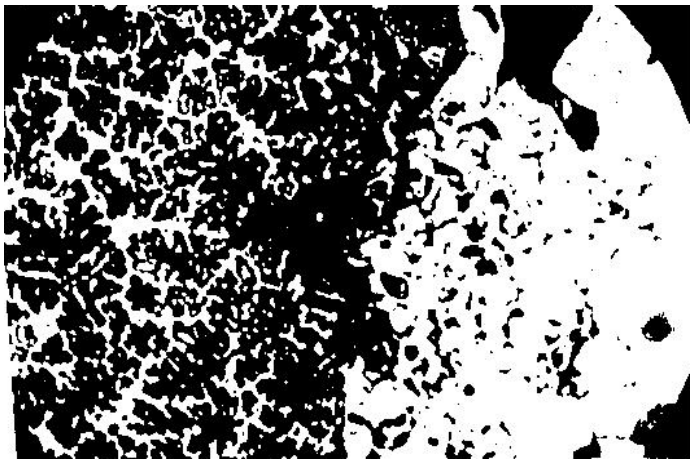
Фиг. 6. Определяне средния размер на зърната за снимка 3

Функцията bwarea изчислява сумарната площ на всички обекти от едно бинарно изображение. Площта приблизително съответства на броя на пикселите на обектите. Например една хоризонтална линия от 50 пиксела е с площ 0,050mm.

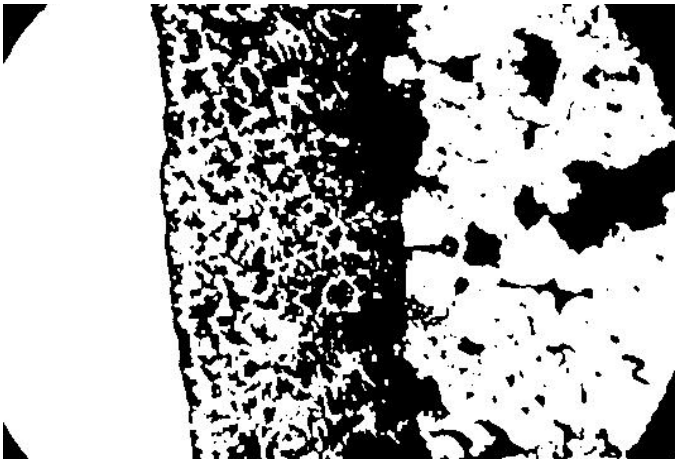
За фиг. 7 се обработва изображението на снимка от фиг. 3. То е бинарно и ако стойността на пиксела е 1, се изобразява ‘черен цвят’. Функцията bwarea пресмята броя на тези единици. За снимка 3 ‘черния цвят’ е 63.59 %, а ‘белия цвят’ е 36.41 %.

За фиг. 8 в преобразувано изображение на снимка от фиг. 2, тези стойности са съответно ‘черния цвят’ е 69.73 %, а ‘белия цвят’ е 30.27%.

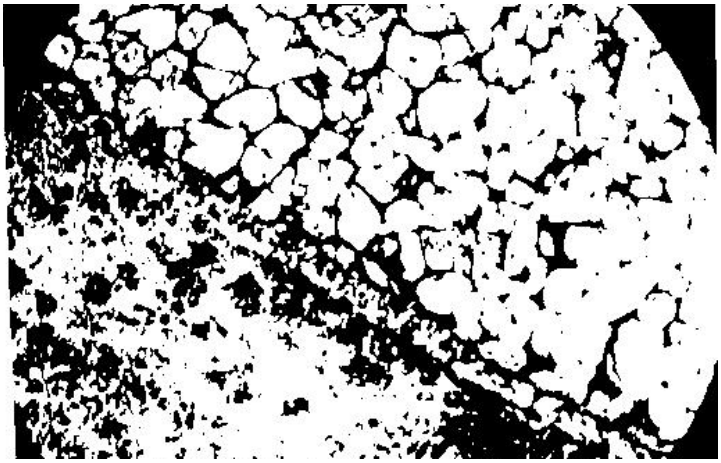
За фиг. 9 е показано преобразувано изображение на фиг. 1 - 82,24 %, ‘белия цвят’, а черния цвят е 17.76 %.



Фиг. 7. Бинарно изображение на снимка 3



Фиг. 8. Бинарно изображение на снимка 2



Фиг. 9. Бинарно изображение на снимка 1

3. РЕЗУЛТАТИ

В табл. 1 са дадени средните стойности на големината на порите, едрината на зърната, плътност и порестост на антифрикционен синтерован бронз марка ПБр10 с химически състав 10% Sn и 90% Cu. Резултатите се припокриват със стойностите получени по класическата методика за определяне параметрите посочени в таблица 1.

Таблица 1

N^0	**Мащаб**	**Едрина на зърната[mm]**	**Размер на порите[mm]**	**Пористост „черно"[%]**	**Метал „бяло[%]**
Фиг. 1	1 μm =0,5604p	0,04226	0,05721	17,76	82,24
Фиг. 2	1 μm =0,5128p	0,03573	0,05237	30,27	69,73
Фиг. 3	1 μm =0,5288p	0,03728	0,04715	36,41	63,59

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените металографски снимки и определянето на някои количествени показатели за праховометалургични заготовки, може да се направят следните изводи:

1.Използване на методиката за сравнение на данните получени по класическата технология.

2. Възможност за контрол на синтеровани изделия, по отношение плътност и пористост.

3. Приложение в металографията на плътни изделия.

4. По-бързо и по-лесно определяне на горепосочените параметри.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тодоров, Р. П., А. Ц. Мечков, Йордан Н. Пълов, *Металокерамични конструктивни изделия*, ДИ „Техника", София, **1981**.

2. Митев, И. Н., Прахова металургия – част 1. *Получаване на праховометалургични материали и изделия*, Габрово, **2004**.

3. Митев, И. Н., Прахова металургия – част 2. *Праховометалургични изделия с конструкционно и инструментално предназначение*, Габрово, **2004**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Гл. ас. Петър ДАСКАЛОВ
Технически Университет – София, филиал Пловдив
4000 Пловдив
ул. "Цанко Дюстабанов" 25
e-mail: daskalov_petar@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY TECHNICAL UNIVERSITY SOFIA

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

CONSTRUCTION SOLUTIONS FOR BUILDING MACRO DISPERSION PROTECTION MODULES

Lyuben LAKOV **Krasimira TONCHEVA** **Stanislav ASENOV** **Valentin PETROV**

Summary: *The development concerns engineer solutions for building macro dispersion modules for independent or additional protection against high energy kinetic impacts from different distances, angles, speeds and impact force. The structures are built of ceramic components of different sizes and shapes, arranged in different patterns in medium of elastomer material of definite characteristics. The ceramic components also meet definite physical-mechanical requirements in compliance with the international standards.*

Key words: *High energy kinetic impacts, protection, structures, macro-dispersion modules.*

1. INTRDUCTION

From mid-90"s on in connection with peace-keeping missions in Somalia, Bosnia, then in Iraq and now in Afghanistan, the attention in focused, instead on tanks, on the light armor vehicles, which became the main means for transport of military contingents and for control of territory.

The main threats for these vehicles are the AP munitions from small infantry weapons and machine-guns. The light armor vehicles have differentiated protection: the frontal armor ensures protection from 12.7 mm munitions, and the side armor - from 7.62 mm. The Russian machine-guns KPV used by some rebel's troops penetrate 28 mm steel plate at distance 500 m. In result, the requirement for protection against B-32 14.5 mm was invented in the standardization agreement STANAG 4569 [1, 2] between NATO member countries.

It is unfeasible to increase the weight of armor protection since the equipment is transported to the conflict spots mainly by air. Consequently the main vehicles shall be equipped on place with add-on armor modules relevant to the particular threat. Their assembling, replacement and disassembling do not require complicated technologies and special tools and can be carried out in field conditions. The materials used for additional protection are high-hardness steels, duralumin, ceramics, polymers and composite materials.

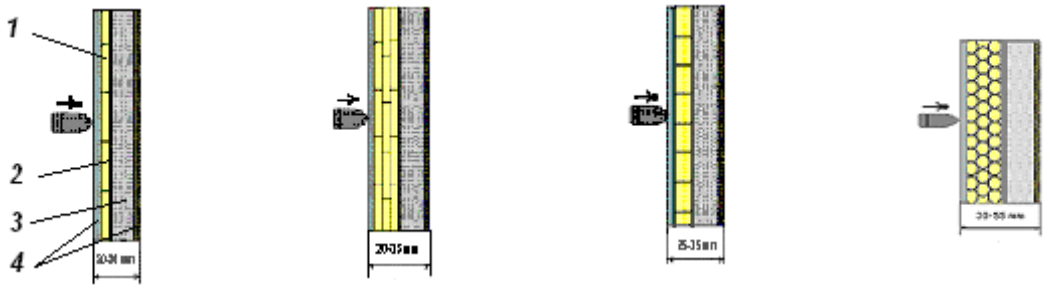
Bulgaria participates in peacekeeping missions in different spots of local conflicts and the issue for increasing the levels of protection and survivability equipment in hostile and aggressive environment will soon be put on agenda. Based on the experience accumulated in IMSETHC-BAS in the field of ballistic protection we suggest one feasible solution, which can be adapted to particular types of vehicles and can be put into practice if the military authorities are interested in it.

2. MANUFACTURE AND TESTING OF MACRO-DISPERSED MODULE SPECIMENS WITH ELEMENTS OF BALLISTIC CORRUNDUM CERAMICS

The ceramic-matrix composites have a very good performance as ballistic material due to their mechanical properties, and especially the resistance to breaking since they absorb the kinetic energy of the ammunition. They offer better wholeness after ballistic impact in comparison with the monolithic ceramics. The mechanical properties of different types of ceramics for ballistic protection are presented in [3].

Based on literature sources and preliminary ballistic trials, a technology for manufacture of corundum ceramics [4, 5] was developed in IMSETHC-BAS. Specimens were tested according to international standards and certificates were issued. The corundum elements manufactured are completely compatible with samples manufactured by leading companies in that field.

The structure of composite ceramics armor includes (fig. 1a): 1 – front layer of ballistic ceramics; 3–rear layer of polymers or soft metals; 2 – middle layer (in some structures) transitional between the ballistic ceramics and the rear layer; 4 – packing of Kevlar or other materials.



a. Laminar single-layer module structure with tiles for protection against B32 7.62 mm AP.

b. Laminar single-layer module structure with tiles for protection against B32 12.7 mm AP.

c. Module macro-disperse structure with big cylinders for protection against B32 12.7 mm AP.

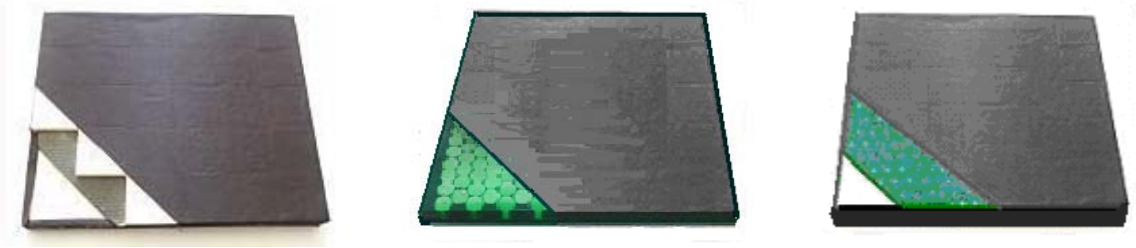
d. Module macro-dispersion structure with spheres for protection against B32 14.5 mm AP.

Fig. 1. Cross-sections of modular protection systems

The initial suggestion was to arrange the elements in the corundum layer in a way that there were no vulnerable spots over the entire surface of the hard plate. The corundum layer can be manufactured consisting of one or more layers of ceramics elements. In the case with square tiles that is achieved by tightly arranging the tiles in the single layer. In case the second layer is arranged, the tiles are displaced at half step distance and halves of elements are used so that the meeting edges in the first layer come under whole tiles in the second layer. The tiles are cut in parts after pressing until the material is still soft.

The specimens tested showed good protection performance against 7.62 mm AP and can be a basis for development of plates for protection vests.

Besides solutions with tiles, variant solutions are found with ceramic elements of different shapes, e.g. cylinders, spheres, etc. in the patents for ceramic armors examined. Due to the proper characteristics of the corundum ceramics developed and in connection with the arising information about the good prospects before similar protection structures, trials with composite armors were carried out; the front layer of hard monolithic ceramics was replaced with ceramic elements orderly arranged in polymer matrix and the rear layer was made of pressed layers of crystal high-modular polyethylene Dyneema®. This shift from laminar to three-dimensional pattern of arrangement of the ceramic material showed very good performance against ammunitions 12.7 and 14.5 mm AP. General patterns of such armor are presented in Fig. 2.



a. Hard plate for protection vests against 7.62 mm consisting of i/ front layer of independent square tiles, and ii/ rear layer of multi-layer crystal polymer.

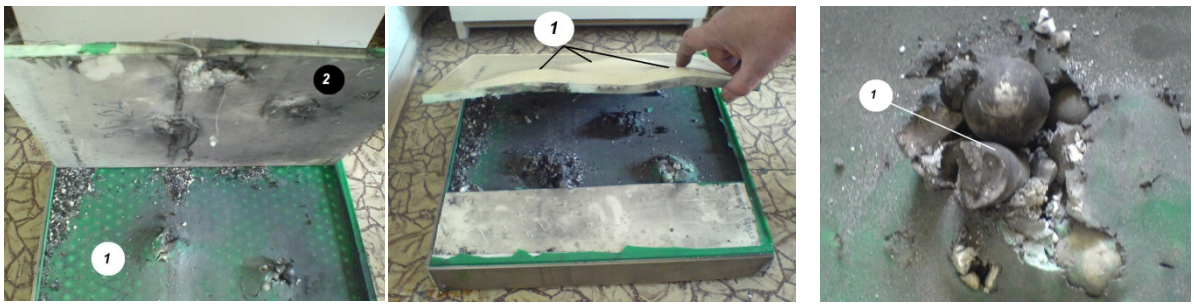
b. Hard plate for protection against 12.7 mm consisting of i/ front layer of cylinders packed in bonding elastic polymer, and ii/ rear layer of multi-layer crystal polymer.

c. Hard plate for protection against 12.7 mm and 14.5 mm consisting of i/ front layer made of three rows of spheres packed in elastic bonding polymer, and ii/ rear layer of multi-layer crystal polymer.

Fig. 2. Basic structures of the hard plates

In comparison with the traditional monolithic hard ceramic armor and analogical steel armors, the ceramic-polymer armor has a number of substantial advantages, which are very important for its practical application, and namely: more simple and consequently more reliable manufacture technology; higher exploitation reliability; maintaining the protection capabilities in the process of exploitation for longer; higher reparability enabling to restore the damages simply and promptly; higher resistance, the number of admissible hits per unit square being comparable with the analogical feature of steel armor, nevertheless the ceramic-polymer armor is 2 - 3 times lighter; possibility to manufacture

modules of surface up to 2 – 3 m^2; and last but not least, use of cheaper corundum ceramics. The main protection composite layer is made of different ceramic elements of particular composition and modifiers, which endue the material of elements arranged in layers with high physical-mechanical properties.



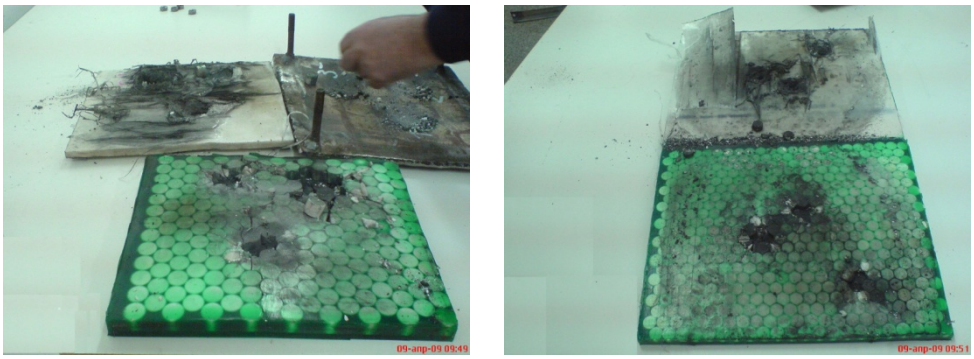
a. Module of the disperse system with front layer of spherical ceramic elements (1) and rear polymer layer (2) tested through shooting.

b. The rear polymer layer (1) of the disperse system resisted without being penetrated.

c. Misbalanced and destructed bullet (1) kept in the ceramic disperse layer and destructed ceramic elements.

Fig. 3. Testing through shooting of disperse-system module with layer of ceramic spheres

In Fig. 3 the performance of two-layer armor with front layer of ceramic spheres of 16 mm diameter tested through shooting with 14.5 mm AP is shown. The spheres in the front layer (1) in Fig. 3a are arranged in chess-board order, i.e. the spheres in the second row are arranged in the recesses of the first row. The spheres thus arranged are packed in polymer (green, as is the case) of certain physical-mechanical properties. The rear layer (2) is a plate made of multi-layer crystal polyethylene Dyneema® to keep the small fragments of the destructed bullet and ceramic elements. The back of the ceramic layer (down) and the inner surface of the polymer layer (up) are clearly visible. In Fig. 3b the swellings (1) in the resisting polymer layer are clearly visible too. In Fig. 3c a misbalanced bullet destructed and kept in the ceramic disperse layer is shown. The two layers are bound mechanically with fastening strips or are glued and packed either in box or in another way.



a. Layer of ceramic elements cylinders ∅12 mm, h=8 mm tested with 7.62 AP ammunitions.

b. Layer of ceramic elements cylinders ∅19mm, h=16 mm tested with 12.7 AP ammunitions.

Fig. 4. Testing through shooting of disperse-system module with layer of ceramic cylinders

In Fig. 4a and 4b composite armors of one-layer ceramic cylinders of dimensions ∅12 mm, h=8 mm and ∅19mm, h=16 mm accordingly are shown. The armors were tested with AP munitions and kept fragments from destructed bullets and ceramic elements.

The tests are carried out using B32 calibers 7.62, 12.7 and 14.5 AP ammunitions on protection plates of dimensions 250 x 300 mm, 300 x 300 mm and 400 x 400 mm with **protection performance realized of NIJ 0101.04 Level IV and STANAG 4569 Levels III and IV.**

3. ATTACHMENT OF PROTECTION MODULES TO VEHICLE'S HULLS

The modules are designed in accordance with the particular hulls to be protected. The modules are attached using bolts of conical or spherical heads, washers, bushes (for centering and avoiding inaccuracies), etc. (Fig. 5) through V-shaped steel or bandage strips of dimensions according to the particular module structure. The technological holes in the modules are made in advance.

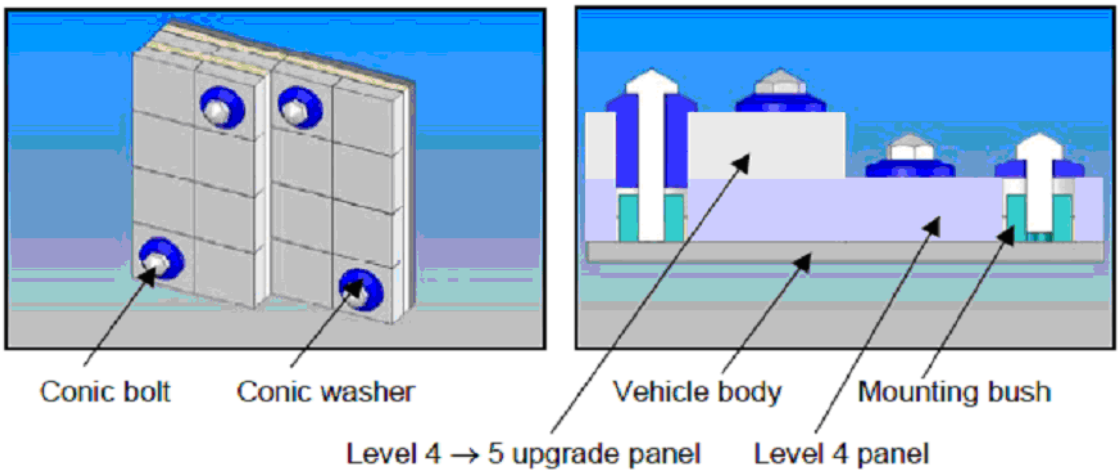


Fig. 5. Attachment of modules

4. CONCLUSIONS

There is a technology developed for manufacture of corundum ceramics of characteristics measured according to international standards and corresponding to ballistic purposes. There is a design of operational composite macro-disperse ceramic system for protection against armor piercing ammunitions calibers 12.7 and 14.5 mm. The ballistic testing carried out proved that the micro-disperse system outmatches the laminar one. The compound weight of a unit surface additionally armored for protection against the ammunitions mentioned is more than 50% less than that of a relevant steel armor.

REFERENCES

1. Ogorkiewicz, Richard M. *Technology of tanks*, Jane's Information Group, **1991**.
2. STANAG 4569 Protection Levels for Occupants of Logistic and Light Armoured Vehicles.
3. Medvedovski, E. *Alumina Ceramics for Ballistic Protection*, Am. Ceram. Soc. Bull., 81 [3], **2002**, pp.27-32.
4. Lakov L., Toncheva K., Kalchevska K., Petrov V., Christov V. *Physical-mechanical properties of corundum ceramics*, Engineer Sciences Journal, iss. 1, **2008**, pp. 56-67.
5. Project NF-00-130/31.03.2006 entitled "**Development of corundum based recipe compositions and technologies for manufacture of ballistic corundum ceramics**" with Contract for subsidy No IF-02-68/31.05.2006 for participation in competition "FINANCIAL AGENDA ON INNOVATION ENTERPRISES OF THE NATIONAL INNOVATION FUND with company "Tehkeramik M" Ltd., Mezdra city.

CONTACTS:

Ass. Prof. Eng. Lyuben LAKOV, PhD;
Chief Assistant Eng. Krasimira TONCHEVA;
Chief Assistant Eng. Stanislav ASENOV;
Ass. Prof. Valentin PETROV, PhD
Institute of Metal Science,
Equipment and Technologies "Acad. A. Balevski" with Hydro aerodynamic Center – BAS;
Postal address: 67 Shipchenski prohod Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria
E-mail: krasi_t@ims.bas.bg, krasiton4@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

CONSTRUCTION OF FOAM GLASS PRODUCTION INSTALLATION MODEL IN COMPLIANCE WITH PATENT № 65718/24.11.2004

Krasimira TONCHEVA **Lyuben LAKOV** **Ilia CHORBOV**

Summary: *The paper describes the main components of construction for foam glass production installation model by vertical gravimetric method of material transfer. The main unit is Heater which delivers the energy for foaming of the prepared in advance and put in the vicinity of the same component charge. The special design of the heater allows achieving uniform temperature fields in height of the foaming zone of the model heating section.*

Key words: *Gravitation method, foamed materials, foam glass.*

1. INTRODUCTION

Among European countries Bulgaria takes the last place in production of heat-insulating materials for construction building and engineering.

The production of heat-insulating materials is a market niche that has not been occupied yet. The production of foam glass for insulation purposes has been introduced in the 30s of the previous century according to a traditional technology [1] in tunnel furnace. Currently its cost is high on the international market. The types of insulation materials used in construction building and engineering, i.e. ship building, energetics, freezing equipment, are presented in Table 1.

Table 1. Technical characteristics of insulation materials with prices and areas of application

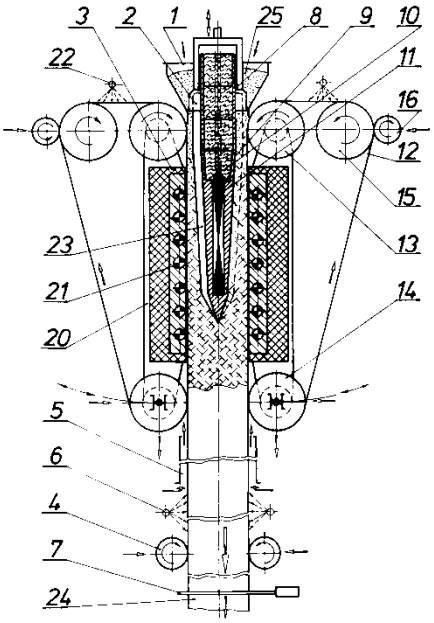
Type of material	Density	Heat conductivity	Max. temperature of application	Compressive strength	Water absorption capacity	Price in Bulgarian market	Area of application
	ρ	λ	T	σ	%	-	
	kg/m^3	kcal/mh°C	°C	MPa	in 24 h time	EUR/m3	
Foam glass	130-180	0,05-0,09	400-600	2,5	0	156*	Construction building; Energetics; Ship building
Expanded diatomite	350	0.07	800	6	40	90	Furnace building
Ceramic bonded perlite	200	0.06	800	4	20	124	Furnace building
Cement bonded perlite	350	0.07	600	2.5	30	80	Construction building
Vermiculite	150	0.07	1100	5	3	68	Construction building Furnace building
Aero-concrete	300	0.08	400	4	55	48-54	Furnace building
Mineral wool	150	0.04	450	-	(100)	70	Construction building Furnace building, insulation of pipelines
Glass wool	170	0.035	450	-	(100)	30	Furnace building, insulation of pipelines
Expanded Polystyrene	20-40	0.03-0.4	60	0.5-2	5	60-120	Home refrigerators Sandwich-panels in construction building
Expanded polyurethane	100-200	0.05-0.06	70	0.55-2.2	2-5	357-714	Insulation of pipelines
Ceramic fibers	100	0.01-0.02	Until 1800	1.5	20-30	500-800	High temperature insulation of furnaces

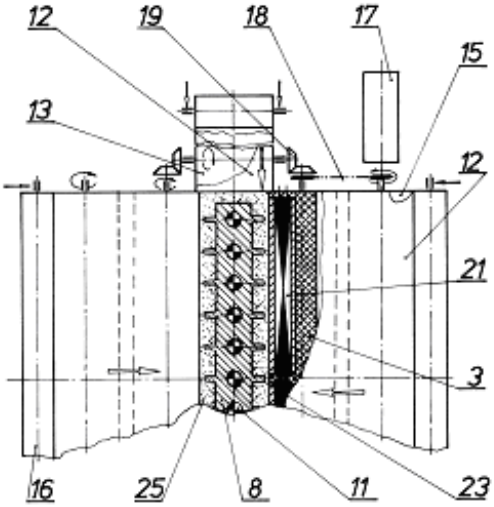
*156 BGN is the price of foam glass by expert valuation, 300–400 BGN – is the price on the international market.

The foam glass as insulation material has high chemical stability, mechanical strength, sound- and temperature resistance [2], [3]. It is not disintegrated in atmospheric conditions, does not burn, does not fume and maintains its mechanical and heat-insulation properties at temperatures up to 600°C. **The foam glass overmatches the known materials of that type regarding coefficient of heat conductivity, mechanical strength and water absorption capacity together.** The heat insulation made of foam glass has lower cost price and higher operating resistance and does not require frequent repairs, which are typical of the rest insulation materials. The classical technology for production of foam glass consists of two stages [1]: foaming and stabilization in one unit followed by tempering either in a second unit or in the first one after extending it.

The underlying idea is to manufacture foam glass out of daily and industrial glass waste having the same insulation and operation properties as the one available on international market, however cheaper and at most energy saving, using new durable high-efficiency installations invented in Bulgaria [4], [5], [6] and to introduce it for application in construction building and technics in cases where it is both economically and technically justified.

2. DESCRIPTION OF THE INVENTION





1. *Ingot (bar) - FGP*
2. *Bunker*
3. *Charge composite*
4. *Push feeder*
5. *Drawing rollers*
6. *Cutting device*
7. *Heating section*
8. *Ribs*
9. *Thermal insulation*
10. *Electrical resistance heaters*
11. *Metal belts 15*
12. *Guide rollers*
13. *Bracing rollers*
14. *Driving rollers*
15. *Clamping rollers*
16. *Driving mechanism*
17. *Chain drives*
18. *Cone gear drives*
19. *Frames*
20. *Electrical resistance heat panels*
21. *Horizontal electrical resistance heat panels*
22. *Keeping at a temperature section*
23. *Air cooling*
24. *Coating device*

a/ Longitudinal section of the installation according the invention.

b/ View from above with partial section.

Fig. 1. The invention

The idea for improvement of the principle technological and constructional design of the installation according the invention is to use one-stage manufacture method: vertical continuous

gravitational manufacture of ingot of foamed and stabilized material out of powder charge mainly through heating within the core of ingot in the working zone, with no energy loss, and subsequent tempering. In result the main goal can be achieved, namely to manufacture cheaper foam glass since the high price is the main reason for its limited application, in spite of its optimal insulation properties.

The setup is shown in Fig. 1, a/ Longitudinal section, and b/ View from above with partial section

The advantage of the concept for one-stage manufacture suggested is the possibility to manufacture an ingot of bigger thickness and high-quality inner surface due to absence of slipping between the melted charge or ingot and the confining mould. This surface is moulded by the continuous mobile bands moving at the rate of extension of ingot. Under the above conditions this is a process of low energy heat consumption – from 3,700 kJ/kg to 4,300 kJ/kg. (instead of 27,000 kJ/kg as is the case with the classic technology) – because the main energy source is within the charge and the heat transfer is much more effective [7], [8] *и* [9]. Thus cheaper and high quality insulation panels can be manufactured.

The main constructive elements and assemblies are shown in Fig. 1.

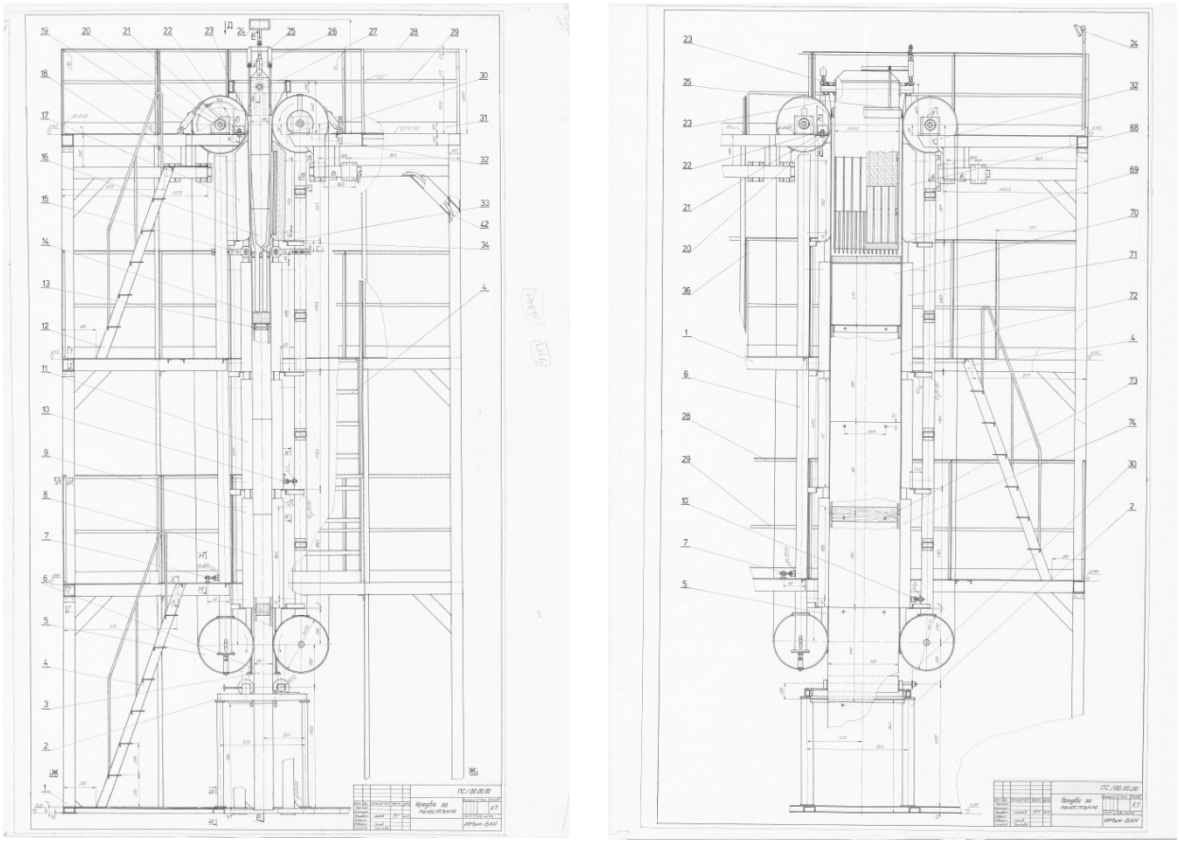
The heating is the most important process. It is realized in the heating section of the model installation, which consists of four parts: i/ foaming, consisting in heating within the core of the fed material; ii/ stabilization of the foamed structure; iv/ tempering, and v/ cooling.

3. EMBODIMENT OF THE MODEL INSTALLATION ACCORDING THE INVENTION

The embodiment includes (Fig. 2).

3.1. Main assemblies of the model of foaming section:

- Assembly for feeding with charge material;
- Assembly for moving the charge and the foam glass ingot manufactured, consisting of Roller units and Pulling device;



a. Front view ***b. Side view***

Fig. 2. Assembly drawing of the model installation with main assemblies

- System for heating the charge until foaming and for cooling the foamed material in coordination with the rate of movement. The hating is carried out mainly by an element in the core of the charge and the side heaters will be used for additional warming up and avoiding the loss of heat through the side walls;
- Heater – compound unit; casts out of high-temperature cast iron.
- System for control of the processes of foaming and moving synchronizing the accomplishment of the subsequent operations.

3.2. Selection and realization of requirements to the main assemblies and elements designed

The main requirements for development of the assemblies and elements of the installation are: reparability; possibility for prompt assembling or dismantling during operation in case of failure of the heater in the heating section without ceasing the technological process; possibilities to measure temperatures, rates, thicknesses, etc. with feedback to the control unit through transducers positioned in precisely determined and proved spots; precise monitoring of the process of feeding and adjustment of the rate of movement of the foamed glass ingot manufactured.

3.3. Development of system for control of the technological processes

The system for control is purposed to achieve steady high quality production through strict observing the parameters of the technological process.

3.4. High-efficient heating of the charge within its volume

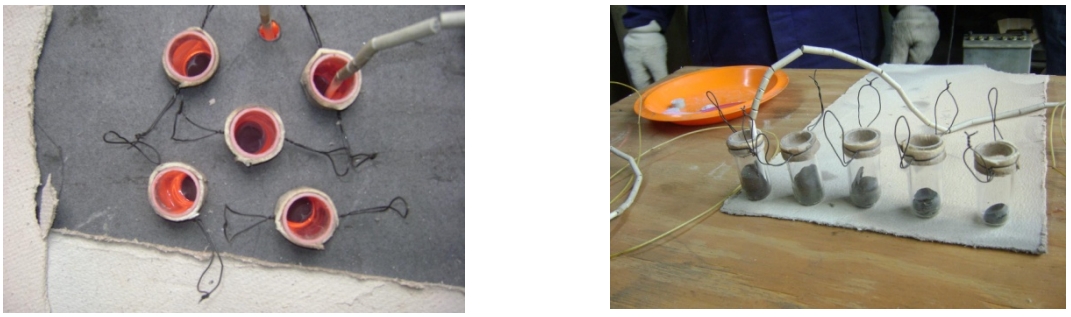


Fig. 3. Samples illustrating the extent of foaming depending on the temperature regimes of heating

In order to realize the intention it is necessary to solve a number of physics and technical issues, the main of which being determination of the quantity of heat needed both for melting the glass powder and for oxidation or dissociation depending on the type of the foaming agent, which forms the foaming gas. The precise determination of that quantity of heat will enable making a reliable heat model and achieving quality process of forming of pores and subsequently high-quality final product.

In the preliminary experiments done so far one type of raw material was used. In the further experiments all types of the glass waste will be used. (Fig. 3)

4. CHARACTERISTIC FEATURES OF THE HEATER

4.1. The main characteristics of the current embodiment are shown in several lines

The heater is made of high-temperature cast iron, the operation temperature being 870 – 950 ^{o}C.
The heat transfer methods used are direct heat transfer, convection and radiant heating.
The heater is a compound ribbed construction.
The heating elements are arranged within the construction.

4.2. Main components of the heater

The heater is made of three parts (Fig. 4) non divisible along the axis line and having particular purposes.

1. The lowest part is the most heated one and it heats the material fed in granular state. That part is worked out in two variants:

o With long ribs forming grooves in the manufactured foam glass ingot of thickness 160 – 200 mm. The ingot is cut to blocks used as building elements.

o Without long ribs for foam glass ingot of thickness 60 - 80 and more mm. The ingot is cut to panels used as insulation material for flat surfaces.

2. The middle part is also cast construction with trapezoid section rigs along the side surfaces, which continue in the low part of the heater and are intended for uniform distribution of the charge fed and forming local heated areas. Inside the middle part heating elements are arranged of different heating power in height.

3. The top part is welded construction without heating purpose, which is insulated from the lower sections. The power supply for the lower sections runs through the top part. It is purposed to lead the material fed and to separate it from the high-temperature sections to prevent untimely foaming.

4. Heating elements arranged within the construction are made of Kanthal A1 enduring up to 1370 ^{o}C with diameter of the wire estimated for the power needed and two degrees of power in height. The temperature model currently worked out will enable to optimize the control of power in time and place.

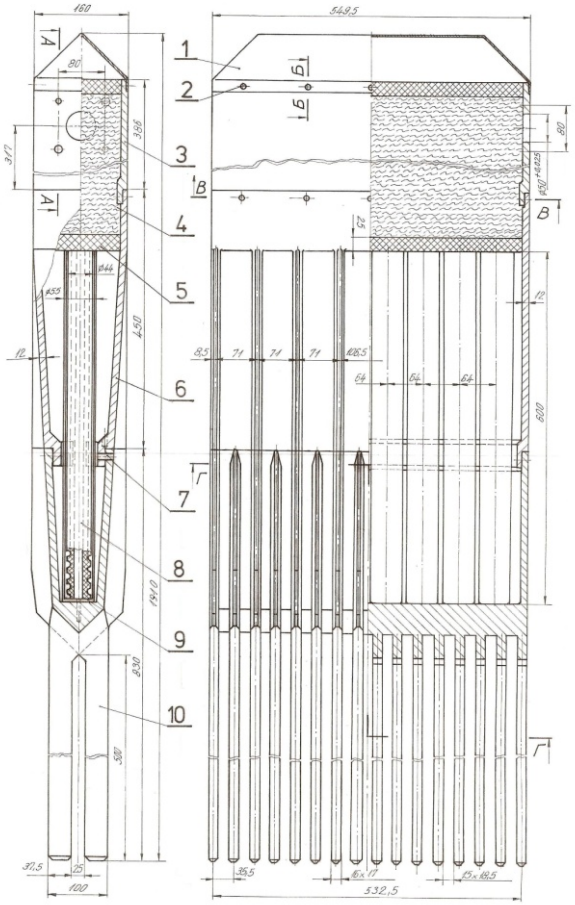


Fig. 4. Assembly drawing of the heater

5. CONCLUSIONS FOR THE EMBODIMENT

The main issue with heating and forming is solved through the developed design of the heater, which is most important part of the model installation for production of foam glass.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors extend gratitude to Scientific Research Fund to Ministry of Education and Science for development entitled “Investigation on technological processes for production of heat-insulation material foam glass in model foaming section of new vertical production installation” upon Contract No ДТК-02/72 dated 12.17.2009 for development of S&R PROJECT No ТК-09-0562/2009 at topical competition won entitled “ENCOURAGEMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH IN PRIORITY AREAS”.

REFERENCES

1. http://www.foamglasinsulation.com/
2. *"Foam glass – all-purpose power economizing insulation"*, Journal "Builders", II, iss. 6, November **2005**.
3. Nazarsky D., *Economy aspects of the process of power recuperation of the housing fund in Bulgaria*, Congress on power effectiveness "**Viaexpo**", 01.09.2006, Sofia, Bulgaria.
4. *Some investigations on improvement of the method for production of foam glass in shaft furnaces*. Eng. Yasen Dochev Georgiev, Synopsis of dissertation, Technical University Rousse, **1975**.
5. Authors certificates NoNo 34915/12.15.1976; 36312/05.6.1977; 37883/11.28.1977; 42319/02.01.1979; 42320/ 02.01.1979; 48152/06.166.1980; 49990/12.15.1980
6. Patent No 51611 A /11.11.1991
7. Toncheva, K., *Organization of foam glass production*, Arch-art Weekly, iss. 2/01.16.1996.
8. Toncheva, K., *Preliminary Design of Production Line for Foam Glass Plates Works*, IMS-BAS, Topical group "**Non-metallic materials**", Sofia, **2004**.
9. Project IF-00-92/05.05.2005 for draft investigation entitled "**Investigation for development of technology and apparatus for practical implementation of power economizing insulations (foam glass) out packing glass wastes**" with Contract for grant No SF-02-19/24.10.2005 for participation in competition FINANCIAL PLAN FOR SUPPORT OF INNOVATION ENTERPRISES FROM THE NATIONAL INNOVATION FUND to ИАНМСП with КАМ Ltd., city of Troyan.

CORRESPONDENCE

Chief Assistant Eng. Krasimira Antonova TONCHEVA;
Ass. Prof Eng. Lyuben Ivanov LAKOV,
PhD; Eng. Ilia Georgiev CHORBOv
Institute of Metal Science,
Equipment and Technologies "Acad. A. Balevski" with Hydro aerodynamic Center – BAS
Address: 67 Shipchenski prohod Blvd, 1574 Sofia, Bulgaria
E-mail: krasi_t@ims.bas.bg, krasiton4@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

ADMISSIBLE METAL ROLLING REGIMES IN A MULTI-CELL ROLLING MILL

Robert KAZANDJIEV

Abstract: *The study treats the problem of finding a set of admissible hot rolling regimes of a metal sheet deformed in a multi-cell rolling mill. Plain strain of a rigid plastic incompressible material, as well as a condition for continuous rolling, are considered for that purpose. Metal stick to the roll at a specific point is also assumed. The problem of plastic deformation is solved under an actual technological regime using the Finite Element Method. Good agreement with the technological requirements is established.*

Key words: *Rolling mill, sheet rolling, FEM.*

ДОПУСТИМИ РЕЖИМИ НА ВАЛЦУВАНЕ В МНОГОКЛЕТКОВ ПРОКАТЕН СТАН

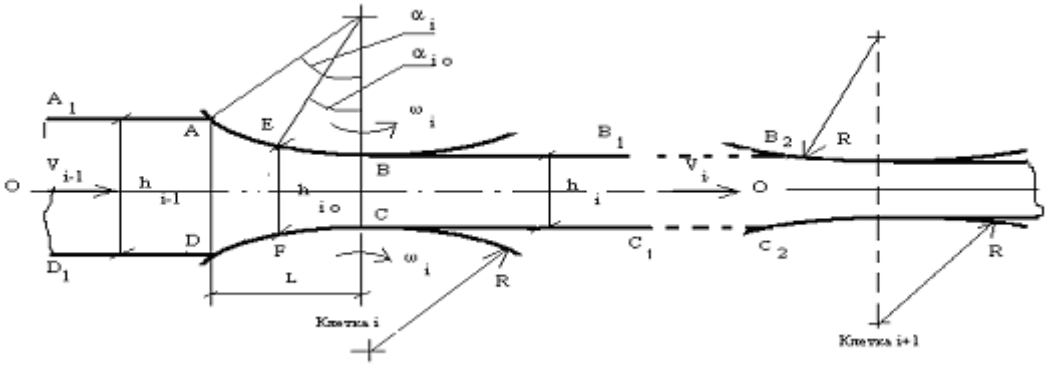
Роберт КАЗАНДЖИЕВ

Резюме: *В работата се разглеждат възможността за определянето на множеството допустими режими на горещо валцуване на метален лист в многоклетков прокатен стан. Чрез решаване на пластичната задача е определена точката на прилепване на метала към валовете в отделните огнища на деформация. Деформирането на листа е проследено в съответствие с предварително зададен технологичен режим на стана, като е спазено условието за непрекъснатост на валцуването. Получените резултати са в добро съответствие с технологичните изисквания.*

Ключови думи: *Прокатен стан, валцуване, МКЕ.*

1. СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА

Един от основните проблеми при валцуването е определянето на скоростния режим на стана. При известни скорости на движение на валовете, е необходимо да се определи скоростта на метала в отделните клетки. Както посочват редица изследователи, [1, 2] и др., обикновено се приема, че металът прилепва към валовете в определени точки (т.н. “неутрални” точки), които разделят огнището на деформация на две зони – зона на изоставане и зона на избързване на метала. Определянето на разположението им е важна задача, чието решение дава възможност за оценка на скоростта на движение на металния лист в прокатния стан. Принципната схема на две съседни клетки от стана е показана на фиг. 1, където огнището на деформация е обозначено с *ABCD,* а точките на прилепване на метала към валовете – с *E* и *F*.



Фиг. 1. Общ вид на две съседни клетки от стана

Освен това, с α_i е обозначен ъгълът на захващане и с α_{io} – ъгълът, определящ разположението на неутралните точки (т.н. "неутрален" ъгъл). Целта ни е да намерим скоростите на движение на листа, чрез които можем да определим и съответното разпределение на деформациите и на скоростите на пластичната деформация на материала в отделните клетки. За целта използваме условието за непрекъснато валцуване, [1]:

$$V_{i-1,вп}\ h_{i-1} = V_{i,exit}\ h_i = V_{i,R}\cos\alpha_{\text{io}}\ h_{io}\,, \tag{1}$$

където $V_{i-1,вп}$ е скоростта, с която металът влиза в клетка *i*, $V_{i,exit}$ е скоростта, с която металът излиза от клетка *i*, $V_{i,R}\cos\alpha_{\text{io}}$ е хоризонталната проекция на периферната скорост на вала $V_{i,R}$, h_{i-1} и h_i are са съответните дебелини на листа, h_{io} е "неутралната" дебелина, съответстваща на неутралната точка вала и α_{io} е неутралният ъгъл (фиг. 1). В горната зависимост познаваме само $V_{i,R}$, h_{i-1} и h_i, докато останалите величини трябва да бъдат определени. За целта използваме формулата (фиг. 1)

$$h_{io} + 2R\cos\alpha_{io} = h_{i+1} + 2R. \tag{2}$$

По този начин, задавайки стойности на h_{1o} (или α_{1o}) в първата клетка и използвайки зависимостите (1) и (2), намираме формула за пресмятането на стойностите h_{i+1}, *i*=1,2..5:

$$V_{i+1}\ h_{i+1,o}{}^2 - V_{i+1}(2R - h_{i+2})\ h_{i+1,o} + 2Rh_{1o}V_1\cos\alpha_{1o} = 0 \tag{3}$$

Чрез вариране на h_{1o} (или α_{1o}), определяме множества от стойности за $h_{i+1,o}$ *i*=2,..5 и за $\alpha_{i+1,o}$, *i*=2,..5. За всяка от пресметнатите стойности на $h_{i+1,o}$ проверяваме дали е изпълнено условие (2), т.е. дали $h_{i+1,o}$ попада в огнищата на деформация на клетките 2..6.

В Таблица 1 е даден режим на валцуване в 6-клетков прокатен стан, за който трябва да намерим конкретни стойности на h_{io} (или α_{io}), *i = 1,..6*, принадлежащи на получените по-горе множества, [3]. За целта трябва да решим спрегната термо-пластична задача и да определим

[1]Таблица 1 – 6-клетков прокатен стан, стойности на h_i и ω_i

Cell No	1	2	3	4	5	6
Дебелина на листа h_i след всяка клетка						
h_1 =1.8 [cm]	h_2[cm]	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7
	1.5	1.05	0.75	0.60	0.44	0.40
$\omega_{R,}$ r/s	4.8	6.9	8.8	11.9	16.2	17.1
V_R , cm/s	166.705	241.710	308.315	416.710	566.685	600.050

[1] Диаметър на валовете R=70 cm, h_1 – начална дебелина на листа, ω_R и V_R – ъглова и периферна скорост на валовете

максимумът на контактното налягане p_{max}, който се постига в точните на прилепване на метала към вала. Т.е., координатите на приложните точка на p_{max} задават координатите на търсените от нас неутрални точки (т. *E* и *F* на фиг. 1).

2. РЕШЕНИЕ НА СПРЕГНАТАТА ТЕРМО-ПЛАСТИЧНА ЗАДАЧА

2.1. Решение на пластичната задача

Разглеждаме горещо пластично формоване на твърдо-пластичен материал с нелинейно уякчаване, в условията на двумерно деформирано състояние [4, 5]. Уравнението за равновесие в огнището на деформация *ABCD* на фиг. 1 има вида:

$$\sigma_{ij,j} = 0, \forall x_i \in ABCD \tag{4}$$

Начално условие: В началния момент *t* = 0 приемаме, че еквивалентната пластична деформация $\bar{\varepsilon}(x_i, 0)$ има някакво начално разпределение:

$$\bar{\varepsilon}(x_i, 0) = \bar{\varepsilon}^0 \tag{5}$$

Гранично условие: По границите на контакт метал-вал *AB* и *CD* на фиг. 1 задаваме закон за триене, [5, 6]. По линията *O-O* приемаме условия на симетрия. Останалите граници са свободни от усилия и премествания.

2.2. Решение на температурната задача

2.2.1. Решение на температурната задача в огнището на деформация

Както беше отбелязано, разглеждаме горещо пластично формоване на метала. В общия случай, границата на пластичност на материала σ_p зависи от еквивалентната деформация $\bar{\varepsilon}$, от еквивалентната скорост на деформация $\dot{\bar{\varepsilon}}$ и от температурата θ, т.е.

$$\sigma_p = \sigma_p(\bar{\varepsilon}, \dot{\bar{\varepsilon}}, \theta) . \tag{6}$$

Тук трябва да отчетем и дисипацията на механичната енергия. Ето защо, уравнението на топлинния баланс приема вида [2]:

$$\dot{\theta} = \lambda_\theta \theta_{,ii} / \rho C_0 + \dot{Q} / \rho C_\theta \tag{7}$$

където λ_θ е коефициент на топлопроводност на метала, C_θ и ρ са специфичната топлина и плътност на материала, $\dot{Q}$ е скорост на дисипация на енергията, $(\dot{})$ е диференциране по времето *t,* като $t \in [0, t_{pass,1}]$ и $t_{pass,1}$ е времето за преход на листа през клетката на стана. Освен това,

$$\dot{Q} = k_\theta \sigma_p \dot{\bar{\varepsilon}} \tag{8}$$

при k_θ - коефициент на Тейлър-Куини. Зависимостите (6)-(8) изразяват свързаната термо-механична задача.

Начални условия

В огнището на деформация *ABCD* на фиг. 1 задаваме началната температура на метала:

$$\theta(x, y, t)_{t=0} = \theta_0(x, y) , \ \forall (x, y) \in ABCD \tag{9}$$

Гранични условия

При преминаване на листа през клетката на стана, настъпва охлаждането му в следствие на топлообмен между него и валовете по дъгата *AB*:

$$q_{c,n} = a_c(\theta_m - \theta_r) \tag{10}$$

при a_c - коефициент на топлообмен между метала и валовете, и θ_m и θ_r - температура на метала и на валовете, съответно.

По останалите граници се задават нулеви топлинни потоци.

По оста *O-O* се задават условия за симетрия.

2.2.2. Решение на температурната задача в прехода между две клетки

В този случай уравнението за топлинен баланс има вида:

$$\dot{\theta} = (1/\rho C_\theta).\lambda_\theta \theta_{,ii} \tag{11}$$

където $t \in [0, t_{pass,2}]$ и $t_{pass,2}$ е времето за преход на листа от една клетка в друга.

Начални условия

Началните условия се записват във вида (9), като началната температура $\theta_{0,i}$ за участъка между две клетки *i* и *i+1* е температурата на листа на изхода му от клетка *i*,

Гранични условия

По осовата линията *O-O* задаваме условия на симетрия. По границите BB_1B_2 и CC_1C_2 на фиг. 1 задаваме топлообмен между метала и въздуха, дължащ се на радиация и конвекция, [2].

Свързаната термо-механична задача решаваме по метода на крайните елементи [7], като общият вид на функционалите на механичната и на топлинната енергия относно огнището на деформация *ABCD* е:

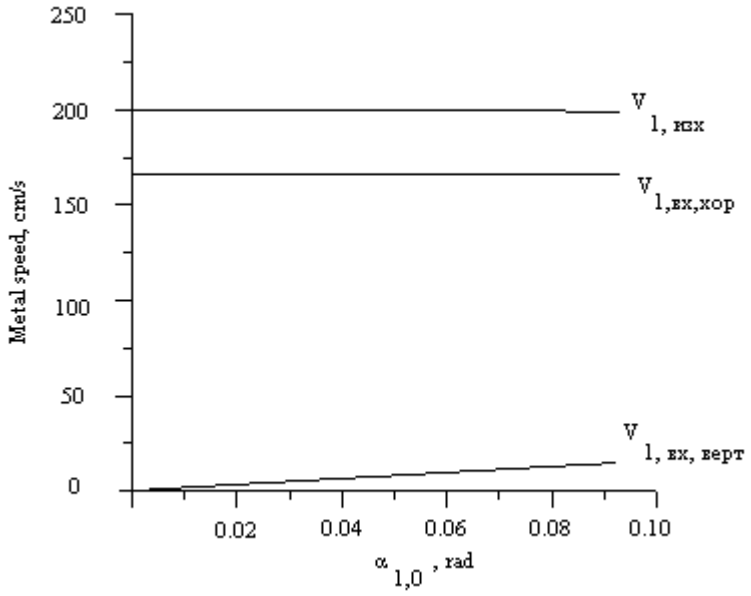
$$\Phi_\sigma = \int_V \sigma_{ij}\, \dot{\varepsilon}_{ij} dV - \int_\Gamma T v d\Gamma \tag{12}$$

$$\Phi_{1,\theta} = \int_V (\dot{\theta} + \frac{\lambda_\theta}{\rho C_\theta}\theta_{,ii} - \frac{k_\theta}{\rho C_\theta}\sigma_s \dot{\bar{\varepsilon}})dV - \int_{\Gamma_{AB}} \frac{q_c}{\rho C_\theta} d\Gamma - \int_{\Gamma_{CD}} \frac{q_c}{\rho C_\theta} d\Gamma - \int_{\Gamma_{AD}} \frac{q_{AD}}{\rho C_\theta} d\Gamma - \int_{\Gamma_{BC}} \frac{q_{BC}}{\rho C_\theta} d\Gamma \tag{13}$$

при *V* и *Γ* – обем и повърхнина на областта *ABCD.*

3. РЕЗУЛТАТИ

Както отбелязахме, разглеждаме валцуване на метален лист в 6-клетков прокатен стан в температурния интервал 900-1100^{0}C - Таблица 1. Съгласно резултатите от редица изследвания по проблемите на триенето по междуфазовата граница, [2], [8, 9, 10], приемаме, че триенето между метала и вала се изменя по закона на Кулон. Параметрите на процеса са следните, [2]: начална температура на метала θ_0 = 1050°C; температура на валовете θ_r = 20 C^0, плътност на материала ρ = 7.873 g/cm^3; специфична топлина C_θ = 2811 J/kg.K; коефициент на топлопроводност λ_θ,=0.3 J/s.cm; коефициент на топлообмен "метал-вал" a_c,=20 J/cm^2.K; коефициент на топлообмен "метал-въздух" a =20 J/cm^2.K; коефициент на триене"метал-вал" μ = 0.4; коефициент на Тейлър-Куини k_θ = 0.9; закон за нелинейно уякчаване на метала $\sigma_p = \sigma_0 + K.\bar{\varepsilon}^n$ при σ_0 =1000 kg/cm^2, *K*= 1958, *n* = 0.171, [11].

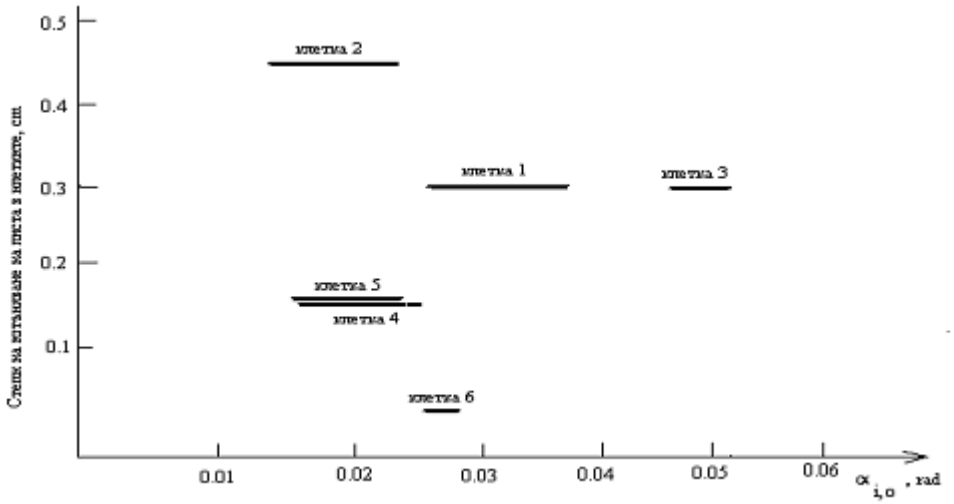


Фиг. 2. Изменение на входящата и изходящата скорост на метала в кл.1-ва

3.1. Резултати от варирането на неутралния ъгъл α_{io}

Неутралният ъгъл α_{io} е вариран в границите на ъгъла на захващане α_1 на клетка 1-ва. Получено е изменението на вертикалната и хоризонталната компонента на входящата и изходящата скорост на движение на метала $V_{1,\ вх,\ хор}$, $V_{1,\ вх,\ верт}$ и $V_{1,\ изх}$, съгласно условието за непрекъснатост на валцуването - формула (1). Резултатите са показани на фиг. 2.

Втората стъпка в пресмятанията е определянето на съответните стойности на α_{io} в останалите клетки чрез вариране на неутралния ъгъл α_{io} в клетка 1-ва, и то така, че получените стойности за α_{io}, *i = 2,..6,* за попадат в границите на съответните ъгли на захващане на метала. Така се получава допустимият диапазон на изменение на α_{io} за всяка клетка, за който е спазено условието за непрекъснато валцуването (1). Резултатите са показани на фиг. 3.

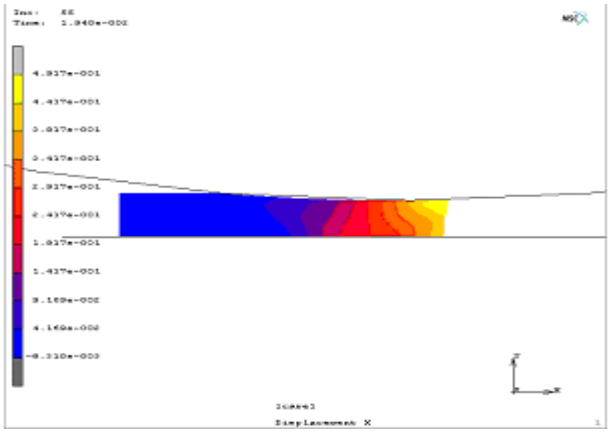


Фиг. 3. Дължини на допустимите интервали на изменение на α_{io} ***за всяка клетка***

За да намерим обаче единичните стойности на α_{io} за всяка клетка, съгласно технологичния режим на валцуване в Таблица 1, трябва да решим свързаната термо-пластична задача.

3.2. Решаване на свързаната термо-пластична задача

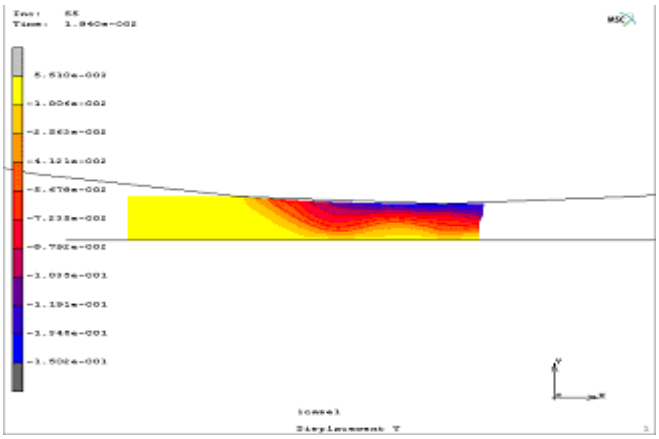
Свързаната термо-пластична задача, формулирана по-горе, е решена по метода на крайните елементи чрез лицензирания софтуер MARK. За целта са използвани обобщени 4-точкови изопараметрични крайни елементи с 3 степени на свобода, отчитащи преместванията по осите *x* и *y*, както и температурата.



Фиг. 4. Хоризонтални премествания в огнището на деформация на кл.1

3.2.1. Решаване на свързаната термо-пластична задача в клетка 1-ва и в прехода между клетките

На фиг. 4 и фиг. 5 са дадени преместванията по осите *x* и *y* в огнището на деформация на клетка 1, изчислени чрез МКЕ.



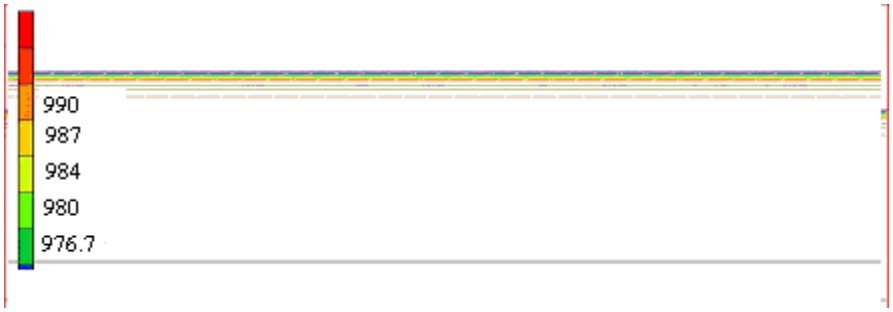
Фиг. 5. Вертикални премествания в огнището на деформация на кл.1

На фиг. 6 е дадено изчисленото разпределението на температурата в клетка 1-ва от стана.



Фиг. 6. Разпределение на температурата в кл.1

На фиг. 7 е дадено разпределението на температурата в прехода между клетка 1-ва и клетка 2-ра.



Фиг. 7. Разпределението на температурата на метала в прехода от кл.1 в кл.2

3.2.2. Определяне на единичните стойности на неутралния ъгъл α_{io} за всяка клетка

От решението на спрегната термо-пластична задача определяме разпределението на контактното налягане в клетка 1-ва (фиг. 8), а от фигурата - неутралният ъгъл α_{10} в клетка 1-ва, съответстващ на максимума на налягането. След това, по формули (1) – (3) изчисляваме стойностите на неутралните ъгли в останалите клетки на стана. Резултатите са дадени в Таблица 2.

Таблица 2 Стойности на неутралните ъгли в кл.1 – кл.6

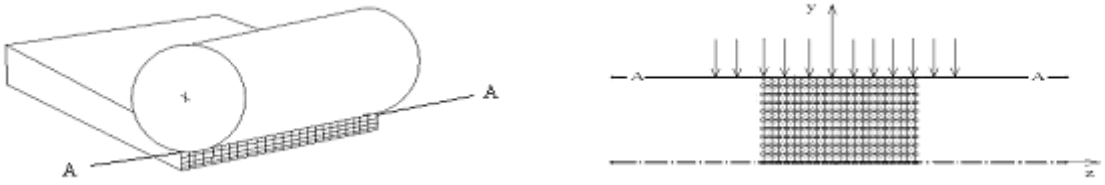
Кл. №	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
α_{i0}, rad	**0.0310**	**0.0199**	**0.0489**	**0.0244**	**0.0200**	**0.0282**



Фиг. 8. Разпределение на контактното налягане в огнището на деформация на кл.1

3.2.3. Решаване на свързаната термо-пластична задача в останалите клетки

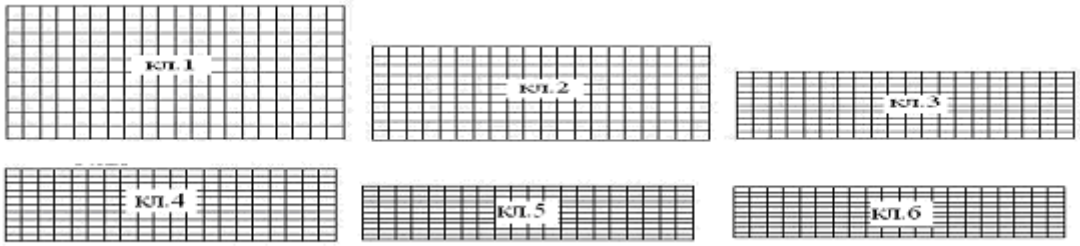
След определянето на стойностите на α_{io} във всички клетки е решена и термо-пластичната задача в кл. 1 – кл.4 по МКЕ, като е проследено непрекъснатото деформиране на челното напречно сечение на листа - фиг. 9.а и фиг. 9.б.



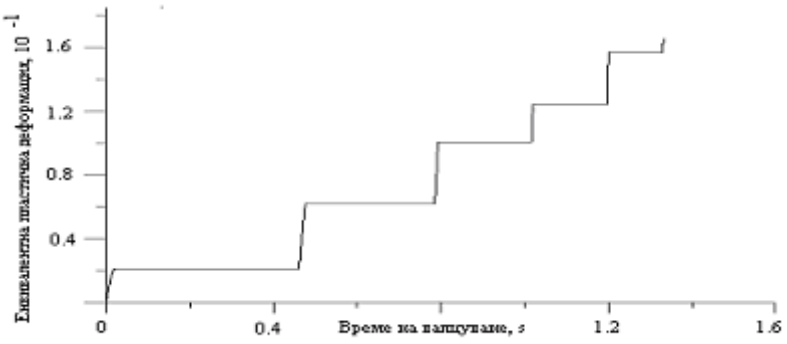
а) Общ вид на сечението ***б) Схема на деформирането***

Фиг. 9. Деформиране на челното напречно сечение на листа

Степента на деформация във всяка клетка на стана е показана на фиг. 10, [5].

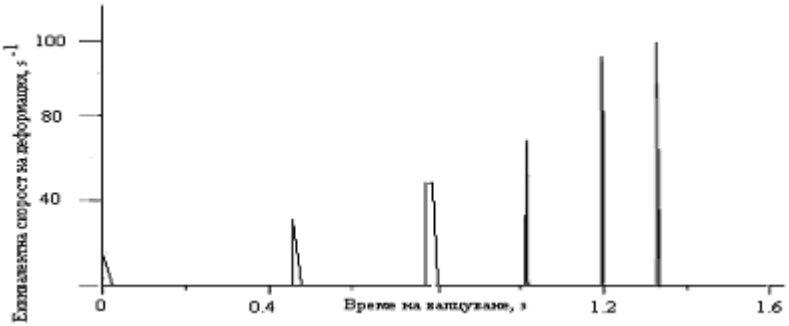


Фиг. 10. Степен на изтъняване на листа в клетките



Фиг. 11. Изменение еквивалентната пластична деформация в стана

На фиг. 11 и фиг. 12 е показано съответното изменение на еквивалентната пластична деформация и на еквивалентната скорост на пластична деформация в целия стан.



Фиг. 12. Изменение еквивалентната скорост на пластична деформация в стана

На последната фиг. 13 е дадено изменението на средната температура на листа при преминаването му през стана. Вижда се, че е получено добро съвпадение с резултатите от измерванията й, [2]. С това решението на свързаната термо-пластична задача е завършено.



Фиг. 13. Изменението на средната температура на листа по дължината на стана

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените резултати могат да са полезни при оценка на ефективността на технологичния процес и на възможностите за управлението му, с цел повишаване на производителността и качеството на готовата продукция, при намален разход на енергия и ресурси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Малинин, Н.Н.,*Прикладные задачи пластичности и ползучести,* Москва, “Высшая школа”, **1979.**
2. Pietrzyk, M., J. G. Lenard, *A study of thermal-mechanical modeling of hot flat rolling,* J. Mater. Shaping Technol., **Vol. 7/1989,** pp. 117-126.
3. *Технологична инструкция,* **Шифър ТИ** 234-120-81, СМК “Кремиковци”, 1981.
4. Kobayashi, S., S.I.Oh, T.Atlan, *Metal Forming and the FEM,* New York, Oxford, Oxford University Press, **1989**.
5. Р. Казанджиев, *Оценка на скоростния режим на многоклетков прокатен стан*, Машиностроене и машинознание, Техн. университет-Варна, **ISSN** 1212-8612., т. 6, стр. 3-6 (2009).
6. Yanakieva, A., K. Kazakov, *The Effect of the Friction Coefficient on Generation of Numerical Models Simulating Steel Concrete Bond-Slip Behaviour,* In Proceedings of Papers of the XII Int. Conference on Mechanics and Technology of Composite Materials, Varna, Bulgaria, 22-24 Sept. **2009** , pp 438-443,
7. Р.Казанджиев, *Оценка на придобитото увреждане на метал, подложен на обработване чрез налягане,* Сборник доклади на Юбил. Международна научна конференция **ВСУ'2008**, София **2008**, т.I**,** 129-134.
8. Yanakieva A., *Mechnical Aspects of the Bond Between an Insulated Steel and Concrete*, PhD Thesis, Inst. of Mechanics, Sofia, **2009.**

9. Yanakieva, A., K. Kazakov, A. Handruleva, *On the Influence of the Steel Protections over the Bond Capacity between the Concrete and the Steel Elements,* In P r o c e e d i n g s of Papers of the XI Nat. and V Int. Sci. Conf., Planning, Design, Construction and Building renewal, 25-27 November **2009**, iNDiS, Novi Sad, pp 547-554.

10. Kazakov, K., A. Yanakieva, *FEM numerical simulation and ductile capacity analysis of bond-slip between epoxy coated plain steel bars and concrete*, Surface Effects and Contact Mechanics IX, WIT PRESS, 9-11 June, **2009**, Algarve, Portugal, pp 217-226.

11. Полухин, П. И., Г. Я. Гун, А. М. Галкин, *Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов,* Москва, "Металлургия", **1974.**

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р Роберт КАЗАНДЖИЕВ
Институт по механика,
1113 София, ул. "Акад. Г. Бончев", бл.4,
e-mail: Robert@imbm.bas.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

METHODS AND EXPERIMENTAL DEVICE FOR "COMBINED HIT" EFFECT INVESTIGATION IN PLASTIC DEFORMATION

Todor PENCHEV Ivan ALTAPARMAKOV Valentin KAMBUROV Jordan GENOV

Abstract: *The resources for deformation processes investigation on experimental device in case of high speed deformation (up to 20 m/s) with additional force (combined hit) are discussed. Laboratory rocket engine operated by compressed air is used for additional force. Methods for investigation of "combined hit" effect to die-forging and briquetting of waste is presented.*

Key Words: *plastic deformation, high speed deformation, briquetting.*

МЕТОДИКА И СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕФЕКТА „КОМБИНИРАН УДАР" ПРИ ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ

Тодор ПЕНЧЕВ Иван АЛТЪПАРМАКОВ Валентин КАМБУРОВ Йордан ГЕНОВ

Резюме: *Разгледани са възможностите на стенд за изследване на деформационни процеси, в условията на високоскоростна деформация (до 20 m/s) и при пралагане на допълнителна сила (комбиниран удар). За получаване на тази сила се използва лабораторен ракетен двигател, задвижван със сгъстен въздух. Представени са методики за изследване на ефекта "комбиниран удар" при обемно щамповане и брикетиране на метални и неметални отпадъци.*

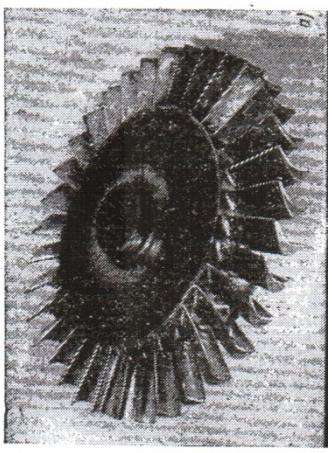
Ключови думи: *пластична деформация, високоскоростно деформиране, брикетиране.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Проблемът за намаляване на отскока при пластична деформация на металите на машини с ударно действие (чукове), досега не е намерил задоволително конструктивно решение, поради голямата сила $P_{отс}$, която се получава като реакция на деформиращата сила $P_{деф}$. С конструиране и въвеждане в експлоатация от инж. Петър Бодуров на Индустриален Ракетен Двигател (ИРД) [1], [2], [3], се създават условия за усъвършенстване на технологичните процеси при пластична деформация, в областта на горещо обемно щамповане и на брикетиране на раздробени метални отпадъци, чрез получаване на т.нар. „комбиниран удар". Този термин означава, че в момента на удара към подвижния деформиращ инструмент се прилага допълнителна сила, която намалява или изцяло премахва отскока на инструмента след удара (прилепващ удар). В работите [4], [5] е показано, че при използване на съществуващия ИРД с максимална тяга R = 2000 kg, може да се осъществи щамповане в един преход в условията на „комбиниран удар".

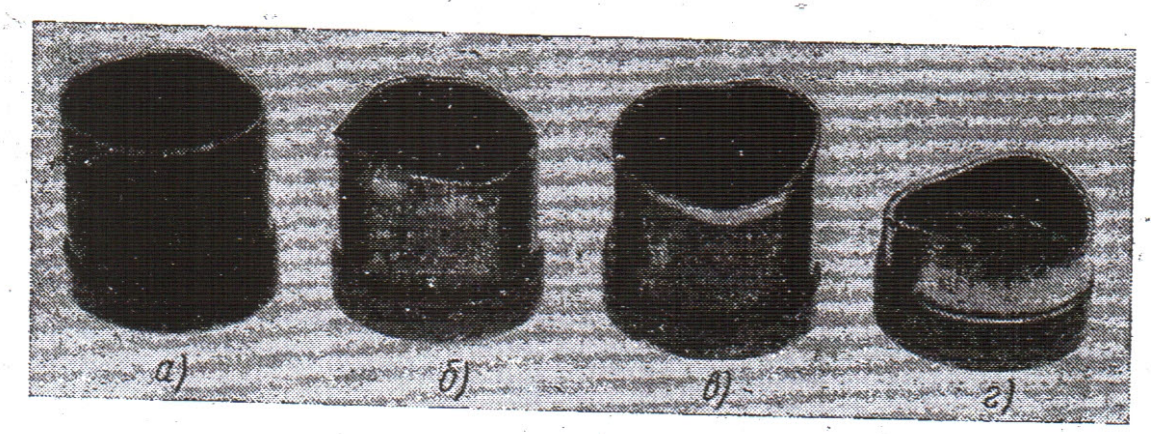
Намаляването или пълното неутрализиране на отскока при обемно щамповане, е особено ефективно при високоскоростно деформиране (скорост на падащите части 16 - 20 m/s). В редица изследвания [6], [7], [8] е показано, че при тези скорости се появяват допълнителни инерционни сили, в резултат от действието на които се подобрява пластичността на металите и се намалява триенето между деформираната заготовка и стените на щампата . Това позволява получаване на изковки със сложна форма при един преход на щамповане – фиг. 1 [6].

На фиг. 2 [6] са показани изковки, получени чрез обратно изтичане при различни скорости на деформация. Вижда се, че при увеличаване на скоростта височината и качеството на изковките също се увеличава. Този ефект се дължи на действието на инерционни сили, които подпомагат изтичането на метала. Нашите очаквания са, че ако в процеса на деформация към горната щампа се приложи допълнителна сила на натиск R (с R в случая се означава тягата на ракетния



Фиг. 1. Изковка на турбинен диск от алуминиева сплав, получена чрез високоскоростно щамповане в един преход

двигател), така, че $R \geq P_{отс}$ ($P_{отс}$ е силата на отскока), щампите няма да отскочат, а ще останат притиснати една към друга (прилепващ удар), като по този начин се създават условия за по-продължително действие на инерционните сили, т.е. за получаване на изковки със сложа форма, поради по-добри условия за запълване на щампата. Например, при детайла от фиг.2 се очаква височината на стената на изковката, получена при щамповане със скорост на деформиране 16 m/s (фиг. 2б) с приложение на „комбиниран удар", да се доближава до тази, получена със скорост на деформиране 40 m/s (фиг. 2.г).



Фиг. 2. Изковки получени чрез обратно изтичане при деформиране на: а високоскоростна уредба - 40 m/s; б високоскоростен чук -20 m/s; в- въздушен чук – 6 m/s; г - колянова преса - 0.3 -0.5 m/s;

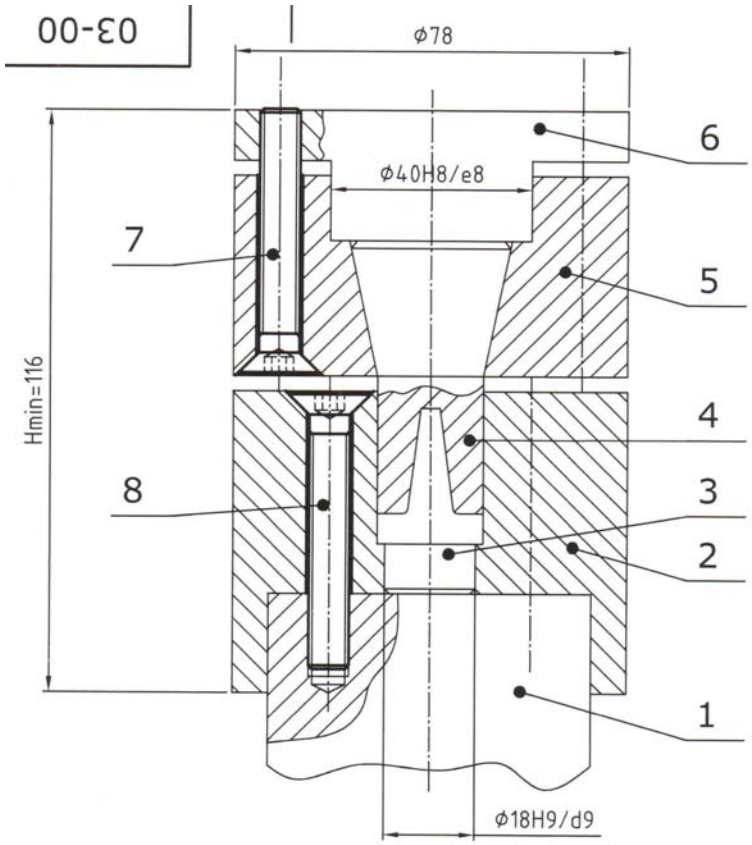
2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Целта на методиката е да се изследва ефекта „комбиниран удар" при технологични процеси на пластична деформация и брикетиране при различни скорости на деформиращия инструмент.

От процесите за пластична деформация се изследват: сплескване, обратно изтичане, запълване на елемент „ребро" и получаване на цилиндрично зъбно колело със зъби. Като пример на фиг.3 е показана конструкцията на инструмент за изследване на деформационния процес при запълване на ребро. Този процес е подбран, тъй като изковки с челно оребряване са едни от най-често изработваните чрез високоскоростно обемно щамповане [4]. Оценка за ефекта от действие на инерционните сили, се прави по височината и формата на запълване на кухината в поансона. За да може да се осъществи изваждане на деформирания метал, поансонът е направен разделен. Използват се заготовки от олово и алуминий, поради по-малката сила за деформиране.

За всички случай на щамповане ще се работи със скорости на деформиране 6.26 m/s, 16 m/s, 20 m/s. Първата скорост е типична за въздушните чукове за обемно щамповане, а другите две са характерни за високоскоростните чукове.

За изследване на влиянието на ефекта „комбиниран удар" върху плътността на брикетите, получени при различни скорости на инструмента, се използва отпадък от метални и неметални материали: метални стружки - чугун, стомана, алуминий, мед, месинг; дребна металургична фракция с големина < 5mm; неметални отпадъци - дървени стружки, дървен прах, въглищен прах. Скоростта на инструмента е 0.1 m/s (хидравлична преса), 16 m/s, 20 m/s. Тези скорости са подбрани за да се изследва подобряването на плътността при увеличаване на скоростта и прилагане на ефекта „комбиниран удар", в сравнение с използвания сега метод на брикетиране с хидравлични преси.



Фиг. 3. Конструкция на инструмент за изследване на ефекта „комбиниран удар" при запълване на елемент „ребро"

Оценяването на плътността се извършва по два начина – за целия брикет и за отделни негови области, като се сравнява плътността на брикета и плътността на монолитния материал. За определяне плътността в обема на брикета, той се разрязва на кубчета 3x3x3 mm, след което се измерва плътността на всяко кубче. По този начин се получава представа за разпределението на плътността в обема на брикета, при различни условия на уплътняване.

3. КОНСТРУКЦИЯ НА СТЕНД ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

На Фиг. 4а е показана снимка на стенда, а на фиг. 4б снимка на падащите части.

Върху направляващите колони на стенда са закрепени следните датчици:

а) Светлинен датчик за измерване преместването на падащите части. Датчикът е наклонен под ъгъл 30, което определя пресичане на различен брой лъчи при преместване надолу от челната планка, закрепена към падащите части;

б) Индукционен датчик, чрез който се определя моментът на пускане и/или спиране подаването на въздух към двигателя;

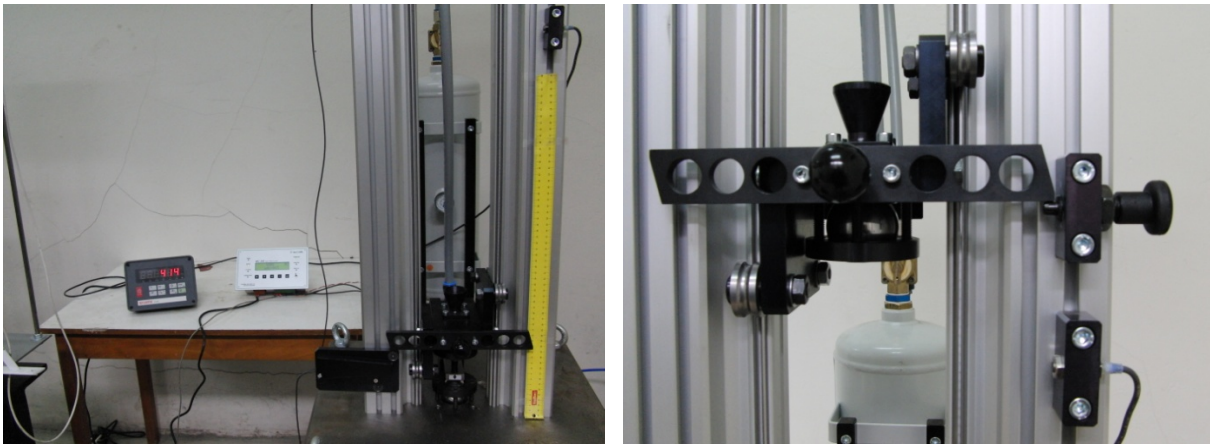
в) Електрически датчик, за определяне продължителността на контакта при удар;

г) Датчик за измерване статичната сила на ракетния двигател;

д) Датчик за ускорение при удар, с данните от който се определя силата на удара P_y.

Сигналите от датчиците се подава към специално конструиран контролер, който отмерва изменението на измерваните параметри през интервал от 1 ms. Въз основа на компютърна

обработка на получените данни от контролера, се построяват автоматично диаграми за изменение на измерваните параметри. На фиг. 5 са показани типови диаграми на пътя и на скоростта, получени при обработване данните от контролера. От фиг. 5а може да се отчете големината на отскока след удара, както и броя на отскоците, а от фиг. 5б може да се отчете скоростта на удара V_y и скоростта на отскока $V_{отс}$.



а) *б)*

Фиг. 4. Снимка на стенд за изследване на ефекта „комбиниран удар" при пластична деформация (а) и на падащата част на стенда с лабораторен двигател (б)

4. РЕЗУЛТАТИ ОТ ТАРИРАНЕ НА СТЕНДА

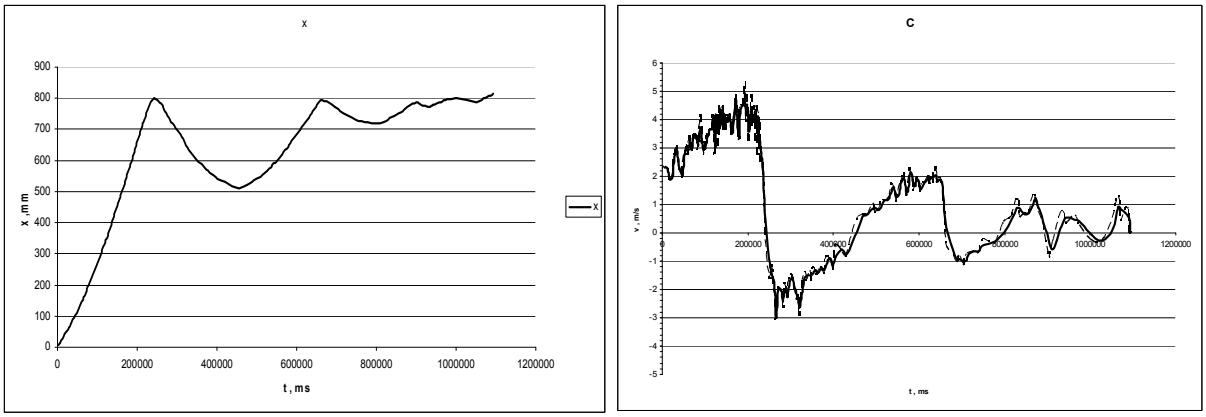
Целта на тези процедури е да се определят основните параметри за работа със стенда: сила на ракетния двигател R, скорост на удара V_y, закъснение при подаване на команден сигнал от индуктивния датчик.

На фигурите по-долу са показани резултатите от процедурите по тариране, както следва:

а) на фиг. 6 е показано изменението на статичната сила на ракетния двигател R, в зависимост от налягането на въздуха подаван към ракетния двигател, при налягания 4-10 Bar;

б) на фиг. 7 е показано изменението на скоростта на удара при различни налягания на въздуха и височина на падане;

в) на фиг. 8 е показана големината на закъснението при включване на ракетния двигател , в mm, в зависимост от налягането на въздуха и височината на падане, т.е. от скоростта на удара.

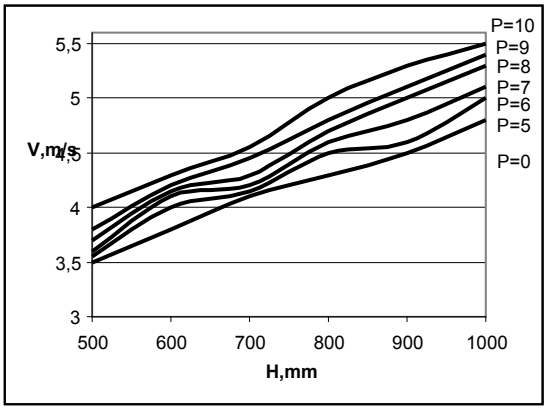


а) *б)*

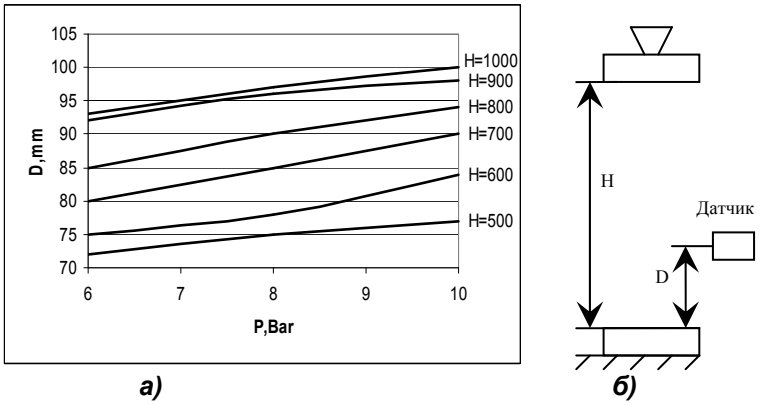
Фиг. 5. Типова диаграма за преместването на падащите части (а) и за скоростта на падане и отскок (б)



Фиг. 6. Изменение на силата R в зависимост от налягането на въздуха



Фиг. 7. Скорост на удара при различни налягания на въздуха и височина на падане



Фиг. 8. Големина на закъснението на включване на двигателя D (а) и схема на опитната установка (б)

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представените резултати показват, че разработеният стенд и методики могат да бъдат използвани успешно за изследване на ефекта «комбиниран удар» при пластична деформация.

БЛАГОДАРНОСТИ

Представените в настоящата работа резултати бяха постигнати с подкрепата на Националния Фонд за Научни Изследвания дог. № 02-262/2008.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бодуров, П., *Относно възможността за прилагане на ракетни двигатели при високоскоростни чукове*, Машиностроене, 4, **197**3, с.160-162.
2. Бодуров, П., *Високоскоростен чук*, Авторско свидетелство 24567/12.04.**1978**, с приоритет от 05.08.1968.
3. Бодуров, П., Й.Генов, *Съоръжения за деформиране на металите с помощта на ракетни двигатели*, Научна конференция за обработване на металите чрез пластична деформация, Плевен, **1976**, Първа част, с.82-90.
4. Bodurov, P., T. Penchev, *Industrial Rocket Engine and its Application for Propelling of Forging Hammers*, J. of Mater. Processing Technology, **2005**, 161, pp.504-508.
5. Penchev, T., P. Bodurov, D. Karastojanov, *Rebound force calculation in the case of hot forging by rocket engine propelled hammer*, *Int. C o n f e r e n c e* ***Automatics and Informatics,*** *Sofia,* ***2009****. pp. II-41-43.*
6. Согришин, Ю.П., Л.Г.Гришин, В.М.Воробьев, *Штамповка на высокоскоростхых молотах*, М., Машиностроение, **1978**, 166 с.
7. Согришин, Ю.П., Л.Г. Гришин, Ф.В. Тулянкин и др., *О связи скоростных параметров оборудования с технологическими параметрами процессов горячей штамповки*, Технология легких сплавов, **1970**, 5, с.55-60.
8. Cole, B.N., Bghtar F., *Dynamic effects in very high speed impact exstrusion*, Int. J. Mash. Tool Des., **1963**, 3, pp.77-95.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р Тодор ПЕНЧЕВ
Технически Университет - София,
tpenchev@tu-sofia.bg;

ас. д-р Иван АЛТЪПАРМАКОВ
Технически Университет - София,
ialt@tu-sofia.bg;

доц. д-р Валентин КАМБУРОВ
Технически Университет - София,
vvk@tu-sofia.bg

проф. д.т.н. Йордан ГЕНОВ
Технически Университет - София,
jgenov@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

INVESTIGATION OF MILLING BALLS FORM INFLUENCE ON THEIR HARDNESS AFTER HARDENING

Petar BODUROV Nikolaj KEMILEV Todor PENCHEV

Abstract: *The hardness distribution after hardening of steel balls with form of sphere and spherical tetrahedron is investigated. It is determined that the hardening volume of milling balls with spherical tetrahedron form is 21,26 % bigger than the hardening volume of balls with spherical form. The explanation is with topological speciality of the spherical tetrahedron form.*

Key Words: *hardening, ball mill, milling body.*

ИЗСЛЕДВАНЕ ВЛИЯНИЕТО НА ФОРМАТА НА МЕЛЕЩИ ТЕЛА ЗА ТОПКОВА МЕЛНИЦА ВЪРХУ ТВЪРДОСТТА ИМ СЛЕД ЗАКАЛЯВАНЕ

Петър БОДУРОВ Николай КЕМИЛЕВ Тодор ПЕНЧЕВ

Резюме: *Изследвано е разпределението на твърдостта след закаляване и отвръщане на стоманени мелещи тела с форма на сфера и на сфероидален тетраедър. Установено , че при форма сфероидален тетраедър обемът на закалената част на тялото е с 21,26 % по-голям от този при сферична форма. Това се обяснява с топологичните особености на формата сфероидален тетраедър.*

Ключови думи: *закаляване, топкова мелница, мелещо тяло.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

За производство на руден концентрат и на цимент се използват топкови мелници, с мелещи тела метални топки. Те са с диаметър 20-120 mm, като най-често използвани са тези с диаметър 40-80 mm.

Основно изискване към мелещите тела е да имат повърхностна твърдост в границите на HRC 52-60 и тази твърдост да се запазва на голяма дълбочина. По този начин се постига добра трайност на топките и икономическа ефективност на процеса за получаване на руден концентрат или цимент, тъй като 30% от сумарните разходи при тези процеси са за сметка на разхода на мелещи тела [1].

За да се удовлетвори това изискване, мелещите тела за смилане на руда се изработват от нисколегирана стомана или нисколегиран бял чугун, с общо съдържание на легиращите елементи до 1.2%. В циментовата промишленост се използва високолегиран бял чугун с общо съдържание на легиращите елементи 18 - 35 % .

Тъй като металните топки работят в удрящо - стриващ режим, от съществено значение е освен висока твърдост да имат и добра жилавост. Това означава, че термичната обработка на стоманените топки трябва да включва закаляване и следващо нискотемпературно отвръщане.

Предишни наши изследвания, проведени с топки на различни производители показват [2], че в производствени условия е много трудно да се получат стабилни резултати след термична обработка: наблюдава се голямо разсейване на твърдостта в дълбочина, поява на пукнатини, малка твърдост в целия обем на топките.

През 2007 г е предложена нова форма за мелещо тяло – сфероидален тетраедър [3], която е комбинация от симетрично разположени четири сферични повърхнини четири заоблени ръба и четири върха и се базира на тетраедъра на Рело – фиг.1. От проведени предварителни полупромишлени изследвания е установено, че тази форма повишава значително производителността на смилане. За да има достатъчно добър икономически ефект от приложението и, е необходимо да се изследва влиянието на новата форма, върху разпределението на твърдостта след термична обработка.



Фиг. 1. Мелещо тяло – сфероидален тетраедър

В настоящата работа се представят резултатите от сравнителни изследвания за разпределението на твърдостта в стоманени топки със сферична форма и форма сфероидален тетраедър след термична обработка закаляване и нискотемпературно отвръщане.

Цел на работата е да се изследва влиянието на геометричната форма на мелещите тела, химичния състав на стоманите и термичното им обработване върху повърхностната твърдост и разпределението и в дълбочина.

Работоспособността на мелещите тела е функция на различни показатели, които можем условно да разделим на конструктивно – технологични и експлоатационни. В работата се разглеждат показатели от първата група – геометрична форма на телата и химичен състав /съдържание на манган /. Изследванията са проведени върху тела със сферична и тетраедрична форма, изработени от стомана 60Г. /60 Mn4 /.

2. МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

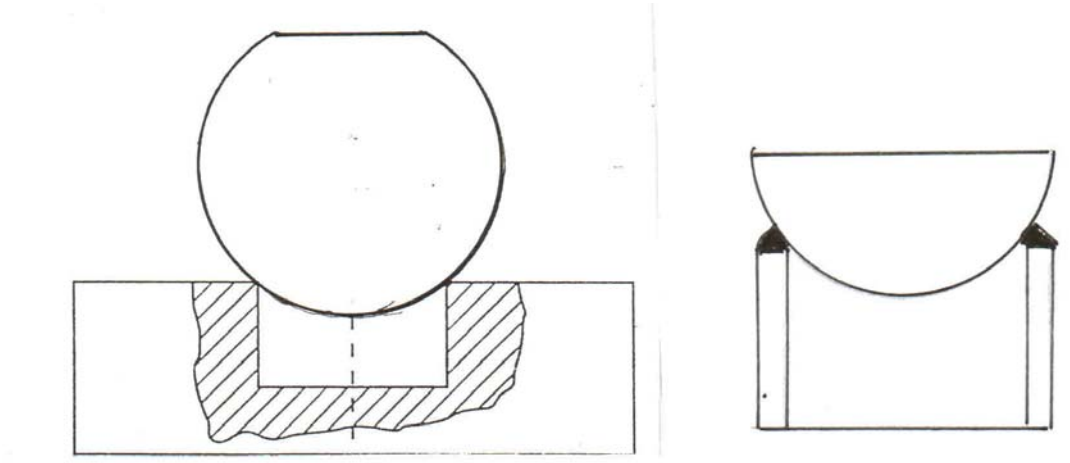
За да се оцени разликите в твърдостта при различните случаи, тя се измерва по повърхността и в дълбочина, до центъра на мелещото тяло. Измерването на твърдостта е по Роквел (HRC). За да се получат точни резултати, е необходимо да се гарантира перпендикулярност на индентора към равнината на измерване – фиг.2.

При измерване по повърхността плоският участък се получава чрез шлифоване на малка дълбочина (фиг.2а). За измерване на твърдостта в дълбочина сферичното тяло се срязва в средата с нишкова електроерозийна машина, а тялото с форма на сфероидален тетраедър се срязва в равнина, която минава през трите му върха (фиг.2.б).

Разпределението на твърдостта в равнината на срязване се определя при измерване през 5 mm, в посока от повърхността към центъра на тялото. Във всички случаи се правят по пет измервания за всяка точка и получения резултат се осреднява. Ако има голямо разсейване на резултатите, броят на точките и на измерванията се увеличава.

Използвани са сферични мелещи тела с диаметър $\Phi_{сф}$ = 80 mm и съответстващите им по маса мелещи тела с форма на сфероидален тетраедър. И двата вида са получени чрез горещо обемно щамповане.

В практиката сферичните тела се произвеждат най-често от стомана 60 Mn4 (60Г), с въглеродно съдържание 0,58-0,60 и съдържание на манган 0,70 - 1,1, поради което този химически състав е взет като база за сравнение. Химическия състав на изследваните от нас тела е показан в Таблица 1.

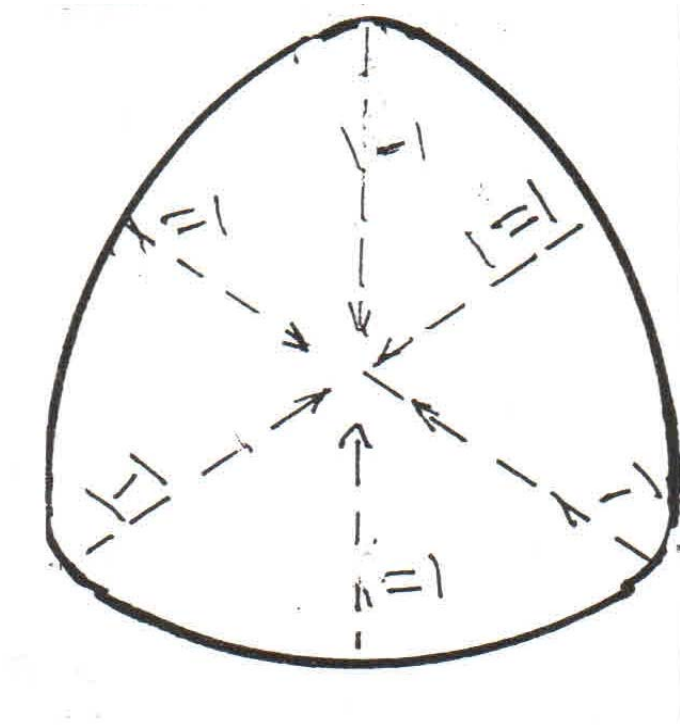


а) *б)*

Фиг. 2. Базиране на топките при измерване на твърдостта по повърхността (а) и в дълбочина (б)

Таблица 1 Химически състав на изследваните мелещи тела

Вид		*C,%*	*Mn,%*
Сфера		*0,59*	*0,95*
Тетраедър	*№1*	*0,58*	*0,71*
	№2	*0,60*	*0,92*
	№3	*0,59*	*1,08*



Фиг. 3. Направления за измерване твърдостта в дълбочина на тела с форма сфероидален тетраедър

Всички тела са подложени на термично обработване „закаляване + нискотемпературно отвръщане". Температурата на закаляване е 840 0С с охлаждане във вода, а отвръщането е при 200 0С. Границата на закалената зона се определя от наличие на структура „50% мартензит + 50% троостит". Тази структура за стомана с въглеродно съдържание 0,60% има твърдост 50 HRC [4].

Измерването на твърдостта на мелещи тела с форма на сфероидален тетраедър се осъществява в направления I и II – фиг.3.

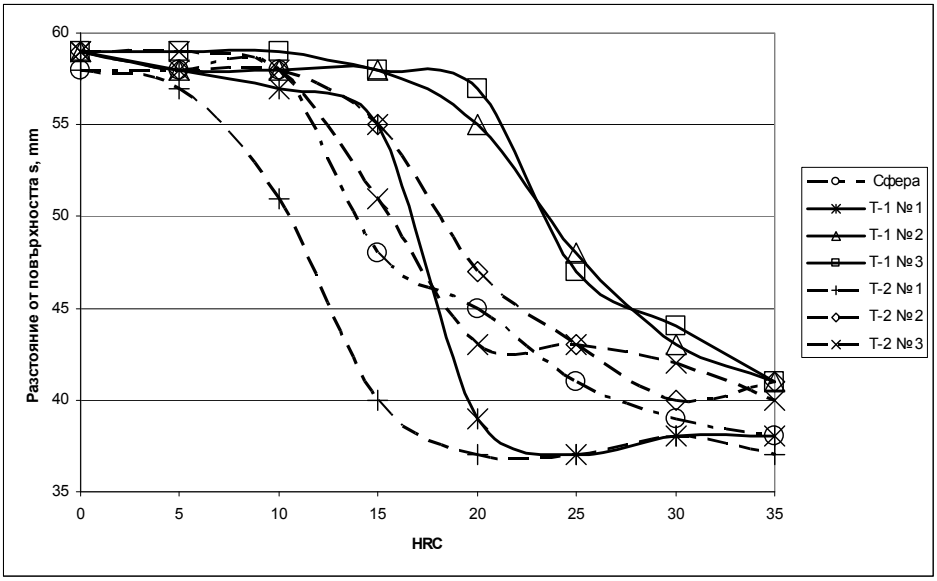
3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗМЕРВАНЕ НА ТВЪРДОСТТА

Средната измерена твърдост на сферични тела е 58 HRC, а на телата с форма сфероидален тетраедър 58,81 HRC.

Средната твърдост от пет измервания във всяка точка в дълбочина на изследваните тела, е дадена в Таблица 2. С данните от Таблица 2 на фиг. 4 са построени в графичен вид зависимостите HRC (s).

Таблица 2 Твърдост в дълбочина, HRC, на изследваните тела

Вид на телата		*Разстояние от повърхността s, mm*							
		0	*5*	*10*	*15*	*20*	*25*	*30*	*35*
Сфера		*58*	*58*	*58*	*48*	*45*	*41*	*39*	*38*
Тетраедър - направление I	*Т-1 №1*	*59*	*58*	*57*	*55*	*39*	*37*	*38*	*38*
	Т-1 №2	*59*	*58*	*58*	*58*	*55*	*48*	*43*	*41*
	Т-1 №3	*59*	*59*	*59*	*58*	*57*	*47*	*44*	*41*
Тетраедър - направление II	*Т-2 №1*	*58*	*57*	*51*	*40*	*37*	*37*	*38*	*37*
	Т-2 №2	*59*	*58*	*58*	*55*	*47*	*43*	*40*	*41*
	Т-2 №3	*59*	*59*	*58*	*51*	*43*	*43*	*42*	*40*

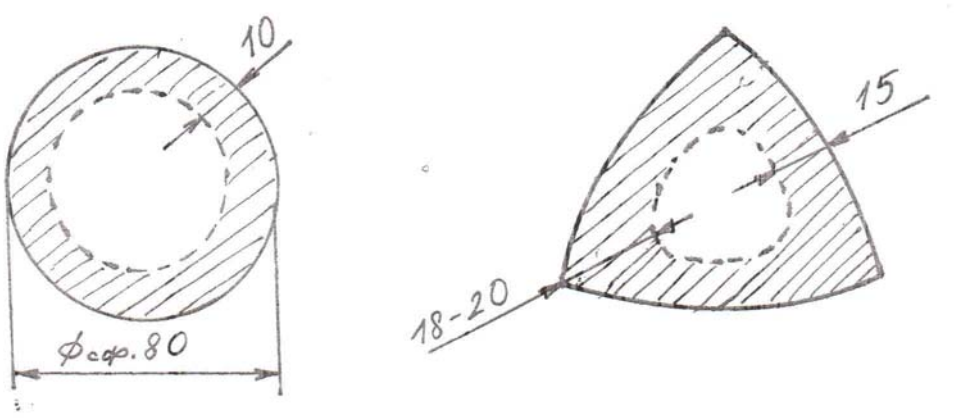


Фиг. 4. Зависимости HRC (s) при:

4. ОБСЪЖДАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ И ИЗВОДИ

На фиг.5 са показани закалените области с HRC ≥ 50 при тела със сферична форма и с форма на сфероидален тетраедър. Вижда се, че закалената област при тела с форма на сфероидален тетраедър е по-голяма от тази при сферични тела. След съответните пресмятания се установява, че обемът на незакалената зона при сферични тела е 113,04 sm3, а при тетраедри – 56,08 sm3. Като се вземе пред вид, че обемът на двете тела (сфера и тетраедър) е еднакъв и равен на 267,95 sm3, то се оказва, че обемът на закалената зона при тела с форма на сфероидален тетраедър е с 21,26 % по-голяма от закалената зона при тела със сферична форма. Причината за тази разлика е в наличието на топологични особености в повърхнината на тетраедрите – върхове и ръбове. В тези области скоростта на охлаждане е по-голяма, в резултат на което дълбочината на закаляване също е по-голяма.

Тъй като трайността на мелещите тела в процеса на работа е в пряка зависимост от твърдостта им, колкото по-голям е обемът на закалената област, толкова по-трайни ще са те и по-малки ще са производствените разходи. В това отношение мелещите тела с форма на сфероидален тетраедър имат съществено предимство пред мелещите тела със сферична форма.



а) *б)*

Фиг. 5. Област на закаляване (защрихованата част) при топка със сферична форма (а) и с форма сфероидален тетраедър (б)

От Таблица 2 и фиг.4 се вижда, че с нарастване съдържанието на Mn дълбочината на закаляване нараства, като по-съществено е нарастването при преминаване от 0,71 % към 0,92 % съдържание на Mn.

Въз основа на получените резултати може да се направят следните изводи:

1. Технологията за термична обработка „закаляване + нискотемпературно отвръщане" дава добри резултати по отношение на твърдостта на мелещи тела с въглеродно съдържание 0,58 % - 0, 60 %.
2. В резултат на тази термична обработка мелещите тела с форма на сфероидален тетраедър получават с 21,26 % по-голям обем закалена област, което води до съществено удължаване на срока за експлоатацията им и до значителен икономически ефект, в сравнение с мелещите тела със сферична форма.
3. За да се получи достатъчно голям ефект от закаляване при мелещи тела с форма на сфероидален тетраедър, е необходимо да се използва стомана с въглеродно съдържание 0,58 – 0,60 % и съдържание на Mn над 0,90 %.

БЛАГОДАРНОСТИ

Това изследване беше осъществено с финансовата подкрепа на Национален Фонд за Научни Изследвания, дог. ID 09-0048 /2010.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Справочник по обогащению руд*, том.1, Подготовительные процессы, Москва, **1972**, 446 с.
2. Кемилев Н, П. Бодуров, Т. Пенчев. *Влияние на технологията на изработване на мелещи тела за топкови мелници, върху геометричните им и механични показатели*. Габрово, **2009**.
3. Бодуров П, Т. Пенчев. *Мелещо тяло за топкови мелници*.Заявка за патент, **2007**.
4. Бучков Д, М. Кънев, *Материалознание*. Техника,София,**1999**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

д-р Петър БОДУРОВ
„Б+К" ООД
e-mail: pbodurov@yahoo.com

доц. д-р Николай КЕМИЛЕВ
ТУ – София
e-mail:nkemilev@tu-sofia.bg

доц. д-р Тодор ПЕНЧЕВ
ТУ – София
e-mail: tpenchev@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

SPECIFICATIONS UPON RECEIVING OF THE ROTOMOLDING CASTING "CAP" WITH HIGHER EXPLOITATION REQUIREMENTS FROM ALLOY A357 WITH THE METHOD OF CASTING UNDER GAS PRESSURE

Anna MANEVA Sergei STANEV Michail GEORGIEV Angel VELIKOV

Abstract: *Here are considered some specifications in the development of technology for "Cap" casting from alloy AlSi7Mg0,6 (A357)using the advantages of the method for casting under gas pressure and the possibilities of the software package MAGMAsoft® for simulation and optimization of the processes for filling of the molds and crystallization of the castings. There are obtained high values of the mechanical properties in different parts of the piece with minimal distraction.*

Key Words: *casting under gas pressure, crystallization, simulation, optimization.*

ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПОЛУЧАВАНЕ НА РОТАЦИОННА ОТЛИВКА „КАПАК", СЪС ЗАВИШЕНИ ЕКСПЛОТАЦИОННИ ИЗИСКВАНИЯ, ОТ СПЛАВ А357 ПО МЕТОДА ЗА ЛЕЕНЕ С ГАЗОВО ПРОТИВОНАЛЯГАНЕ.

Анна МАНЕВА Сергей СТАНЕВ Михаил ГЕОРГИЕВ Ангел ВЕЛИКОВ

Резюме: *Разгледани са някои особености при разработването на технология за отливане на „Капак" от сплав AlSi7Mg0,6 (A357), като са използвани предимствата на метода за леене с газово противоналягане и възможностите на софтуерния пакет MAGMAsoft® за симулиране и оптимизиране на процесите на запълване на пресформата и кристализацията на отливките. Получени са високи стойности на механичните показатели в различни части на детайла при минимално разсейване.*

Ключови думи: *леене с газово противоналягане, кристализация, симулиране, оптимизиране.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Свойствата и качеството на отливките зависят от вида на използвания материал, технологията за тяхното получаване и организацията на производствения процес. Обект на разработката е получаването на отливка с високи изисквания към механичните показатели, с малки отклонения в различните зони и висока плътност. Детайлът е осисиметрична отливка (фиг. 1) със силно развита повърхност и преходи от тънки и дебели стени, изразени зони на термични възли съсредоточени в периферията и централната част, с тегло 18 кг. заедно с леяковата система.

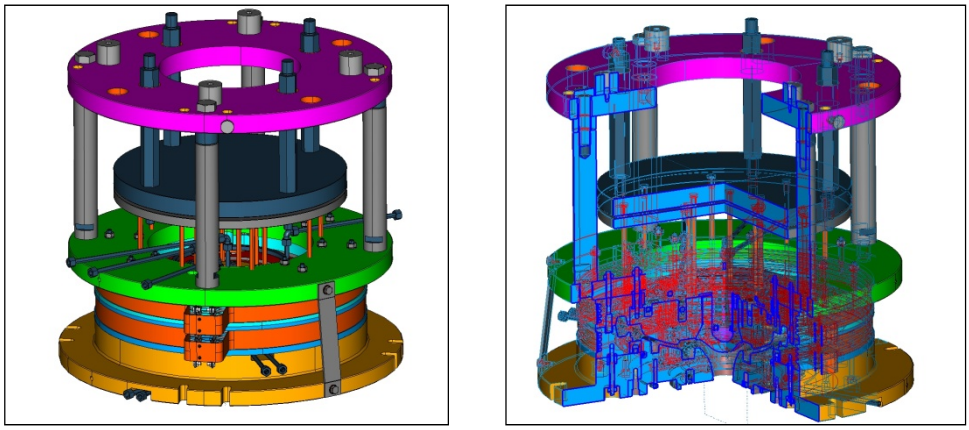


Фиг. 1. Общ вид на отливката

Разгледани са особеностите при конструирането на леярския инструмент и влиянието на топлообмена върху формирането на отливката и по–специално проблемните й зони при леене с газово противоналягане [1].

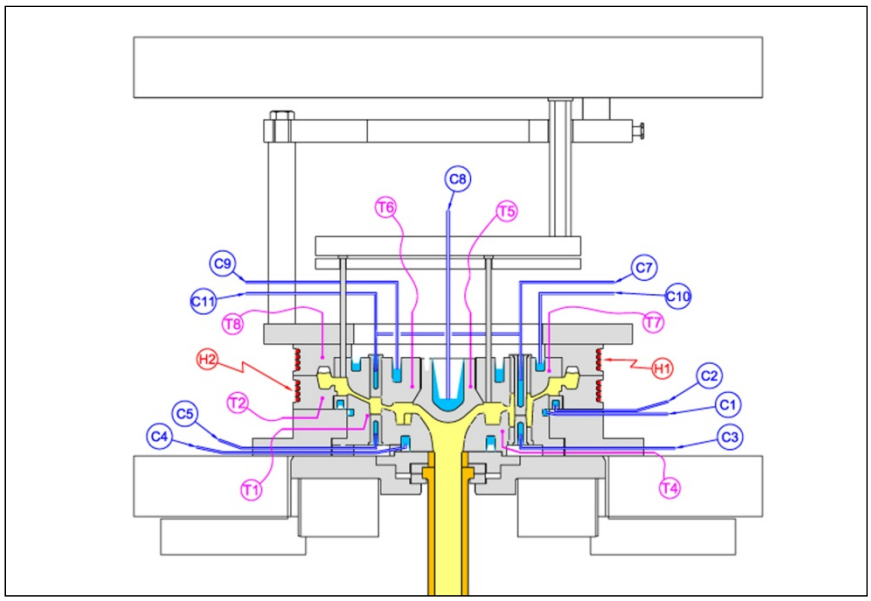
2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

В процеса на създаване на инструменталната екипировка са използвани съвременни методи за 3D проектиране. На фиг. 2 е показано триизмерно изображение на инструмента, включващо вида и разположението на нагревателните и охладителните контури, вентилацията и избиващата система.



Фиг. 2. Общ вид на леярската форма с охладителни, нагревателни контури и избиваща система

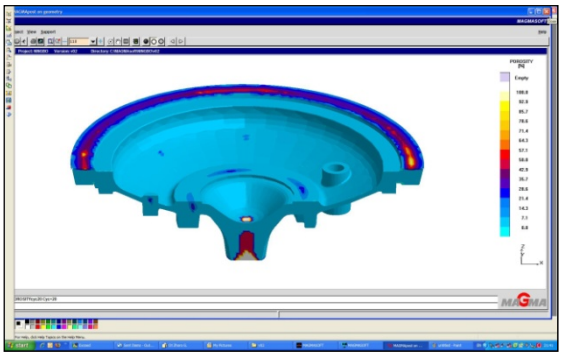
За по-добро управление на топлинните процеси в двете полуформи са предвидени вложки и сърца с индивидуални охлаждания както и електро-нагреватели в зоната на мъртвата глава. На фиг. 3 е показана принципната схема на конструираната пресформа с разположението на охладителните контури (C1 ÷ C11), нагревателите (H1 и H2) и местоположението на термодвойките (T1 ÷ T7) за контрол на температурата. Инструменталната екипировка е тествана и оптимизирана с подходящи софтуерни решения за симулация на процеса за формиране на отливката.



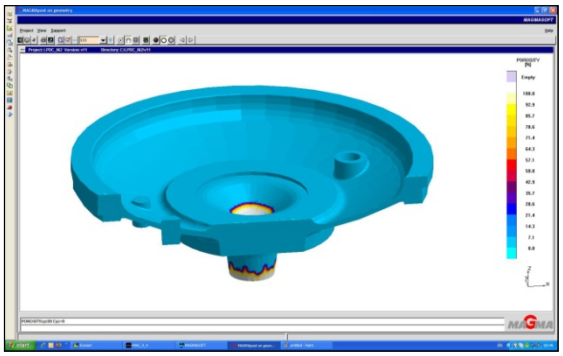
Фиг. 3. Принципна схема на пресформата с охладителни контури, нагреватели и термодвойки.

С помощта на софтуерният пакет MAGMAsoft® [2] се извърши симулиране на процесите на запълване на пресформата и кристализация на отливката. Първоначална симулация на пълнене и „естествена" кристализация се провежда при всички цикли на охлаждане и изключени нагреватели, за да се оцени топлинния капацитет на пресформата и да се локализират всички термични зони в отливката, които могат да доведат до дефекти от

свиването. Симулацията се провежда при зададена начална температура на метала - 700 ^{0}C. Установи се че, вентилацията на формата работи правилно и осигурява достатъчно подхранване на отливката. Реализирана е симулация на леярския процес, като началните условия и параметрите за управление на охлаждането/нагряването на пресформата се променят по определен алгоритъм, с цел интензифициране на кристализационния процес, чрез подобряване топлообмена между отливката и формата за минимизиране на дефектите. При този процес в отделни части на отливката се наблюдават локални термични зони в които може да се появи пористост [3] – фиг. 4.



Фиг. 4. Пористост в различни зони на на отливката



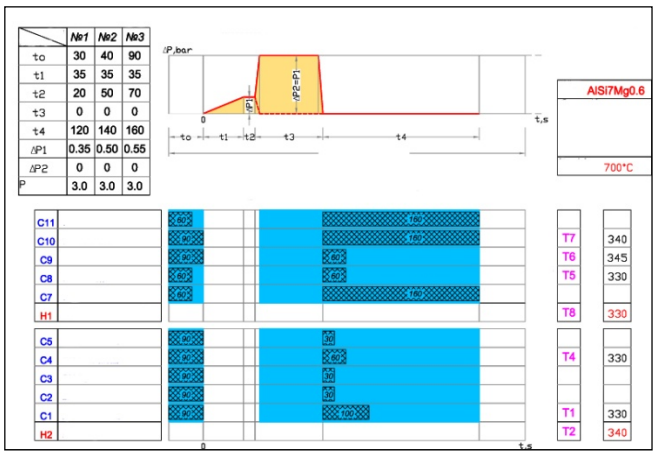
Фиг. 5. Отсъствие на пористост в отливката

За отстраняване на пористостта бе предвиден допълнителен охлаждащ контур в средата на горна полуформа, а в леярския цикъл беше въведено предварително време (t_o) за охлаждане, което стартира преди сигнал „пълнене” на машината. Ефектът е отстраняване на предпоставките за поява на пористост - фиг. 5.

На фиг. 6 е показан леярският инструмент, монтиран на вертикална машина за леене с противоналягане (ВП) окомплектована с многофункционално микропроцесорно управление (СУ). Софтуерът съдържа конкретните решения за всяка отливка (фиг. 7), получени посредством симулацията и оптимизацията на технологичния процес с цитираните по-горе софтуерни решения. След получаване на симулационното решение за оптимален закон за запълване кухината на леярската форма се решава обратната задача на запълване, при която се намират функциите, при които следва да се изменят наляганията в горна (P1) или долна (P2) камера на машината, за да се реализира предварително зададения закон Δ(P1,P2) на оптимално запълване (фиг. 8). Тези функции се програмират в СУ за изпълнение от пропорционалните вентили, осъществяващи схемата за леене.



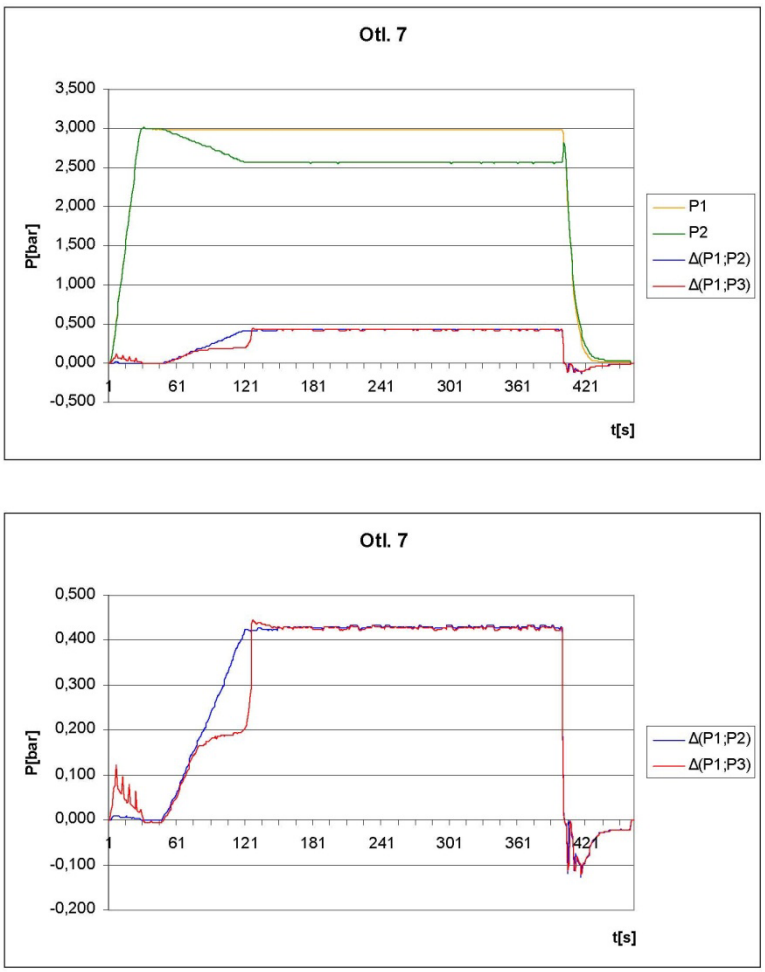
Фиг. 6. Машина за леене с противоналягане ВП



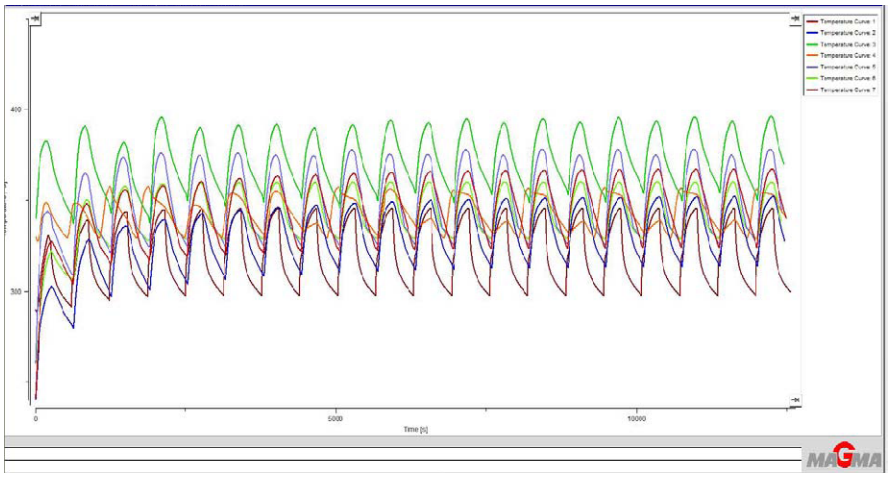
Фиг. 7. Параметри на леярския цикъл

Чрез контрол на температурата в характерни точки на леярския инструмент - фиг. 3 (T1÷T7) и на базата на предварително получени софтуерни симулационни решения СУ генерира съответните изходни сигнали за управление на температурни режим. На фиг. 9 са показани

прогнозните време-температурни криви, а на фиг. 10 действително получените. Наблюдава се съвпадение на резултати и циклична повтаряемост фиг. 11.



Фиг. 8. Изменение на налягането за конкретна отливка

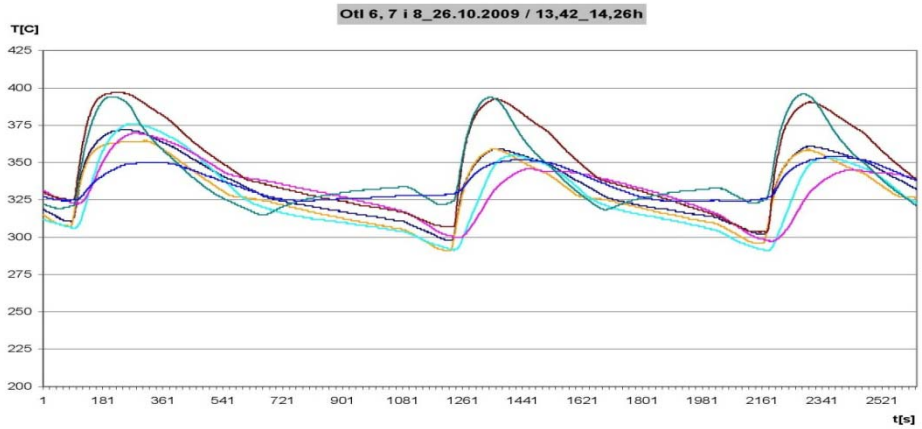


Фиг. 9. Прогнозна време-температурна крива за пълен цикъл

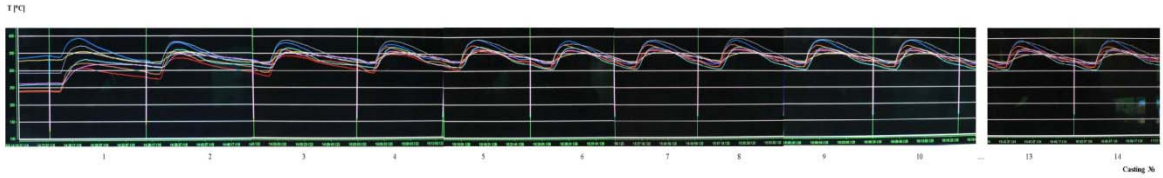
3. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

С помоща на извършената симулация и оптимизация на конструктивните решения за инструменталната екипировка, запълване и кристализация е постигната насочена кристализация в обема на отливката. За постигане на необходимия топлообмен между

отливка-форма в критичните зони чрез обединаване охлаждащите контури С7 и С11 (фиг. 3 и фиг. 7) е интензифицирано охлаждането. Използвани са покрития с различен коефицент на топлопредаване, като в зоната на мъртвата глава е нанесена топлоизолационна обмазка с дебелина на слоя до 1,3 мм, а по останалите повърхнини е нанесено покритие с по-висок коефицент на топлопредаване, с различни дебелини на слоя. Чрез управление температурата на мъртвата глава и охлажданията в локалните термични зони и температурното поле на формата са постигнати условия осигуряващи бездефектно обемно изграждане на отливките. Те са термообработени по режим Т6. Изследвани са измененията на микроструктурата и механичните показатели в характерни участъци на отливката. Резултатите подробно са описани в [4]. Микроструктурата в разглежданите зони е хомогенна, дребнозърнеста със стойности на DAS (разстояние между вторичните оси на дендритите) от 25 μm до 37 μm, което е свидетелство за благоприятни условия на кристализация в цялата отливка. Резултатите от механичните изпитания са показани на фиг. 12. Тези свойства напълно удовлетворяват техническите изисквания към детайла.



Фиг. 10. Реална време-температурна крива



Фиг. 11. Реална време-температурна крива за пълен цикъл



Епруветка №	Rp0.2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]
1	251	334	8.4
2	243	309	6.4
3	252	330	9.9
4	255	329	9.1
5	260	328	7.8

Фиг. 12. Схема и стойности на механични показатели на термообработена отливка

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Използвани са предимствата на метода за леене с газово противоналягане и възможностите на софтуерния пакет MAGMAsoft® за симулиране и оптимизиране на процесите на запълване на пресформата и кристализация на отливките при разработване на технология за отливане на „Капак” от сплав AlSi7Mg0,6 (A357).

2. Разработената технология и инструментална екипировка осигуряват прецизно управление на параметрите на леярския процес при отливка със сложна геометрия и високи експлоатационни изисквания.

3. Получени са високи стойности на механичните показатели в различните зони на детайла при намален разход на метал и енергия.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват благодарност на проф. дтн Емил Момчилов, доц. д-р Георги Георгиев, н.с. I ст. Станчо Вутов за оказаното съдействие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арсов Я., Е. Момчилов, К. Даскалов, Г. Бъчваров. *Теоретични и технологични основи на леенето с газово противоналягане.* – Академично издателство на БАН "Проф. Марин Дринов", София, **2006**, глава 3.

2. Лицензирана версия */4.4/ на софтуерният пакет MAGMAsoft®*

3. Г. Бъчваров, С. Константинова, М. Георгиев. *Индентифициране на структурни нехомогенности в отливки от сплав AlSi7Mg*, Научни известия на **НТСМ**, год.IX, бр.1(57), юни **2002**,122-126, Доклади от XVII Национална конференция с межд.участие.

4. Емил Момчилов, Михаил Георгиев, Станчо Вутов, Сергей Станев, Анна Манева. *Изследване възможностите за получаване на отливка "Капак" от сплав AlSi7Mg0,6 (A357) по метода за леене с газово противоналягане.* Сп. Инженерни науки, София, **2010**, под печат.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

н.с. I ст. Анна МАНЕВА
Институт по металознание "Акад.А.Балевски" БАН,
Шипченски проход 67,1574 София, България
e-mail: anna13@abv.bg

н.с. I ст. Сергей СТАНЕВ
Институт по металознание "Акад.А.Балевски" БАН,
Шипченски проход 67,1574 София, България
e-mail: geo131@gmail.com

инж. Михаил ГЕОРГИЕВ
Институт по металознание "Акад.А.Балевски" БАН,
Шипченски проход 67,1574 София, България
e-mail: mngeorgiev@gmail.com

н.с. I ст. Ангел ВЕЛИКОВ
Институт по металознание "Акад.А.Балевски" БАН,
Шипченски проход 67,1574 София, България
e-mail: anmabg@yahoo.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

MATHEMATICAL MODELS FOR PRODUCTION OF BIMETAL CASTINGS BY CENTRIFUGAL CASTING

Stefan BUSHEV Ivan GEORGIEV

Abstract: *The paper summarizes experimental, theoretical and model results required for mathematical interdisciplinary modeling to design a casting technology. The physical processes related to the final structure in the contact zone of two metals in two-layer castings are generalized by problems of Stefan's type.*

The processes of creating the operational properties of bimetal (multimetal) castings by the centrifugal casting technology are systematized in separate groups.

Key Words: *Experimental, Theoretical Model Results for Interdisciplinary Modeling.*

МАТЕМАТИЧНИ МОДЕЛИ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ НА БИМЕТАЛНИ ОТЛИВКИ ЧРЕЗ ЦЕНТРОБЕЖНО ЛЕЕНЕ

Стефан БУШЕВ Иван ГЕОРГИЕВ

Резюме: *В тази работа се обобщават експериментални, теоретични и моделни резултати, необходими за математично интердисциплинарно моделиране за конструиране на една леярска технология. Физичните процеси свързани с крайната структура в контактната зона на два метала в двуслойните отливки се обобщава чрез задачи от Стефанов тип*

Определени са групи от процеси при създаване на работните свойства на двуслойни (плислойни) отливки чрез технологията центробежно леене.

Ключови думи: *експеримент, теория и модели за интердисциплинарно моделиране*.

1. INTRODUCTION

The centrifugal casting of multilayer castings is a method of the special methods for forming rotational symmetrical and shaped castings. This method can provide castings, for instance, of internal operational surface resistant to abrasive wear and at the same time their external layer to be resistant to high loading [1]. For the bimetal castings a guaranteed diffusion bonding between the two layers is required where the two contact surfaces to be so close one to the other that the grain boundaries of the individual crystals fit tightly, the result being atomic force of bonding. Moreover, the diffusion temperature of the bonding should be above the recrystallization temperature. This allows the atoms of one of the alloys to penetrate in the other and form mixed crystals. With this bonding there is a possibility of intermetallic phase. According to theoretical prerequisites the contact surface temperature (the free surface of the first layer) should be below its solidus with the purposes to avoid mixing of the two layers and the duration of the casting solidification to be longer than the time of pouring (τsolidification >> τ pouring.) aiming to obtain directional crystallization [1,2].

Purpose of this paper is to present the requirements to the mathematical modeling of bimetal castings by vertical axis centrifugal casting.

2. TECHNOLOGICAL EXPERIMENTS AND MATHEMATICAL MODELLING

Publication [1] presents theoretical and experimental investigation of the technological parameters in successive pouring of two liquid alloys which under the action of the centrifugal force field, without mixing of the materials, bond reliably with their contact surfaces. Linear function is obtained of the temperature of the first layer free surface depending on the second layer pouring temperature, equation (7) in [1]. By this equation experimental data of technological experiments in real conditions

are processed and three specific temperature zones determined: I – there is no alloying between the two layers; II – partial alloying and achievement of high quality bond between the two materials; III – zone of complete mixing of both liquid metal layers [1]. Next significant technological parameter in forming the centrifugally cast castings is the metal mold revolutions and particularly important technological parameter turns out to be also the mass velocity of liquid metal pouring [1,2].

Publication [2] presents consideration and investigation of the technological process for vertical axis centrifugal casting of shaped bimetal castings. For the purpose there is developed a special design of the technological equipment which consists of centrifugal casting mold and installed in it top and bottom half-molds and a core of cast iron or ceramics. The technological parameters are defined for both types of melts and their forming. The temperature field of the casting and the contact zone of the two layers of melts is examined. The method of successive pouring of the melts is used for production of bimetal castings.

The results of the development have found practical application in the production of bimetal castings for rollers for pipe rolling.

In publication [3] mathematical model is developed and the temperature field is examined during crystallization of molten metal in centrifugal casting. This model is numerically solved by FEM in publication [4], where the effects of the casting temperature, casting time, coating thickness and the heat transfer at the casting inner surface are studied. The results obtained are: casting temperature variation in technological interval; with increase of the casting time the defect affected zone decreases; with decrease of the coating thickness the casting quality may be improved; appropriate combination of casting rate and the boundary condition at the casting free surface may also improve the cast metal quality; the solidification technological process should not allow liquid zones to close.

Publication [6] presents technological experimental investigation by digital camera of the filling and solidification process of long pipe castings in centrifugal casting. There is recorded: melt pouring and movement in longitudinal and radial directions during the mold filling process; the data obtained are used to reveal the relations between the mass velocities of melt casting and pouring in the mold. The accumulated experience in the institute proved in publication [6] shows the technological requirement for the importance of the thermal condition of the first liquid layer (height 1mm) at the end of its filling i.e. not to permit solidification of this layer before pouring of all the melt. In that way in publication [5] a 3D mathematical model of problem of Stefan's type is solved by FEM for the case of long pipes centrifugal casting. Melt cooling is studied during the process of its pouring on the mold working surface. The melt thickness in the mold is calculated in function of the flow rate.

A summary of the reviewed investigations and obtained results we suggest in the following form:

I*a*. Centrifugal casting of poly-metal (bimetal) castings: mold temperature; solidified layer temperature (substrate); casting temperature of the next metal melt; rate of its pouring; besides heat transfer at the above boundary conditions here there is also heat transfer between two metals of the casting, subsequent solidification process, processes of crystallization, directional crystallization, diffusion bonding of the two layers, diffusion temperature above the recrystallization temperature, formation of mixed crystals and intermetallic phase;

II. Directional (technological) solidification: provokes thermal centers (or risk zones of defect formation);

II*a*. Assessment of the boundary condition – casting/mold: solidification which does not permit thermal sites closing (defect zones);

III. Crystallization – local conditions for obtaining the casting work structure;

IV. Thermotechnics solution: thermotechnics mold design which ensures the non stationary process of directional solidification at minimum number of feeders i.e. in the centrifugal casting minimum additional casting dimensions;

V. Centrifugal casting management for realization of the directional crystallization: definition of the impact parameters.

The so determined groups of connected processes are result of precise fundamental investigations. Currently we have accurate technological studies of the solidification by macro and microstructure examinations, but the development of new materials or alloys is performed in fundamental investigations.

For better visualization in Fig.1 we present the important processes of the centrifugal casting during bimetal casting production according to publication [1]

It follows from Fig. 1, that it is necessary to accumulate experimental data for every concrete technology, geometry and material. In order to facilitate the investigation process these data should be analyzed by the methods of mathematics and physics. On the basis of the obtained results mathematical interdisciplinary models are developed through which the technological information could be obtained with better probability.

For instance, for the bimetal castings the condition (II in Fig.1 *a*) is modeled by the position of the two-phase zone during the second layer formation – that is shown here in Fig. 2 according to

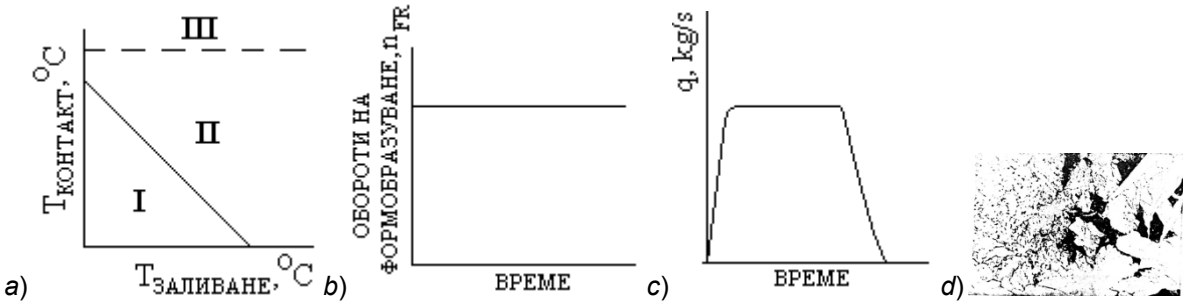


Fig. 1 The technological parameters in centrifugal casting of bimetal castings a) linear function – $T_{CONTACT.}(T_{POURING.})$, I – no alloying, II – partial fusion and production of good quality reliable bond, III – complete mixing of the two liquid layers; b) revolutions of forming; c) pouring mass velocity; d) final result – metallographic picture in the contact zone.

publication [2]. The two-phase (grey) zone is a generalization of the interdisciplinary presentation of processes **from I to III in the thermotechnics solution IV**. The **control V of the solidification thermal process** requires stochastic (probability in time) mathematical models. For that reason the grey zone is still good but only qualitative and not quantitative solution. It is necessary to note here that an open thermodynamic system has to be described connected with their specific mathematical description for generalization. Therefore, the engineering solution of any casting technology is connected with a large concrete volume of information. This information enters the problems of Stefan's type together with the operational information about the casting life in actual conditions. **Thermotechnics solution according to** [2].

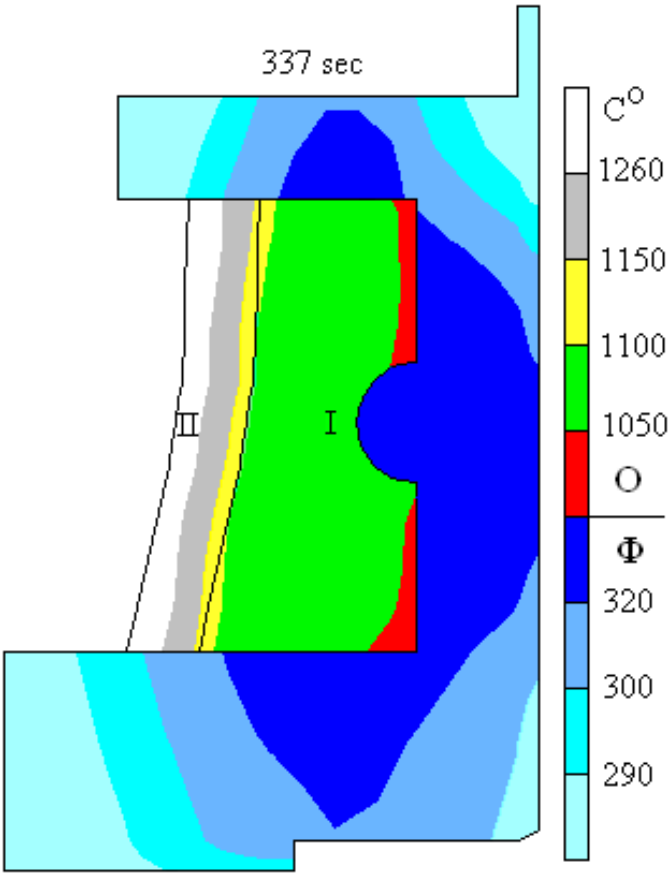


Fig. 2 Position of the two-phase (grey) zone in the volume of the IInd layer in relation to the contact surface I/II layer.

The presented up to here generalization adds in a natural way in the investigation in publication [7], where database is constructed for simulation of the processes of gear wheels thermal treatment. This methodology corresponds exactly to the above presented groups of processes. Therefore, for

maximum facilitation of the process of casting technology development it is necessary to elaborate a base of fundamental data. These data are generalized by mathematical interdisciplinary models – the problems of Stefan's type, by which the technological information for elaboration of the concrete **thermotechnics solution IV and its control V** could be obtained with better probability.

3. CONCLUSION

For the production of good quality reliable bond between two metals in poly-layer castings it is necessary to accumulate fundamental database for engineering casting solution.

REFERENCE

1. Valkov V., I. Georgiev. Proc. "Second Youth School with International Participation: **Modern technological achievements in foundry production:**", 21 – 23 October. **1987**, Golden Sands, Varna, Bulgaria, p. 1-9. (In Bulgarian)

2. Georgiev I., V. Valkov, S. Bushev, N. Stoichev, M. Dimitrov. XIV National Foundry Conference with International Participation „ **METALOLEENE 08**", 29-30.05.**2008**, Lovech, Bulgaria, p.47-50. (In Bulgarian)

3. V. Valkov, V. Manolov, I. Georgiev, A. Yotova. Tehnicheska Misal, 1996,v.3, 74- 80. (In Bulgarian)

4. Yotova A., I. Georgiev, V. Manolov, V. Valkov, Proc. Second International Congress "**Mechanical Engineering Technologies'99**", September 16-18.**1999**, Sofia, Bulgaria, v.5, p.47-50. (In Bulgarian)

5. Valkov V., I. Georgiev, S. Bushev, M. Dimitrov, N. Stoichev. 25 Anniversary Scientifically Conference International Participation **MTF'2007**, 14-16 September **2007**, Sozopol, Bulgaria, v.1, p. 94-99.

6. Valkov V., I. Georgiev, S. Bushev, M. Dimitrov, N. Stoichev. 25 Anniversary Scientifically Conference International Participation **MTF'2007**, 14-16 September **2007**, Sozopol, Bulgaria, 2007, v.1, p.100-104.

7. Shichino H., Komatsu. Technical, Report, **2005**, vol. 51, No.155, p.1-9.

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof. Ph.D. Stefan BUSHEV,
Assoc. Prof. Ph.D. Ivan GEORGIEV
Institute of Metal Science "Acad. A. Balevsci",
1574 Sofia, 67 "Shipchenski prohod" str., Bulgaria
e-mail: stbushev@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

EFFECT OF KIND OF TECHNOLOGICAL TEST ON DETERMINATION OF HOT CRACKING SUSCEPTIBILITY OF CASTING ALLOYS

Roumen PETKOV Kiril GELEV

Hot cracking tendency is an important characteristic of casting alloys. This paper deals with effect of kind of technological test on determination of hot cracking susceptibility of casting alloys.

This investigation shows that ring technological test with hard sand cores, developed in UCTM – Sofia give a most propriety results in comparison with the test with metallic cores. The hot cracking susceptibility of alloy AlSi8Cu2 comparing two technological tests is investigated in the work.

Key Words: *hot cracking, casting alloys, technological tests.*

ВЛИЯНИЕ НА ВИДА НА ТЕХНОЛОГИЧНАТА ПРОБА ВЪРХУ ОЦЕНКАТА НА СКЛОННОСТТА НА ЛЕЯРСКИТЕ СПЛАВИ КЪМ ГОРЕЩИ ПУКНАТИНИ

Румен ПЕТКОВ Кирил ГЕЛЕВ

Резюме: *Най-често за определяне на устойчивостта на леярските сплави към горещи пукнатини се използва т.н. пръстеновидна проба. Но поради използването на метални сърца тази проба дава една комплексна оценка за склонността на сплавите да образуват пукнатини изобщо. В ХТМУ-София е разработена алтернативна технологична проба, осигуряваща условия за образуване на горещи пукнатини. В настоящата работа е извършено сравнително изследване на пукнатиноустойчивостта на сплав AlSi8Cu2 с помощта на двете технологични проби.*

Ключови думи*: горещи пукнатини, леярски сплави, технологични проби.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В леярското производство поведението на металните стопилки от металургичния процес на приготвянето им до заливането на леярската форма и формирането на отливката в нея се намира под влиянието на сравнително голям брой явления и зависи от разнообразното им взаимодействие. Поради това, в общият случай се оказва невъзможно само въз основа сведенията за физичните свойства на метала да се разработи надеждна технология както по отношение на процеса на топене и разливане на сплавта, така и по отношение формирането на отливката - т.е. процесите на кристализация и втвърдяване. Във връзка с това е необходимо да се определят и изучават леярските свойства на сплавите, които непосредствено характеризират поведението им по време на целия технологичен процес – от приготвяне на метала до втвърдяването на отливката.

Леярските или казано по друг начин - технологичните свойства на металите и сплавите се определят с помощта на специални проби. Разработването на тези проби и методиката на тяхното използване са едно от важните направления на научните изследвания в областта на леярското производство

Понастоящем най-често определяните леярски свойства са тънколивкост, обемно, линейно и леярско свиване, и склонност към образуване на горещи пукнатини (пукнатиноустойчивост). В много случай е необходимо да се познават още възможността за разтваряне на газове и тяхното съдържание, замърсяването с неметални включения, макро- и микроструктурата на отливките, ликвационните явления и др.п.

2. СЪЩНОСТ НА ПРОБЛЕМА И МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ

При изучаването на процесите на линейно свиване и възникващите, поради него напрежения и деформации в отливките е установено, че тези явления започват проявлението

си при температури, по-високи от температурата на солидуса. Температурният интервал от температурата, при която започва линейното свиване до температурата на солидуса е прието да се нарича ефективен интервал на кристализация. Стойността на линейното свиване в този интервал сравнително малка – 0.1-0.2%. Но и механичните свойства на метала, намиращ се при тези температури и е в двуфазно състояние са много ниски – якостта на опън е от порядъка на 1-2 MPa, относителното удължение – десети от процента. Следователно ако линейното свиване в ефективния интервал на кристализация се окаже по-голямо от сумата на еластичната деформация и относителното удължение, то в резултат ще настъпи разрушаване. Характерна особеност на това разрушаване е, че то протича по границите на зърната, вследствие на което повърхността, по която е протекло разрушаването е неравна и по нея могат да се забележат подаващи се кристали и дендритни разклонения. Подобен вид разрушаване е прието да се нарича гореща или кристализационна пукнатина. [1]

В реална обстановка процеса на образуване на горещи пукнатини се усложнява от обстоятелството, че отливката се охлажда неравномерно – поради различната интензивност на топлообмена, температурата в отделните зони на отливката е различна. Ако тази температурна разлика във втвърдяващата се отливка е съпоставима със стойността на ефективният интервал на кристализация ще се получи локализация при протичане на линейното свиване – то ще се съсредоточи в зоната с по-висока температура, където и механичните свойства на метала са по-ниски. В резултат местната деформация, поради съсредоточаване на свиването може да достигне няколко процента. Доколкото кристализацията в тази зона още не е завършила, а якостта и пластичността на метала са ниски, то в нея неизбежно ще възникне гореща пукнатина. [1]

Така, че в крайна сметка вероятността за появата на горещи пукнатини се определя от една страна от големината на ефективния интервал на кристализация – колкото е по-голям, толкова е по-вероятна появата им, и от друга страна от условията на охлаждане на отливката – колкото по-неравномерно е охлаждането, толкова по-вероятно е образуването на пукнатините.

Определянето на склонността на сплавите да образуват горещи пукнатини се определя с помощта на технологични проби, които представляват леярски форми, в които свиването е силно затруднено. [2]

Известни са няколко варианта на конструктивно оформяне на тези проби, като една от най-често използваните в практиката е пръстеновидната проба, разработена от С.И.Спекторова. Пробата представлява пясъчна форма за цилиндрична пръстеновидна отливка с външен диаметър 108 мм и дебелина 5 мм. Вътрешният диаметър се оформя с помощта на метални сърца и е променлив – от 30 до 100 мм, като препоръчителната стъпка за изменението му е 2,5 мм. При това ширината на пръстена се изменя от 39 до 4 мм. Металните сърца са неподатливи, възпрепятстват свиването и създават условия за възникване на пукнатини. Те се появяват в пробите с по-малка ширина на пръстена и обикновено се локализират в зоната около питателя. Понякога за да се създаде по-ясно изразена последователност на втвърдяването в пробата и по-сигурно локализиране на пукнатината около питателя, диаметрално срещу него се поставя охладител. Като мярка за устойчивостта на сплавта към образуване на горещи пукнатини се използва най-малката ширина на пръстена, при която не се получава пукнатина, т.е. колкото по-малка е тя, толкова по устойчива срещу появата на горещи пукнатини е сплавта. [3]

По внимателния анализ на работата на тази проба показва, че използването на метални сърца е предпоставка за интензивно охлаждане на сплавта и бързо нарастване на твърдата кора по повърхността на отливката, което затруднява появата на горещи пукнатини. От друга страна неподатливите метални сърца, които в резултат на прогряването дори увеличават размерите си, интензивно препятстват свиването на пробата в твърдо състояние, което прави появата на студени пукнатини твърде вероятна. Следователно тази проба дава една комплексна оценка за склонността на сплавите да образуват пукнатини изобщо, но тя не позволява получаването на коректна оценка за склонността на сплавите към образуване само на горещи пукнатини.

В ХТМУ-София е разработена алтернативна технологична проба, осигуряваща по-ниска обща скорост на охлаждане на сплавта и добре изразена последователност на втвърдяването в посока областта на питателя. Като база за разработването е взета споменатата технологична проба на С.И.Спекторова, предвид нейната компактност и простота. Необходимите изменения в нея са свързани със осигуряването на по-ниска обща скорост на охлаждане на пробата и добре изразена последователност на втвърдяването в посока областта на питателя, което би осигурило изключително благоприятни условия за образуване и развитие на горещи пукнатини. За реализирането на тези условия е необходимо да се заменят металните сърца с пясъчни. Но основно изискване към тези пясъчни сърца е да притежават висока якост на натиск при нормална и повишена температура и да бъдат неподатливи. Тези свойства на формовъчните

смеси изобщо и в частност на сърцевите зависят главно от свързващото вещество. Това налага да се подбере подходящо за случая свързващо вещество.

Формовъчните глини осигуряват относително ниска податливост на смесите, но якостта на натиск , която те осигуряват – максимум 0.1 MPa ги прави неподходящи.

Органичните свързващи вещества – безир, ленено масло, синтетични смоли, придават висока относителна якост на смесите, но имат сравнително ниска термоустойчивост, бързо деструктират при повишени температури и правят смесите податливи, следователно и те са неподходящи.

Водното стъкло придава на смесите висока якост на натиск при стайна температура, но е с относително ниска термоустойчивост – омеква при температури от порядъка на 500-600°C, в резултат на което якостта на сместа рязко се понижава.

Като подходящи за случая свързващи вещества, с които би могло да бъдат удовлетворени поставените изисквания към сърцата могат да се посочат цимент и гипс. Като предпочитание би трябвало да се отдаде на цимента, предвид по-високите якост и термоустойчивост, които придава на смесите, както и липсата на фазови промени с повишаване на температурата. Негов недостатък е значително по-продължителният процес на втвърдяване в сравнение с гипса.

Целта на настоящата работа е да се извърши сравнително изследване на пукнатиноустойчивостта на сплав AlSi8Cu2 с помощта на двете технологични проби.

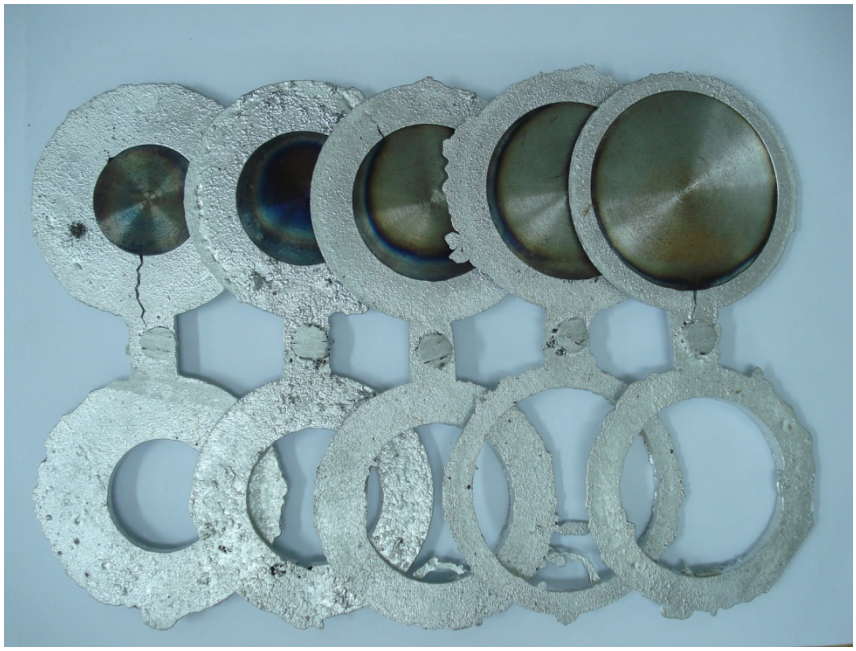
Избора на посочената сплав, използвана в изследването е продиктуван от обстоятелството, че тя е една от най-често използваните сплави от групата на силумините, при нея пониженото съдържание на силиций и допълнителното легиране с мед осигуряват сравнително високи механични показатели, но това е за сметка на известно влошаване на технологичните свойства – наличието на интервал на кристализация води до влошаване на тънколивкостта, и повишаване на склонността към образуване на горещи пукнатини в отливките.

За осъществяване на изследването е използвана пръстеновидната технологична проба, в която са използвани метални (стоманени) и съответно неподатливи пясъчни сърца, изработени с алуминатен цимент с диаметри от 50 до 90 мм през 10 мм, при което ширината на пръстена се изменя от 9 до 29 мм през 5 мм..

Изследването се провежда като се отлива серия пръстеновидни отливки с различна ширина при използване на метално и пясъчно сърце – фиг. 1, след което се определя пръстена с най-малка ширина, при който липсва пукнатина. Температурата на леене на сплавта е поддържана постоянна – 750°C.

3. РЕЗУЛТАТИ

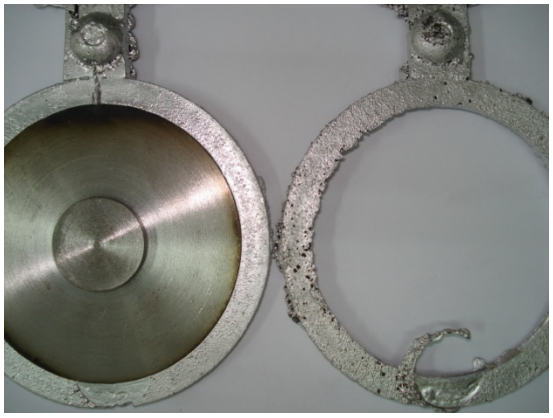
Резултатите от изследването са показани в Таблица 1 и на фиг. 2 – фиг. 6.



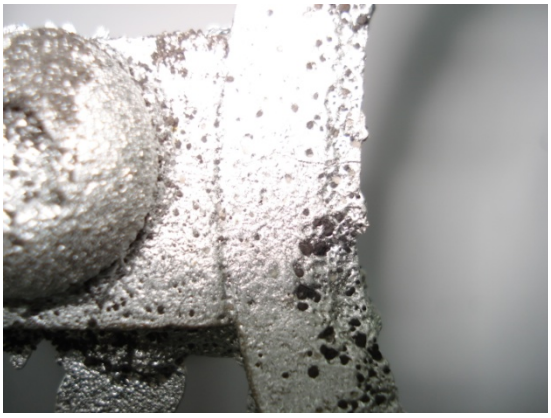
Фиг. 1. Пробни отливки

Таблица 1 Наличие на пукнатини в пробните отливки

Ширина на пръстена/ диаметър на сърцето	Наличие на пукнатини	
	Проба с метално сърце	Проба с пясъчно сърце
9 / 90	да	да
14 / 80	не	да
19 / 70	да	да
24 / 60	да	не
29 / 50	да	не



Фиг. 2. Проби с ширина на пръстена 9 мм



Фиг. 2а. Пукнатина, получена при ширина на пръстена 9 мм и пясъчно сърце



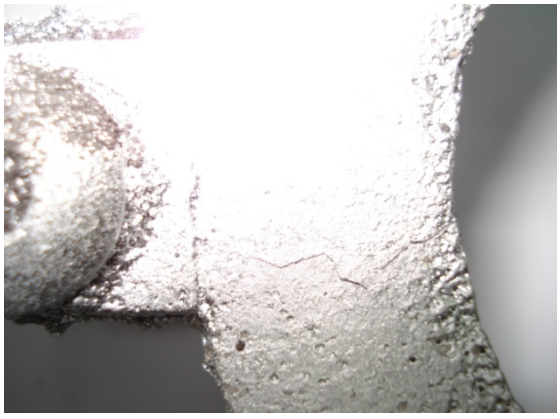
Фиг. 3. Проби с ширина на пръстена 14 мм



Фиг. 3а. Пукнатина, получена при ширина на пръстена 14 мм и пясъчно сърце



Фиг. 4. Проби с ширина на пръстена 19 мм



Фиг. 4а Пукнатина, получена при ширина на пръстена 19 мм и пясъчно сърце



Фиг. 5. Проби с ширина на пръстена 24 мм



Фиг. 5а. Пукнатина получена при ширина на пръстена 24 мм и метално сърце



Фиг. 6. Проби с ширина на пръстена 29 мм

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализът на получените резултати показва, че оценката на устойчивостта на използваната в изследването сплав чрез двете технологични проби е коренно различна.

Оценката на пукнатиноустойчивостта, извършена с технологичната проба с пясъчни сърца показва, че горещи пукнатини са образувани в пробите с ширина на пръстена от 9 до 19мм. Най-малката ширина на пръстена без поява на пукнатина е 24 мм, което означава, че изследваната сплав AlSi8Cu2 има сравнително добра устойчивост срещу формиране на горещи пукнатини.

При технологичната проби с метални сърца оценката се оказва невъзможна, тъй като пукнатина липсва само в пробата с ширина на пръстена 14 мм. Във всички останали случаи – както при пръстена с по-малка ширина – 9 мм, така и в пръстените с по-голяма ширина – 19, 24 и 29 мм са се образували пукнатини.

От това следва заключението, че пробата с пясъчни сърца дава възможност за по-коректна оценка на устойчивостта на сплавите към образуване на горещи пукнатини, освен това тя дава възможност безпроблемно да се изследва поведението в това отношение на чугуни и стомани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пикунов, М.В. *Плавка металлов, кристализация сплавов, затвердевание отливок*, Москва, МИСИС, **2005**.
2. Гуляев, А.П. *Теория литейных процессов*, Ленинград, Машиностроение, **1976**.
3. Курдюмов, А.В., М.В.Пикунов, В.М.Чурсин. *Литейное производство цветных и редких металлов*, Москва, Металлургия, **1982**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доцент д-р инж.Румен ПЕТКОВ
маг. инж. Кирил ГЕЛЕВ - докторант
Химикотехнологичен и металургичен университет – София
1756 София бул. „Св. Климент Охридски” №8
Факултет по металургия и материалознание
e-mail: cast_rum@uctm.edu

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

COATINGS FOR V–PROCESS

Rangel RANGELOV Krum PETROV Petar DOBREV Kiril PASHEEV

Abstract: *There are developed different alcohol based coatings based on polyvinylbutyral. There is investigated the influence of various coatings on the surface up of aluminum alloy castings. There is received such a coating composition which ensures obtaining castings with high accuracy and smoothness of surfaces without the use of fine sand in the development of the vacuum form.*

Keywords: *burnt-on sent, coating, V-process.*

ПРОТИВОПРИГАРНИ ОБМАЗКИ ЗА ВАКУУМНО ФОРМОВАНЕ

Рангел РАНГЕЛОВ Крум ПЕТРОВ Петър ДОБРЕВ Кирил ПАШЕЕВ

Резюме: *Разработени са различни спиртни обмазки на базата поливинилбутирал. Изследвано е влиянието на различните състави обмазки върху повърхнината на отливки от алуминиеви сплави. Получен е такъв състав обмазка който гарантира получаването на отливки с висока точност и гладкост на повърхнините без използване на ситен пясък при изработването на вакуумираната форма.*

Ключови думи: *пригар, противопригарна обмазка, вакуумно формоване.*

1. ОБЩИ СВЕДЕНИЯ ЗА ПРИГАРА

Пригарът представлява плътно прилепнал слой от формовъчни материали, който се образува при взаимодействие на метала с леярската форма. Неговата дебелина може да достигне 30-40 mm.

В таблица 1 е дадена класификация и начините за отделяне на пригара.

Таблица 1 Класификация на пригара

Оценка на пригара по повърхността на отливката	***Начин на отделяне на пригара***
Много силен пригар	***Не се отделя с пневматичен секач***
Силен пригар	***Трудно се отделя с пневматичен секач***
Среден пригар	***Отделя се с пневматичен секач, повърхността на отливката е с метален блясък***
Слаб пригар	***Отделя се с ръчен секач, а повърхността получава метален блясък***
Без пригар	***Слой от формовъчната смес отделяща се от отливката чрез удари е чук***
Чиста повърхност	***Блестяща повърхност на отливката, без следа от формовъчни материали***

За да се получи пригар е необходимо течният метал или продуктите от неговото взаимодействие с формовъчната смес да проникнат в порите на леярската форма на

дълбочина по-голяма от радиуса на пясъчните зърна. Според характера на спойката между зърната на прилепналата смес, пригарът бива 3 вида: - механичен, - химичен, - термичен [1,2].

- Механичен пригар - образува се в резултат от проникване на течния метал в порите на формата.
- Химичен пригар - образува се при химично взаимодействие, като преобладава схващането, че със сместа взаимодействува не металът, а неговите окиси, образуващи се на повърхността на отливката. Смята се също, че химичният пригар продължава да се образува дори и при температура 800°C, т.е. докато повърхността на втвърдяващата се отливка престане да се окислява.

Термичен пригар - характеризира се с това, че при него свързването на пясъчните зърна в монолитна маса става без прякото участие на стопилката. В този случай спойката се създава от леснотопими съединения, образуващи се при високи температури в резултат на реакциите, които протичат между компонентите на формовъчната смес. Термичният пригар не е здраво свързан с отливката и се отделя от нея без особени усилия. Най-често той оформя външния слой на кората на механичния или химичния пригар.

2. ПРОТИВОПРИГАРНИ ОБМАЗКИ (ПОКРИТИЯ)

Противопригарните покрития се нанасят [3,4] по повърхността на формите и сърцата, за да се намали или въобще да не се образува пригар, като по този начин се гарантира получаването на чисти и гладки повърхнини на отливката. По отношение на различните покрития се предявяват следните общи изисквания:

Покритията да са с голяма топлоустойчивост. Това се отнася особено при леене на черни метали и сплави, при леене на дебелостенни отливки и др.

Покритията да са със сравнително голям коефициент на топлопроводност, за да може бързо да се отвежда топлината от граничните слоеве, по-бързо да се образува втвърдена кора от отливката и по такъв начин да се намалява времето за контакт на течния метал и формата.

Втвърденото покритие да е с достатъчна дебелина, за да може изцяло да покрие микро и макро грапавините на формата. Освен това по-дебелите слоеве са с по-голяма якост и в по-голяма степен издържат на хидравличните натоварвания.

Противопригарните покрития да имат слаба умокряемост от стопилката, което спомага за намаляване на химичното и механичното взаимодействие на слоя с метала и за предотвратяване на преваряването на покритието към отливката.

Слоят да е с достатъчна механична якост, за да понесе хидравличното натоварване на стопилката, особено в недостатъчно уплътнените зони на формата, където е възможно да навлезе метал и да се образува пригар.

Суспензията да е с добра умокряща способност, за да се разстила лесно и да прониква по-дълбоко в порите на формата, за да се създаде здрава връзка.

При избор на противопригарно покритие е необходимо предварително да се определи най-важното изискване към него за конкретния случай и да се избере покритието, което максимално го удовлетворява, без да се нарушават съществено другите му свойства. Крайният избор се извършва след изпитване на противопригарност.

Противопригарните покрития се състоят от огнеупорна основа (пълнител), разтворители, стабилизатори, свързващи вещества.

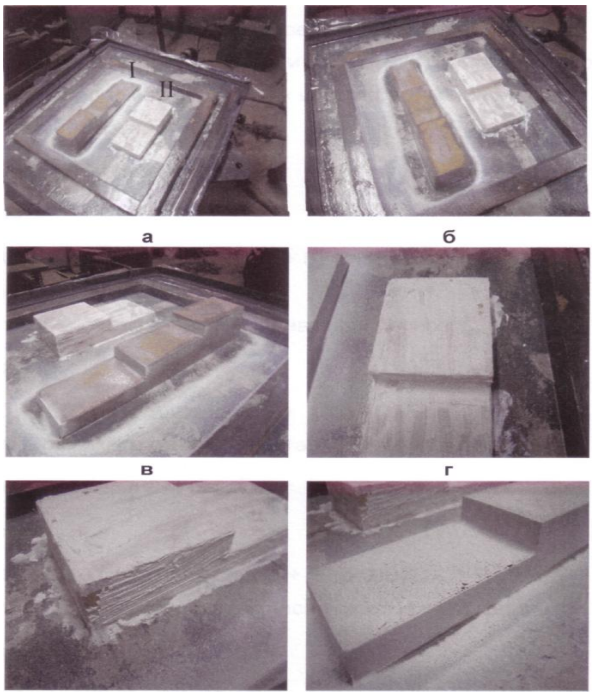
3. ОСОБЕНОСТИ ПРИ ИЗРАБОТВАНЕТО НА ВАКУУМИРАНИ ЛЕЯРСКИ ФОРМИ

При заливането на вакуумираната леярска форма с течен метал в зоната на контакт между метала и формата получаването на газов филм (предпазващ от образуване на пригар) е невъзможно поради наличието на вакуум. За това при изработването на вакуумирани леярски форми се налага използването на праховидна фракция пясък за облицовка на модела с цел намаляване на пориозността на формата.

Целта на разработката е да се създаде такъв състав обмазка който да два достатъчна гладкост на лятата повърхнина без използването на фина прахообразна фракция пясък.

4. ЕКСПЕРИМЕНТИ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ КАЧЕСТВОТО НА ПОКРИТИЯТА

Към изпитана обмазка на базата на поливинилбутирал, аморфен силициев диоксид SiO_2 и спирт, първоначално се увеличи съдържанието на огнеупорния пълнител. Високата гъстота на обмазката не позволява да се нанесе с пневматичен пистолет, а само с четка. След изсушаване покритието се напуква и лесно отделя от фолиото (Фиг. 1).



Фиг. 1. Обмазки с високо съдържание на аморфен SiO_2

Изследвано е поведението при нанасяне и сушене на обмазки със следните съотношения между компонентите:

Състав - 10 g SiO_2 + 50 g етилов спирт + 8 g ПВБ + 1 g "Pur" (за подобряване на умокрянето).

Резултат: Обмазката е гъста и се напуква лесно.

Състав - 15 g SiO_2 + 50 g етилов спирт + 8 g ПВБ + 1 g "Pur".

Резултат: Обмазката е гъста и се напуква лесно.

Състав - 15 g SiO_2 + 50 g етилов спирт + 5 g ПВБ + 1 g "Pur".

Резултат: Покритието е слабо и лесно се отделя от фолиото.

Състав - 6g бентонит + 25g етилов спирт + 3g ПВБ.

Резултат: Обмазката е гъста и трудно съхнеща.

Състав - 5g бентонит + 30g етилов спирт + 7g ПВБ.

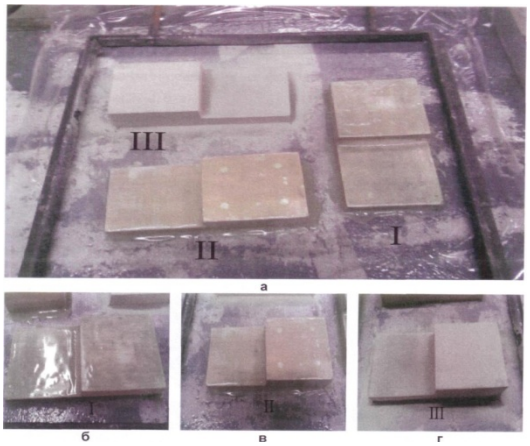
Резултат: Обмазката отново е гъста и трудно съхнеща.

Състав - от 1 до 6g бентонит + 20g разтвор на ПВБ в етилов спирт.

Резултат: Обмазката отново е гъста и трудно съхнеща.

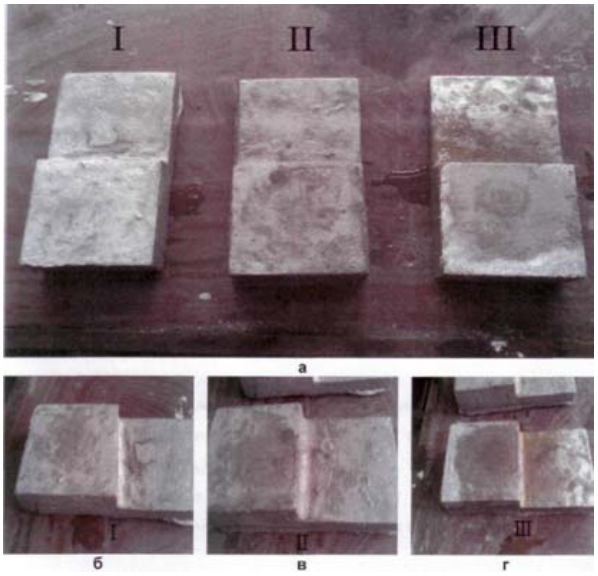
Състав - от 1 до 6g бентонит + 20g етилов спирт.

Резултат: От 1 до 5g бентонит, обмазката е с много слабо покритие, а при 6 гр бентонит се получава добра здравина на покритието.



Фиг. 2. Различни състави противопригарни обмазки нанесени върху полиетиленово фолио

Изследвано е поведението на три от изброените обмазки при заливане с алуминиева сплав. Две от тях са с ниско съдържание на бели сажди и високо съдържание на ПВБ – 5 и 10g аморфен SiO_2 + 10 g ПВБ + 20 g спирт, а третата – само бентонит и спирт. Получените резултати при нанасяне и сушене на обмазките са показани на фигура 2, а получените отливки на фигура 3.



Фиг. 3. Алуминиеви отливки, получени чрез вакуумно формоване и различни противопригарни обмазки

5. АНАЛИЗ И ИЗВОДИ

В резултат на проведените експерименти и анализ на получените резултата, могат да се направят следните изводи:

От изследваните в лабораторията по леене на ТУ - София състави за противопригарни обмазки се установи, че при високо количеството на ПВБ – от 10% нагоре, то не може да се разтвори изцяло от етиловия спирт. В обмазките се наблюдават зони с голяма концентрация на ПВБ и като цяло са с голям вискозитет. Нанасянето им е възможно само с четка. Не могат да се изсушат. В следствие на голямото количество ПВБ на повърхността на нанесената обмазка се образува плътен филм (ципа), който не позволява по-нататъшното изпаряване и отделяне на спирта. При интензивно нагряване с пистолет за горещ въздух за изсушаване на обмазките се образуват мехури (обмазката се надува), които спадат след охлаждане.

Високото количество на ПВБ в обмазките не позволява доброто им изсушаване и е предпоставка за отделяне на голямо количество газове при заливане с течен метал.

При изсушаването на обмазка, съдържаща само бентонит и спирт, с пистолет за горещ въздух се наблюдава здраво покритие, добре прилепнало към фолиото, с достатъчна дебелина гарантираща получаването на отливки с чиста повърхнина без използването на прахообразна фракция от кварцов пясък.

ЛИТЕРАТУРА

1. Длъгников, И. и др. *Покрития за леярски форми*. София, Техника, **1985**.
2. Дорошенко, С., В. Дробязко, К. Ващенко. *Получение отливок без пригара в песачаниых формах*. Москва, Машиностроение, **1978** г.
3. Оболенцева, Ф. *Точность и качество поверхности отливок*. Москва, Машиностроение, **1962**.
4. Пенчева, Т., М. Йоцова, Е. Георгиева. *Технология на машиностроителните материали*. София, Техника, **1990**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

гл.ас. д-р инж. Рангел РАНГЕЛОВ
Технически Университет - София, катедра „Материалознание и технология на материалите”
e-mail: rafo@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

TESTING OF METALOCERAMICS HARD ALLOYS TO RECURRENT ENDURANCE

Petko KANCHEV

Abstract: *Influence of magnetic – energizing treatment on strength of tiredness of powdermetallurgical hard alloys at recurrent loading after magnetic-energizing treatment has been studied.*

Key Words: *Sonic fatigue, sintered hard alloy, magnetic-energizing treatment, fatigue crack life.*

ИЗПИТАНИЯ НА МЕТАЛОКЕРАМИЧНИ ТВЪРДИ СПЛАВИ НА ЦИКЛИЧНА ДЪЛГОТРАЙНОСТ

Петко КЪНЧЕВ

Резюме: *Изследвано е влиянието на магнитно-енергийна обработка върху якостта на умора на праховометалургични металокерамични твърди сплави при циклични натоварвания след магнитно-енергийна обработка.*

Ключови думи*: циклическа дълготрайност, вибростенд, праховомета-лургични металокерамични твърди сплави, магнитно-енергийна обработка.*

1. УВОД

Изпитанието на умора е много по-чувствителен метод към изпитанията на параметрите на структурата на твърдите сплави, отколкото якостта на огъване и ударната жилавост [1,2]. Затова при изследване влиянието на механичните характеристики на сплавите, съществено внимание се отделя на изпитанията на умора. Следва да се отбележи, че цикличните Изпитания на умора, особено на такива крехки материали като твърдите сплави, се оказват много трудни и сложни. Както е известно [3], даже и при най-старателното изготвяне на пробните тела, се наблюдава голямо разсейване на резултатите, при всички равни условия на експериментиране. Това е следствие нееднородности, вътрешни дефекти и хетерогенността на структурата на твърдите сплави.

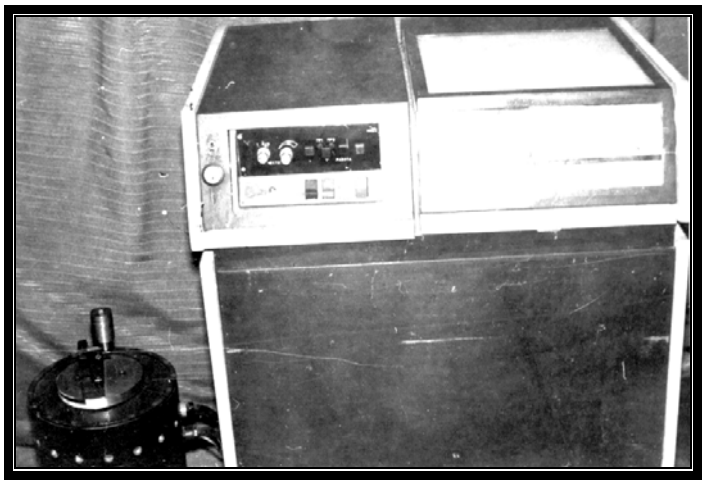
2. ОБЕКТ, МЕТОД И СРЕДСТВА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Експерименталните изследвания изискват при циклични изпитания на твърди сплави, да се експериментира с голям брой образци *(най-малко 10) и* следваща статистическа обработка на данните, без което резултатите няма да притежават достатъчна достоверност (БДС 5297-83). Изпитанията на умора са проведени на високочестотен стенд с електромагнитен преобразовател **"**ВИА-300" НПЛПМКМ-БАН, който е показан на фиг.1.

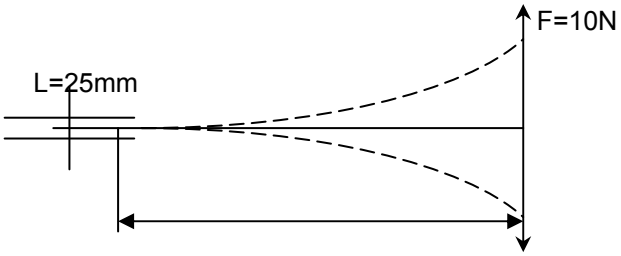
При експерименталните изпитания се осигурява натоварване на пробните тела последната схема. Схемата на циклични изпитания е съгласно БДС 5297-83 и напречно огъване в една равнина при конзолно натоварване на пробните тела е показана на фиг. 2.

Изпитанията на образците се извършва без прекъсване до пълно разрушаване при една и съща честота f = 30 Hz, амплитуда на ектромагнитния вибропреобразовател A = 2,5 мм, натоварване на пробното тяло P = 10 Nu приложено на L = 25 mm от неподвижния край.

Критерий за определяне на циклическата якост са времето за изпитание или броя цикли ***Nц*** на пробното тяло до разрушаването му.



Фиг. 1. Вибростенд за циклични трайностни изпитания и определяне границата на умора на материала "ВИА 300" НПЛПМКМ-БАН



Фиг. 2. Схема на циклични изпитания по БДС 5297-83

За изпитанията са използвани пробни тела с размери 5x5x35 mm с предварително лепинговани повърхности (сваляне на повърхностния дефектен слой).

За уверено разрушаване на образеца в зоната на захващането, където напреженията са максимални, сечението на образеца е отслабено с канал-концентратор с ширина 2mm и дълбочина 2mm.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИИ

Серия от образци, от металокерамични твърди сплави, са магнитно обработени в оптимално променливо синусоидално магнитно поле с напрегнатост ***H=10 кА/m,*** честота f = 3000 Hz и различно време за въздействие. Получените резултати са показани в табл.1.

От получените експериментални резултати, показани на табл. 1. и фиг.3 се вижда, че след МЕО при t = 45s цикличната якост нараства 80 %, след МЕО при t = 90s тя незначително се изменя в сравнение с необработени образци, а при магнитна обработка t = 2s тя намалява около 40%. Това се обяснява с по-дефектната изходна микроструктура на обработваните образци при t = 2s .

Установено е, че повишаването на твърдостта, якостта и цикличната дълготрайност на магнитнообработените металокерамични твърди сплави, са в резултат на фазовото превръщане от "мартензитен" тип β-Co(сцк)$\rightarrow$ α-Co(хпо) + WC и повишената твърдост и якост на феромагнитната свързваща фаза Co [4, 5].

След статистическа обработка на експерименталните данни на фиг.3. е показана кривата за логаритмично-нормално разпределение на циклическата дълготрайност в координатна система P_i ***- Lg N.***

Приблизителните значения на функцията на разпределението могат да бъдат определени по формулата от работа [6]:

$$P_i = \frac{i - 0{,}5}{n}, \qquad (1)$$

където: **P** - натрупана честота за всяко пробно тяло вариационния ред (с пореден номер **i** в реда); **n** - брой образци.

Таблица 1 Изменение на цикличната дълготрайност в зависимост от времето за магнитна обработка

	Без МЕО		**МЕО f~3000Hz t = 2s**		**МЕО f~ 3000Hz t = 45s**		**МЕО f~ 3000Hz; t = 90s**		**Pi**
	N	***LgN***	***N***	***LgN***	**N**	***LgN***	***N***	***LgN***	
1	10272	9,237	3504	8,162	20640	9,905	12397	9,425	0,025
2	11456	9,346	5024	8,522	22021	9,999	12993	9,472	0,075
3	13536	9,513	5952	8,691	24324	10,099	14553	9,586	0,125
4	15136	9,625	6304	8,749	26238	10,175	15009	9,616	0,175
5	15901	9,735	7424	8,912	27898	10,236	15392	9,642	0,225
6	17009	9,741	7712	8,951	30176	10,315	16004	9,681	0,275
7	17941	9,795	8103	8,999	31241	10,349	17564	9,774	0,325
8	18599	9,831	8512	9,049	32192	10,402	19738	9,890	0,375
9	18834	9,843	9568	9,166	33536	10,420	20144	9,909	0,425
10	19104	9,858	9790	9,189	34120	10,438	21030	9,954	0,472
11	19872	9,897	11680	9,366	35520	10,478	21733	9,987	0,525
12	20993	9,952	11803	9,376	36580	10,570	22374	10,016	0,575
13	21024	9,953	12567	9,439	37993	10,545	22394	10,017	0,625
14	22326	10,014	13096	9,480	40328	10,605	22338	10,058	0,675
15	23137	10,049	14238	9,546	41004	10,621	24493	10,106	0,725
16	24994	10,126	16211	9,693	42007	10,647	25904	10,162	0,775
17	25504	10,147	16288	9,698	48360	10,744	26203	10,174	0,825
18	26688	10,192	17802	9,878	48002	10,779	27309	10,215	0,875
19	26912	10,200	21216	9,963	50341	10,827	28032	10,241	0,925
20	27104	10,207	23136	10,049	59968	11,002	29971	10,308	0,975
	19867	9,863	11996	9,240	36064	10,455	20827	9,912	
	+4874	+0,268	+5066	+0,482	+9800	+0,276	+5140	+0,259	
	-5000	-0,275	-5197	-0,494	-10056	-0,283	-5274	-0,266	

От експерименталните данни са построени хистограмите на разпределение на броя цикли до разрушаване Nц на твърда сплав P25 при циклично натоварване с честота f = 30 Hz, A = 2,5mm и P = 10N на цикличната дълготрайност, които са показани на фиг. 4.

На фиг. 5 са показани структурите на ломовете на сплав P25 след изпитанието на цикпическа дълготрайност. От микрофотографиите се вижда, че ломът след МЕО-2s е най-едрозърнест и преобладават крехкосчупените транскристално карбидни зърна, което се вижда на фиг. 5 б. Структурата на лома при МЕО-45s е най-дребнозърнест и е с най-малко счупени карбидни зърна в сравнение с останалите ломове, което се вижда на фиг.5 в.

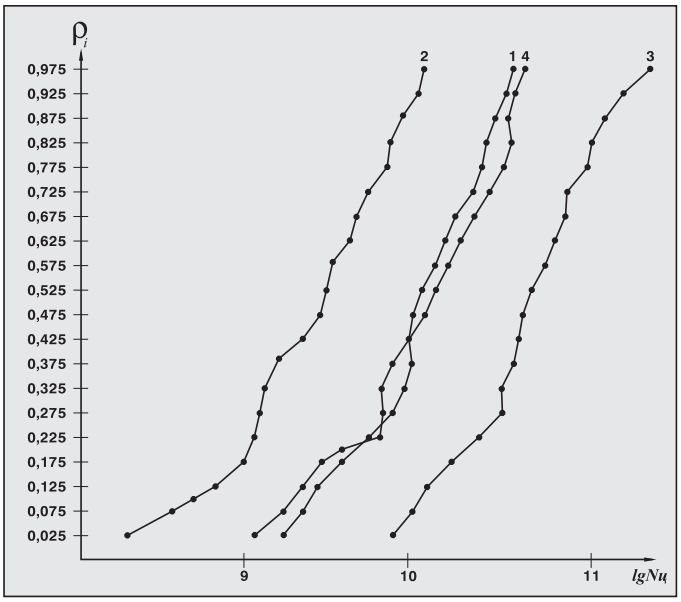
4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При реализирането на настоящата разработка са постигнати следните резултати:

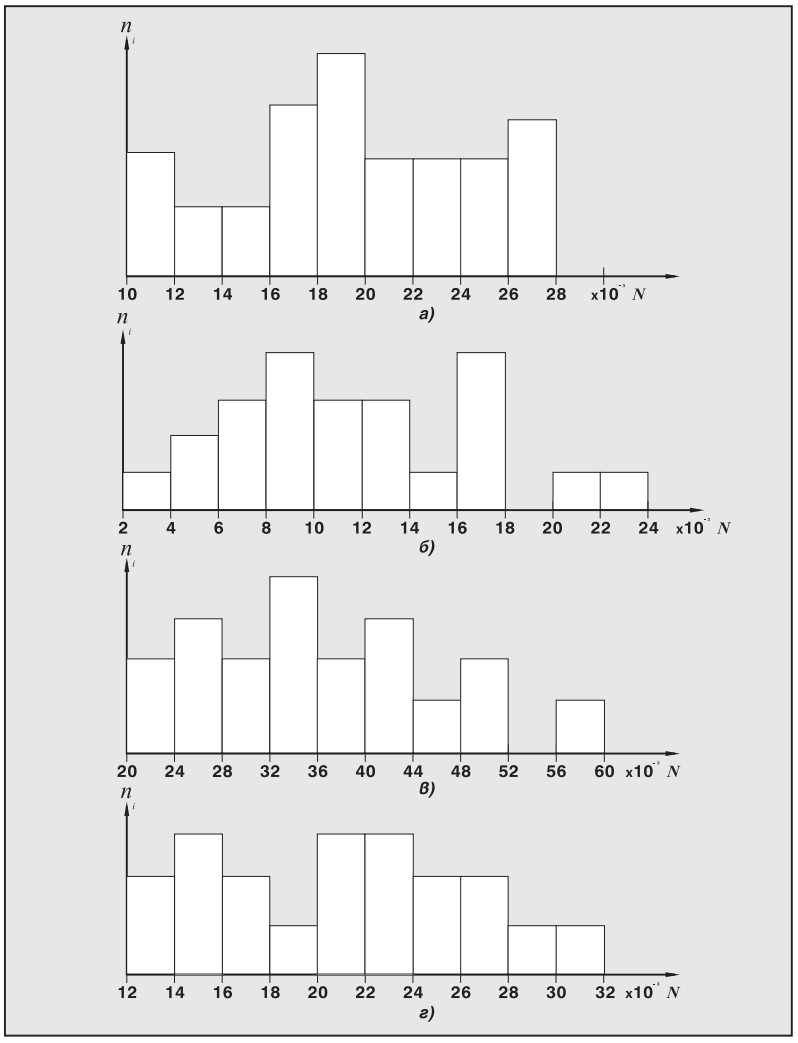
1. Уякчаването на твърдите сплави след магнитна-енергийна обработка има място само в определен интервал на параметрите на магнитното поле и зависи от химичния състав, микроструктурата и технологията на фирмата производител.

2. Установено е, че повишаването на цикличната дълготрайност на магнитнообработените металокерамични твърди сплави, са в резултат на фазовото превръщане от "мартензитен" тип β-Co(сцк)→ α-Co(хпо) + WC и повишената твърдост и якост на феромагнитната свързваща фаза Co.

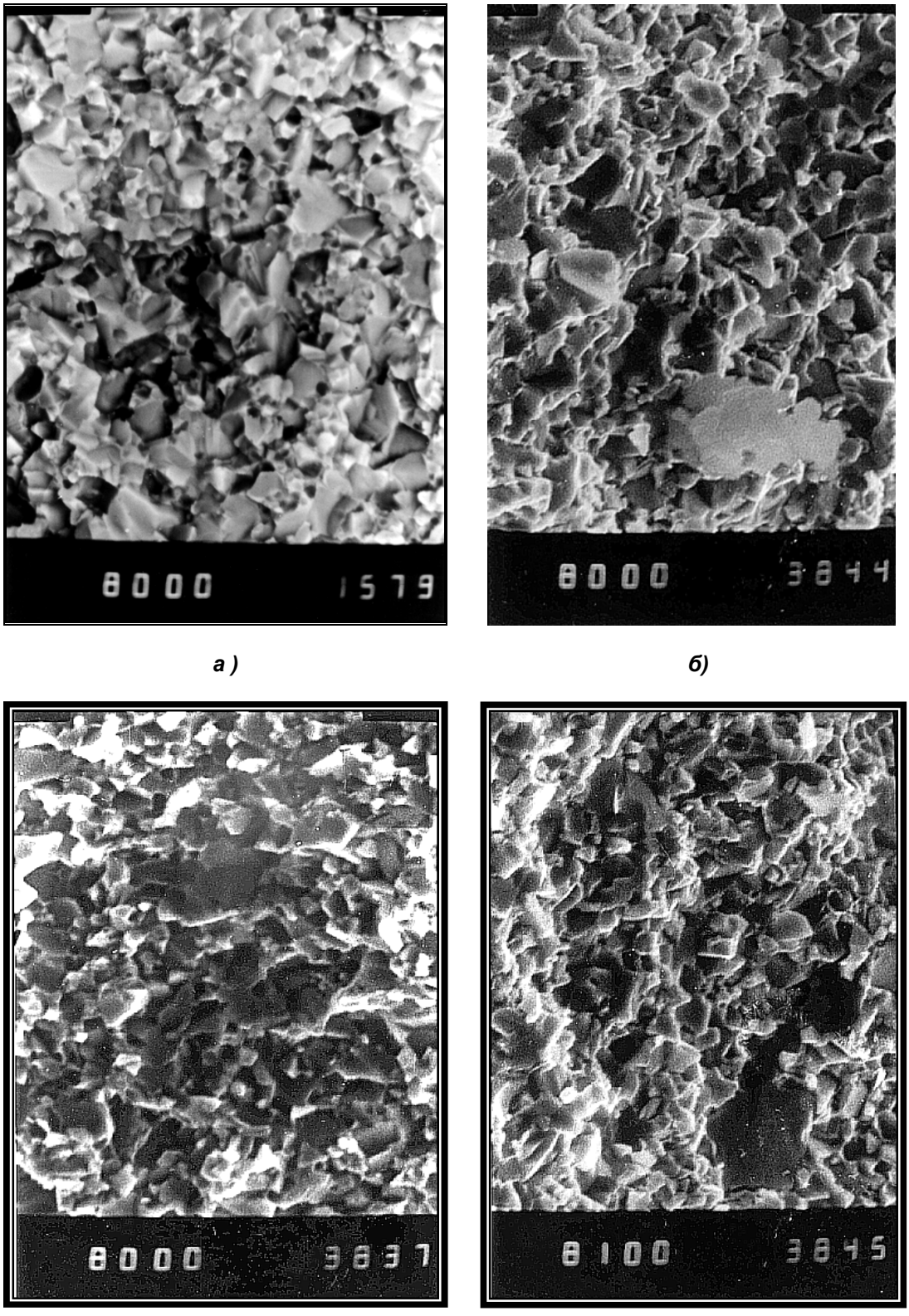
3. Изменението на цикличната дълготрайност в зависимост от времето за обработка добре корелират с изменението на физико-механичните и експлоатационните свойства.



Фиг. 3. Графични зависимости на криви на логаритмично-нормално разпределение на циклическата дълготрайност на твърда сплав Р25: 1 - еталон; 2 - МЕО в променливо поле Н=10 кА/m, f=3000 Hz и t = 2s; 3-МЕО – t =45s; 4 - МЕО t = 90s.



Фиг. 4. Графична визуализация на изменението на хистограми за разпределението на броя цикли до разрушаване Nц на твърда сплав Р25 а) еталон, б) след МЕО t = 2s, в) след МЕ0 t = 45s, г) след МЕО t = 90s.



а) *б)*

в) *г)*

Фиг. 5. Ломове на сплав Р25 след изпитания на циклическа дълготрайност в зависимост от времето за обработка: х 8000
а) - еталон; б) - МЕ0 t = 2s; в) МЕО t = 45 s; г) МЕО t = 90 s

ЛИТЕРАТУРА

1. Кацаров Ж., Т. Митева, П. Кънчев. *Относно някои резултати от изследването и внедряване на метода на магнитно-енергийна обработка на режещи инструменти*. III НТС, Варна, **1987**.
2. Креймер, Г. С. *Прочность твердых сплавов*. М., Металлургия, **1971**, с. 248.
3. Туманов, В. И. *Свойства сплавов системы карбид вольфрам-кобальт, титана-карбид, танталкобальт*. М., Металлургия, **1973**, с. 184.
4. Лошак, М. *Прочность и долговечность твердых сплавов*. Киев, Наукова думка, **1984**, с.329.
5. Doi, H. *Поведение твердых сплавов при деформации и механизм упрочнения*. - J. Jap. Soc. Powder Met., **1977**, 24, N2, p.33-42.
6. Вейбулл, В. *Усталостные испытания и анализ их результатов*.-М. : Машиностроение, **1964**.- с. 275.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Главен асистент, Петко КЪНЧЕВ
Катедра "Енергетика и машиностроене" при КЕЕ към Технически Университет - София
София -1000 бул. Кл.Охридски № 8, бл. 16
Технически университет
тел. 0895588594, 0887394314,
e-mail : kunchevpetko@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

EXAMINATION OF THE IMPACT OF THERMAL PROCESSING OF STEEL 38HC

Petko KANCHEV

Abstract: *The paper examined the influence of heat treatment on microstructure and mechanical properties of steel 38HC.*

Key Words: *steel 38XC, heat treatment, microstructure, mechanical properties, metallographic examination.*

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЛИЯНИЕТО НА ТЕРМИЧНАТА ОБРАБОТКА НА СТОМАНА 38ХС

Петко КЪНЧЕВ

Резюме: *В статията е изследвано влиянието на термичната обработка върху механичните свойства и микроструктурата на стомана 38ХС.*

Ключови думи: *Хромсилициевата стомана 38ХС, термична обработка, Механичните свойства, металографското изследване*.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Детайлът “Колянова ос” е важен елемент от ходовата част на военните бронемашини, произвеждани в специалното машиностроене във Военно-промишления комплекс. Той служи за оси на ролките, които обтягат и движат веригите на бронемашините. В експлоатационни условия “коляновата ос” работи при много сложни комбинирани опънови, натискови, огъващи и усукващи напрежения и поради тази причина здравината и якостта на този детайл е много важна и отговорна, според изискванията на Главния конструктор на военните верижни машини.

2. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО И ДИСКУСИИ

След задължителните изключително тежки и дълги контролни изпитания на 3738 km е предоставен за анализ разрушен детайл “колянова ос”.

2.1. Макроструктурен анализ

При проведения макроструктурен анализ, на представения дефектирал детайл, в Централната заводска лаборатория на Военно промишления комплекс, не са установени пукнатини и побитости по повърхнините на ломовете, които са показани на фиг.1.

Хромсилициевата стомана 38ХС се използва след нормализация, закаляване и отвръщане за изработването на отговорни детайли, работещи в условията на повишени напрежения и знакопроменящи се натоварвания, В подобрено състояние (закаляване и отвръщане) стомана 38ХС притежава висока якост при задоволителна жилавост, високо съпротивление на усукващи усилия и износоустойчивост. Хромсилициевата стомана е склонна към “крехкост при отвръщане” и нарастване на зърната при продължително нагряване. Стомана 38ХС е флокеночувствителна. Термичната обработка се заключава в следното:

1. Нормализация при 880 °С и охлаждане на въздух.
2. Закаляване при 900°С и охлаждане в машинно масло.
3. Отвръщане при 630 °С и охлаждане във вода.

Механичните свойства на хромсилициевата стомана 38ХС след стандартизираната термична обработка са:

1. Якостта на опън е над 96 кГ/мм²
2. Относителното удължетие е над δ = 12 %.
3. Относителното свиване е над ψ = 50 %.
4. Якостта на удар е над 7 кГм/см².
5. Твърдостта по Роквел е в интервала 38-42 HRC.



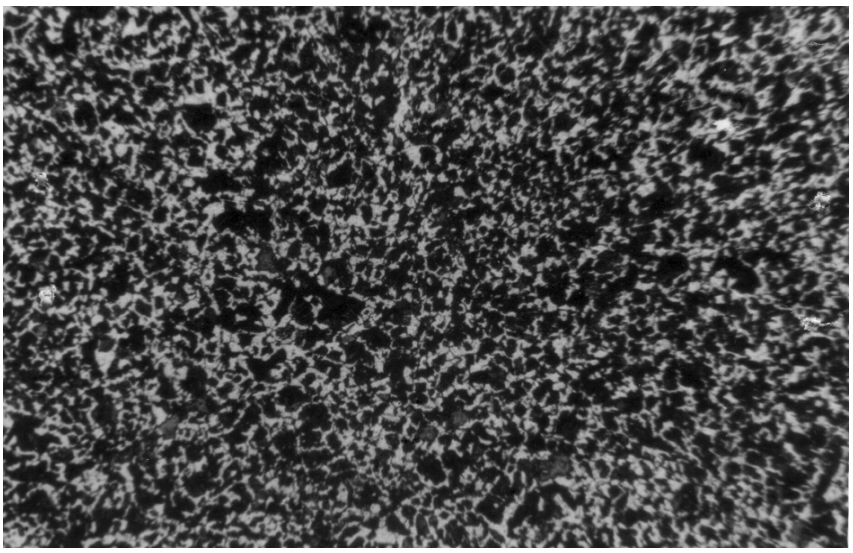
Фиг. 1. Дефектирал детайл "колянова ос" след дълги контролни изпитания на 3738 km

2.2. Металографски анализ

Направени са металографски анализ и механични изпитания на представения дефектирал детайл - "колянова ос".

За металографското изследване са изрязани металографски шлифове, напречно и надлъжно на установения дефект на "коляновата ос".

Микроструктурата на стомана 38ХС, след нормализация е ферито-перлитна, която е удовлетворителна и е показана на фиг.2.



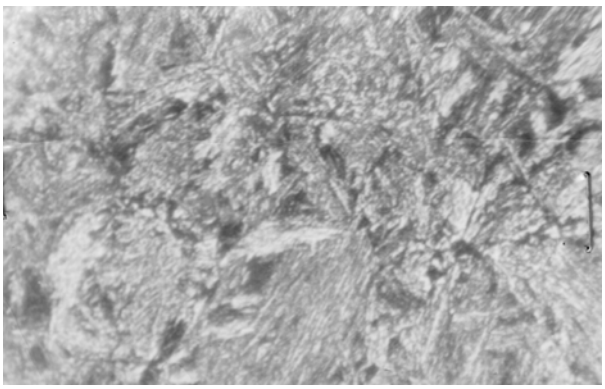
Фиг. 2. Микроструктурата на стомана 38ХС след нормализация, х100

Изследвана е повърхността на шлифовете за неметални включвания, при което се забелязва определена подреденост и ивичност на крехките неметални включвания, които са показани на фиг.3.

Микроструктурата на стомана 38ХС, след закаляване и отвръщане, е сорбито-трооститна с определени участъци пластинчат сорбит - леко уедрен, която е удовлетворителна и е показана на фиг.4.



Фиг. 3. Микроструктура с неметални включвания



Фиг. 4. Микроструктурата на стомана 38ХС след закаляване и отвръщане

2.3. Механични изпитания

Твърдостта по Роквел е в границите 42-47 **HRC,** при изисквания 40-47 **HRC.**

Механичните изпитания на твърдостта по Роквел **HRC** и якостта на удар **КС** са удовлетворителни и отговарят на изисквянията.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вероятна причина за разрушаването на дефектиралия детайл “колянова ос” са :

1. Наличието на подреденост и ивичност на крехките неметални включвания.
2. Микроструктурата е сорбито-троосититна с определени участъци пластинчат сорбит - леко уедрен, вероятно прегрята или удължено време за нагряване.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бучков, Д., М. Кънев. *Материалознание*. Техника, София, **1988**, с. 458.
2. Вейбулл, В. *Усталостные испытания и анализ их результатов*. М., Машиностроение, **1964**, с. 275.
3. Кудрявцев, И.В. *Материалы в машиностроении, том2, Конструкционная сталь*. М. Машиностроение,**1987**, с. 496.
4. Лахтин, Ю. М., А. Г. Рахщадт. Термическая обработка в машиностроении. М. Машиностроение, **1980**, с. 783.
5. Мосберг, Р. К. *Материаловедение*. Валгус, Таллин, **1976**, с. 358.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Главен асистент, Петко КЪНЧЕВ
Катедра “Енергетика и машиностроене” при КЕЕ към Технически Университет - София
София -1000 бул. Кл. Охридски № 8,
бл. 16 Технически университет,
тел. 0895588594, 0887394314,
e-mail : kunchevpetko@abv.bg

ВИРТУАЛНО ИНЖЕНЕРСТВО, CAD/CAM/CAE, RAPID PROTOTYPING & TOOLING, MEMS

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

PARAMETERS ANALYSIS OF PNEUMATIC VACUUM MECHANISM WITH MOVING CYLINDER

Georgi TODOROV Velichko PEIKOV Konstantin KAMBEROV Nikolay NIKOLOV Yinan LAI Ye DAI

Abstract: The presented study aims to overview the development a detailed simulation model for analysis of pneumatic vacuum mechanisms used for power tools – hammers – with moving cylinder. Developed simulation model has multiple parameters and the most important ones are examined and certain focus is set on masses of the acting bodies as well as of some parameters of the pneumatic chamber. The problematics are divided in two general directions – optimisation of mass proportions and otpimisation of pneumatic chamber. Future steps for optimisation are marked.

Key Words: *Powertools, Analysis, Virtual Engineering, CAD, CAE.*

АНАЛИЗ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ПНЕВМАТИЧНО-ВАКУУМЕН МЕХАНИЗЪМ С ПОДВИЖЕН ЦИЛИНДЪР

Георги ТОДОРОВ Величко ПЕЙКОВ Константин КАМБЕРОВ Николай НИКОЛОВ Инан ЛАИ Йе ДАЙ

Резюме: *Представеното изследване цели да направи преглед на изграждането на детайлен симулационен модел за числен анализ на пневматично-вакуумни механизми, използвани за ръчни електроинструменти – къртачи – с подвижен цилиндър. Развитият симулационен модел притежава множество параметри, като разглеждането е фокусирано към по-важните от тях – маси на активните тела и параметрите на пневматичната камера. Изследването е ориентирано в две основни направления – оптимизация на пропорцията на масите и оптимизация на пневматичната камера. Маркирани са бъдещи стъпки за оптимизация.*

Ключови думи: *Ръчни електроинструменти, анализ, виртуално инженерство, CAD, CAE.*

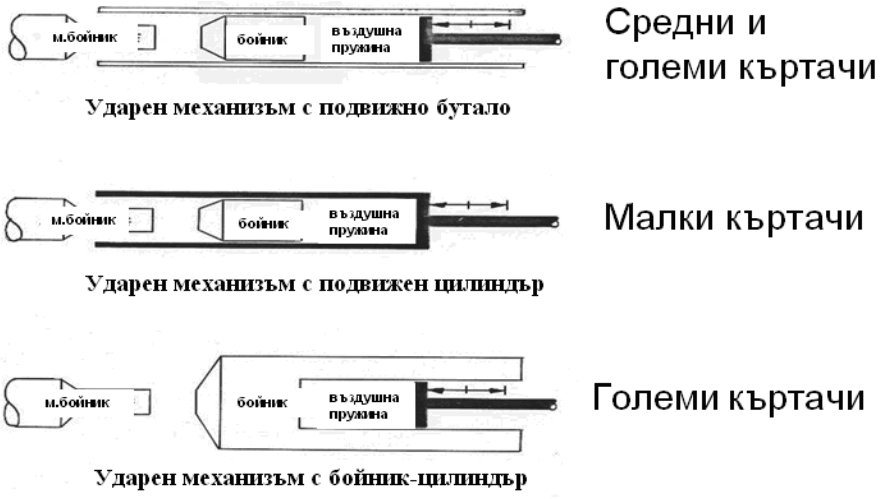
1. УВОД

Ударните (къртачи) и ударно-пробивните (перфоратори) електроинструменти са широко разпространени в строителството и при ремонтни дейности. В повече от 95% от тях генерирането на удара става посредством пневматично-вакуумни ударни механизми, които се явяват основен компонент на този тип машини [3]. Задвижването на ударните електроинструменти се осъществява от електродвигател, който посредством зъбни предавки и механизъм за преобразуване на въртеливото движение във възвратно-постъпателно задвижва пневматично-вакуумният ударен механизъм. Конструкцията и методите за изчисляване на този тип механизми е ноу хау на фирмите произвеждащи ударни и ударно-пробивни машини. По тази причина е трудно намирането на литература или публикации на тази тема. Голяма част от публикациите са на тема изследване на вредните вибрации, влиянието им върху здравето на оператора и средства за тяхното минимизиране. Съществуващата литература описва предимно принципите на действие, но не и методите за изчисляване и оптимизиране на параметрите на пневматично-вакуумните ударни механизми [1], [4], [5].

За оценка на използваните пневматично-вакуумни ударни механизми и приложимостта им в различните класове машини е направено проучване на предлаганите на пазара ударно-пробивни електроинструменти на водещи производители. Друг източник на информация за конструкцията и принципа на действие на използваните пневматично-вакуумни ударни механизми е проучване на

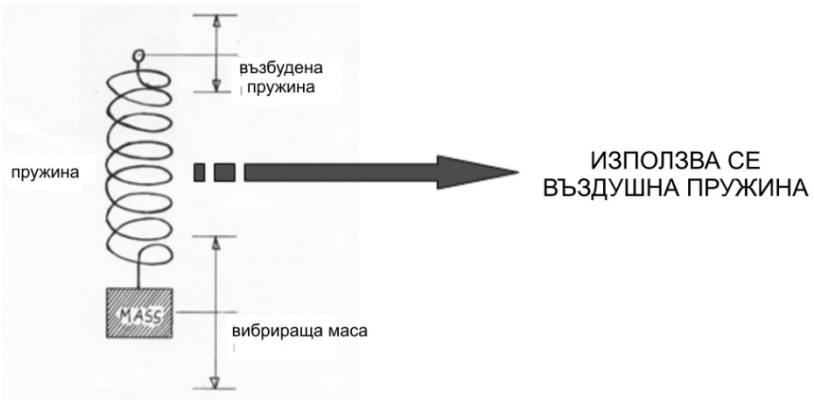
патентованите решения в тази област. Затова е извършено задълбочено патентно проучване, в което са разгледани над 1500 патента.

Резултат от направеният преглед на съществуващи пазарни и патентни решения е изводът за наложилите се три схеми механизми, които се използват при различните класове къртачи (фиг. 1) – за малки до 3 кг, за средни 3 – 10 кг и за големи машини над 10 кг [2].



Фиг. 1. Типове ползвани пневматично-вакуумни механизми

Елементите, чрез които се осъществява генерирането на удара са бутало, бойник, междинен бойник и въздушната камера между буталото и бойника, която може да бъде разглеждана също като нелинейна пружина. Механичният принцип, на който е основан механизма, е показан схематично на фиг. 2 по-долу.



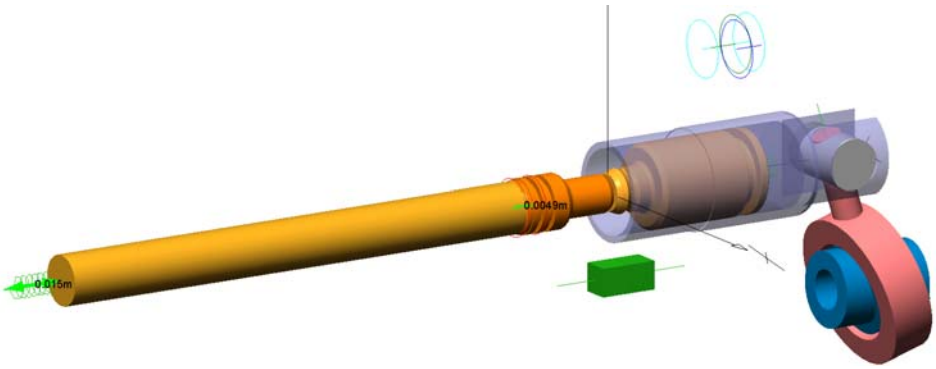
Фиг. 2. Механичен принцип на пневматично-вакуумният ударен механизъм

Именнно такава схема е ползвана и при анализа на параметрите на механизма – основна цел на настоящата работа. По-специално е разгледан пневматично-вакуумен ударен механизъм с подвижен цилиндър. Анализа предвижда използването на виртуален прототип, което би дало възможност за подробно изследване на параметрите на механизма, без реализиране на физически прототипи. Изграденият модел ще даде възможност за последващо оптимизиране на тези параметри, за постигане на висока енергия на ударното действие и устойчив режим на работа на електроинструмента.

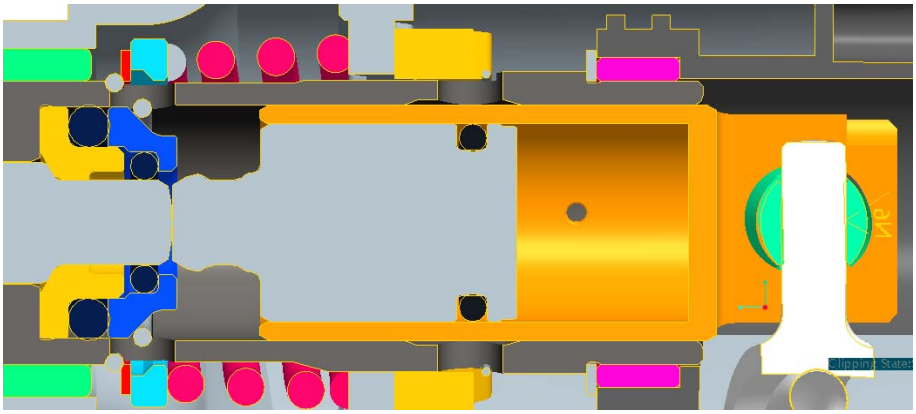
2. ИЗГРАЖДАНЕ НА СИМУЛАЦИОНЕН МОДЕЛ НА ПНЕВМАТИЧНО-ВАКУУМЕН МЕХАНИЗЪМ С ПОДВИЖЕН ЦИЛИНДЪР

Създаденият виртуален прототип на пневматично-вакуумен ударен механизъм с подвижен цилиндър (фиг. 3) е характерен за перфораторите от клас 2kg – с подвижен цилиндър. Характерно при този тип механизъм е използването на клапанен отвор в цилиндъра който се отваря и заваря при определени условия (фиг. 4). В момента на затварянето му се херметизира

камерата. Дистанцията между челото на бойника и дъното на цилиндъра в този момент определят свободната дължина на въздушната пружина Lini.



Фиг. 3. Виртуален прототип на пневматично-вакуумен ударен механизъм с подвижен цилиндър



Фиг. 4. Клапанен отвор и размери на въздушната камера

Клапанният отвор се затваря или отваря от бойника или от диаметъра на вретеното, по който се води цилиндъра. Отвора е отворен когато бойника се намира в ляво от отвора (пред отвора) и в същото време е под освобождаването на отвора на вретеното (фиг. 4). За опростяване в изчислителния модел е прието да се използва оста на отвора а не самия отвор с неговия диаметър. Тъй като свободната дължина на пружината, от която зависи коравината й, може да бъде различна за всеки удар (двоен ход на цилиндъра) е наложително намирането на способ за нейното определяне. Опитите при анализи, в които свободната дължина е заложена като константа показват, че грешките могат да са значителни.

За да се опише логиката на отваряне и затваряне на пневматичната камера е необходимо да се дефинират три разстояния, чрез които във всеки момент може да се определи състоянието на камерата. Това са:

d1 - дистанция чело бутало – дъно на цилиндъра (дължина на въздушната камера)

d2 - дистанция клапанен отвор в цилиндъра – заден ръб на освобождаването във вретеното

d3 - дистанция клапанен отвор в цилиндъра – чело бутало

Положението на всеки функционален елемент от геометрията на модела се дефинира във visualNASTRAN чрез координатни системи, а дистанциите като разлики между координатите на две координатни системи спрямо глобалната. Използвани са следните Y координати на такива координатни системи:

Yv1 - coord[87].p.y – преден ръб на освобождаването на вретеното

Yv2 - coord[98].p.y – заден ръб на освобождаването на вретеното

Yo - coord[49].p.y – ос на клапанния отвор

YB - coord[86].p.y – положение на уплътнителя на буталото

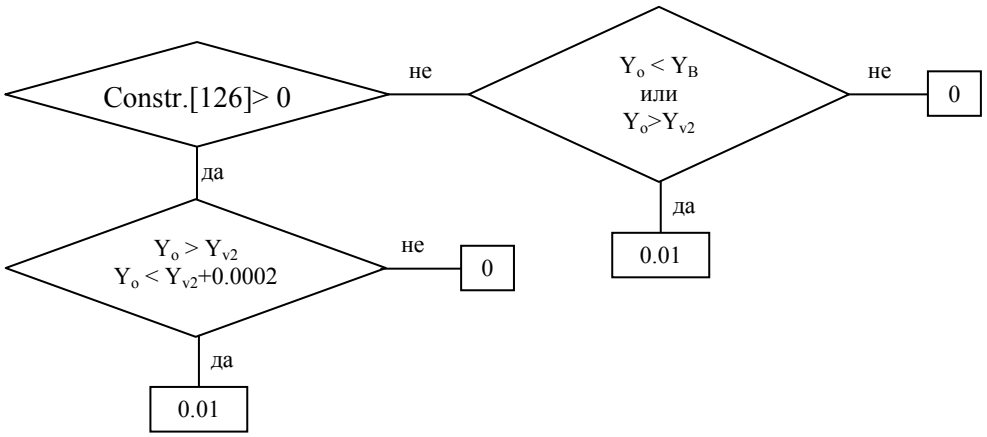
За описване на логическата схема на действие на клапанния отвор е наложително използването на два параметъра:

Състояние – с две стойности показващи дали въздушнта камера е отворена или затворена.

Lini – свободна дължина на въздушната пружина. Дефинира се при всяко затваряне на въздушната камера. Представлява дължина на камерата в момент на затварянето й.

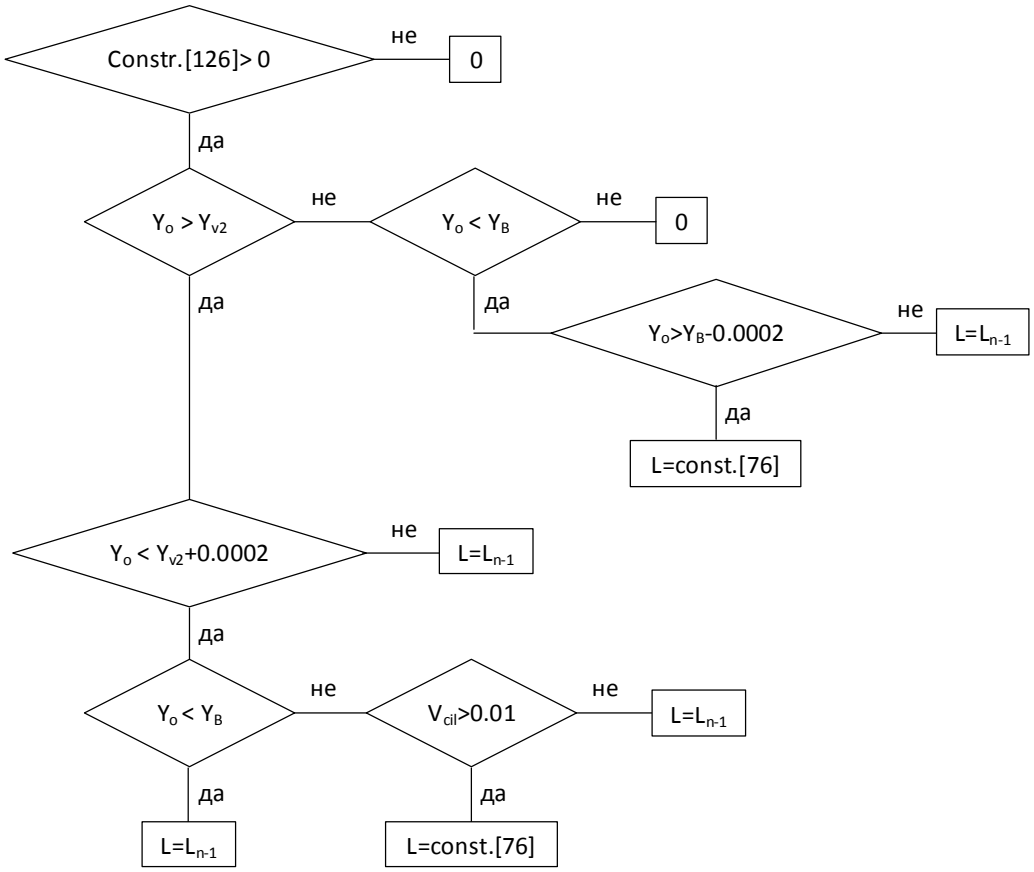
Тъй като при изучаване възможностите на visualNASTRAN не беше намерен способ за дефиниране на параметри, които да се запазват като константа за определен брой операции, се наложи използването на допълнителни тела, чиито координати и премествания заместват необходимите ни параметри.

Параметъра Състояние дефиниран като Constraint[126] приема стойност 0 и 0.01 съответно при отворена и затворена камера. Промяната на състоянието се проверява по описаната по-горе логика показана и на фиг. 5.



Фиг. 5. Блок-схема за параметър Състояние

Логическата схема за определяне на свободната дължина на въздушната пружина Lini, дефинирана като constraint[132], е показана на фиг. 6



Фиг. 6. Блок-схема за параметър Lini

За свойства на въздушната пружина са заложени свободна дължина и сила вместо коравина. За свободна дължина на пружина е заложена логиката:

if(constraint[126].p.z>0.009,constraint[132].p.z,0) m

За силата на пружината е заложена следната логика при изчисление на големината ѝ:

if(constraint[126].p.z>0.0095,-(pi*0.0105^2*(((((101300^(1/1.3))*constraint[132].p.z) /constraint[76].length)^1.3)-101300)),0) N

След въвеждане на описаните условия в изчислителния модел, резултатите от анализите показват правилно функциониране на механизма и дефиниране на свободна дължина на въздушната пружина за всяко затваряне на камерата.

3. ВЕРИФИКАЦИЯ И ВАЛИДАЦИЯ НА ИЗЧИСЛИТЕЛНИЯ МОДЕЛ С ПОДВИЖЕН ЦИЛИНДЪРОРМАТИРАНЕ НА ДОКУМЕНТА

За верификация и валидация на модела е използван съществуващ модел перфоратор на конкурентен водещ производител. Използваните при изграждането на модела параметри (коравини, собствени тегла, размери на камерата, коефициенти на демпфиране и др.) са посочени в таблица 1. Някои константни параметри, които нямат отношение към планираната оптимизация, не са отразени в таблицата – например – диаметър на въздушната камера (21mm), големина на възвратно-постъпателният ход (19mm) и др. Нелинейната пружина, представяща работата на въздушната междина, е включена в таблицата като функция от деформацията ѝ (constraint[76].length). Модела на нелинейната пружина отчита съставените в предходната част на изследването логически схеми, които да отразят промяната в изходната дължина на пружината и по-конкретно – зависимостта и от отскока и положението на бойника.

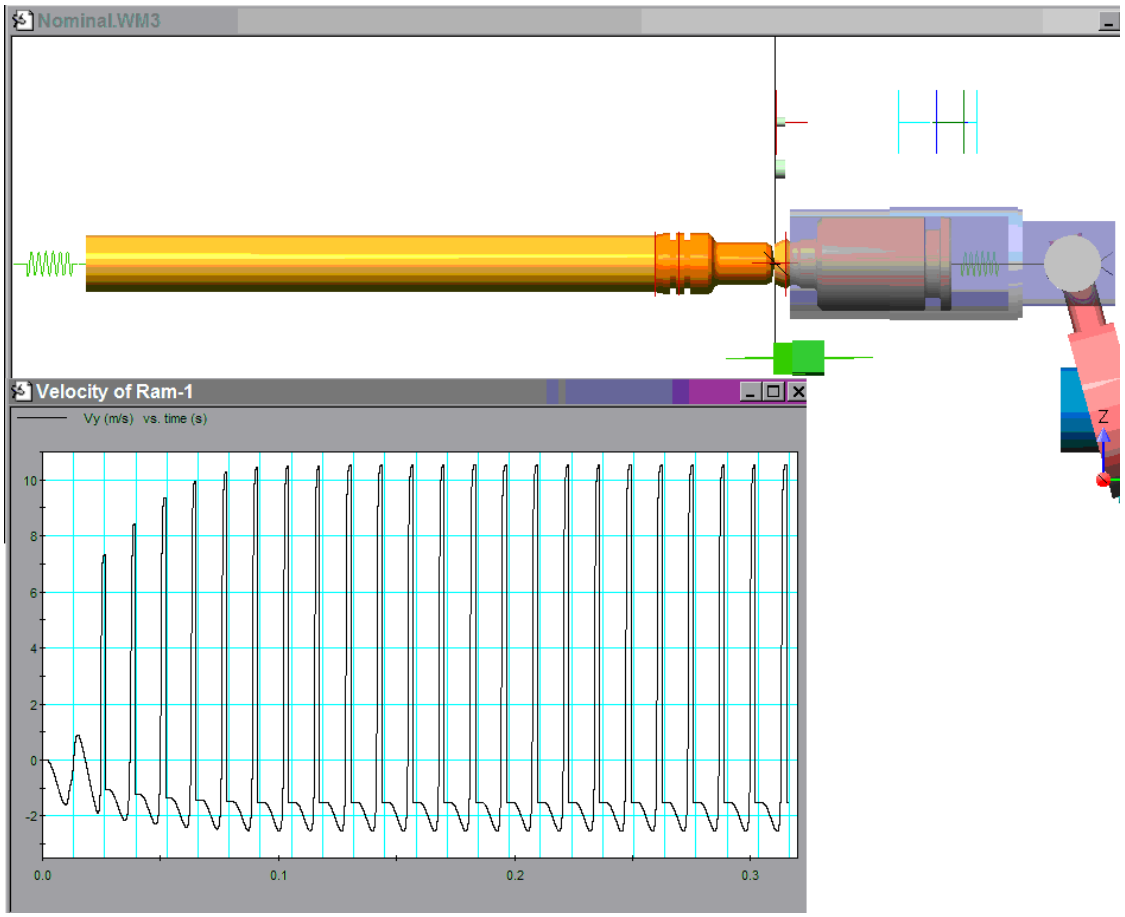
Таблица 1 Параметри на модела за верификация и валидация

Параметър	Стойност
Маса на бойника	62 g
Коефициент на възстановяване на бойника	0.98
Маса на междинен бойник	85 g
Коефициент на възстановяване на м.бойник	0.98
Маса на инструмента	100 g
Коефициент на възстановяване на инструмента	0.98
Коравина на въздушната пружина	pi*0.01^2*(((((101300^(1/1.3))*constraint[123].p.z)/constraint[76].length)^1.3)-101300) N
Коефициент на демпфиране на въздушната пружина	0 kg/s
Коравина на еластичния елемент на м.бойник	$3*10^3$ N/m
Коефициент на еластичния елемент на м.бойник	$1*10^3$ kg/s
Коравина на материала	$3*10^7$ N/m
Коефициент на демпфиране на материала	$6.59*10^3$ kg/s
d_1 (чело бутало – дъно на цилиндъра)	$12*10^{-3}$ m
d_2 (клапанен отвор в цилиндъра – заден ръб на освобождаването във вретеното)	$2.6*10^{-3}$ m
d_3 (клапанен отвор в цилиндъра – чело бутало)	$2.8*10^{-3}$ m
Скорост на въртене на люлеещия лагер (честота на ударите)	4550 min^{-1}

На фиг. 7 е показан резултата от анализа, под формата на скорост на бойника във функция от времето. Всеки локален максимум, изобразен на графиката, съответства на удар (промяна в посоката на скоростта) на бойника в междинният бойник. Прави впечатление, че след шести удар механизма влиза в установен режим и резултатите от всички следващи удари са равни. Кратките хоризонтални участъци – с постоянна обратна скорост – съответстват на увличането на бойника от цилиндъра, а последващото кратко увеличение – на инерционните сили, действащи на движението на бойника при затворена въздушна междина. Именно в този участък се получава т.нар. „зареждане" на механизма – когато бойника все още се движи в посока противоположна на инструмента, докато самият цилиндър се движи по посока на инструмента. Това в голяма степен определя скоростта на бойника при удара му с междинният бойник.

Като резултат от изчислителния модел разглеждаме скоростта на бойника, а не енергията предадена на работния инструмент тъй като инкремента на итерациите не позволява коректен резултат за скоростта, респективно енергията, на инструмента. Намаляването на инкремента би довело до значително увеличаване на изчислителното време. Поради тази причина енергията на инструмента е изчислена по основните формули от теория на удара.

Разгледаният модел показва средна скорост на бойника от 10.5m/s, след първите шест удара, когато системата влиза в състояние на устойчива работа. Енергията на работния инструмент, предадена му от междинния бойник, се получава приблизително 3J, което съответства на обявената от производителя стойност от 2.8J. Грешката възлиза на 7% което е в рамките на допустимото за целите на моделиране и оптимизация на изследваният механизъм.



Фиг. 7. Резултат от изчислителния модел на съществуващ модел перфоратор

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствие на изяснените физически процеси при работа на ударен механизъм, ползван в класа електроинструменти, е създаден е съответстващ симулационен модел. Той позволява да се изследват параметрите на пневматично-вакуумен ударен механизъм с подвижен цилиндър. Модела отразява движението и взаимодействията на компонентите на механизма, като заменя пневматичната камера с пружина, имаща съответстваща работна характеристика. Важен елемент в изследването е правилното моделиране на самата пружина, която има променливи параметри, зависещи от работата на механизма, и по-специално от обратният отскок на бойника. Разработена е принципна схема дефинираща взаимовръзките между компонентите на ударния механизъм. Съставени са логически схеми на работата на механизма, позволяващи да се отрази тази промяна в изходното състояние на механизма. Тези схеми включват като параметри няколко конструктивни размера, което позволява ползването на модела за бъдеща оптимизация на механизма по отношение на енергията на удара, която генерира.

Изграденият витуален прототип е валидиран и верифициран на основата на известен и изпитан механизъм на достъпен на пазара електроинструмент – модел на водещ производител. Получените от симулационният модел на виртуалният прототип резултати по отношение енергията на удар съответстват на посочените от производителя с разлика от 7%, което е напълно допустима грешка, дължаща се в голяма степен на неотчетени фактори като триене, демпфиране, температурно натоварване и др.

В заключение може да се установи че изграденият симулационен модел на база виртуален прототип е адекватен на изследваният пневматично-вакуумен механизъм и е възможно използването му за по-нататъшни изследвания.

БЛАГОДАРНОСТИ

Това изследване е осъществено във връзка и с помощта на Фонд „Научни изследвания" при МОМН, в изпълнение на проект „Иновационен център за върхови научни постижения, за развитие и трансфер на технологии", с насоченост в областта на микроелектромеханични системи (МЕМС) и рекуперирane на енергия, договор № Д002-106/15.12.2008 г., както и на двустранният Българо-Китайски проект D002-11/05, Фонд „Научни изследвания", при МОМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ряшенцев, Н. П., П. М. Алабужев, Н. И. Никишин, Е. М. Тимошенко, Н. М. Батуев. *Ручнье електрические машинь ударного действия*. Москва: Недра, **1970.**

2. Тодоров, Г., К. Камберов, В. Пейков. *Изследване на фрикционния коефициент за пневматично-вакуумни механизми на ударни електроинструменти*. София : Национална конференция **BULTRIB, 2009.**

3. Тодоров Г., К. Камберов, В. Пейков. *Възможности за използване на контролиран резонанс в ударни механизми за ръчни ударни и ударно-пробивни електроинструменти*. София : Международна конференция **Автоматика и информатика**, **2009.**

4. E. V. Golycheva, V. I. Babitsky and A. M. Veprik. *Dynamic correction of excitation in handheld electro-pneumatic percussion machines*. Journal of Sound and Vibration. Vol.259, **2003.**

5. Soundranayagam, S.A. *Investigation of Nonlinear Trasnformation of Impulses in Impact Units for Improvement of Hammer Drill Performance*. Ph. D. Thesis. s.l. : Loughborough University, **2000**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р Георги ТОДОРОВ
Технически университет – София
София 1000, бул. „Климент Охридски" №8
кат. ТМММ, МТФ
тел. +359 2 965 25 74
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

маг. инж. Величко ПЕЙКОВ
Спарки Елтос АД
Ловеч 5500, ул. „Кубрат" №9
тел. +359 68 686 364
e-mail: velichko.peykov.se@sparkygroup.com

маг. инж. Константин КАМБЕРОВ
Технически университет – София
София 1000, бул. „Климент Охридски" №8
лаб. "CAD, CAM, CAE в индустрията", МТФ
тел. +359 2 965 25 74
e-mail: kkamberov@3clab.com

доц. д-р Николай НИКОЛОВ
Технически университет – София
София 1000, бул. „Климент Охридски" №8
кат. ТММ, МТФ
тел. +359 2 965 27 70
e-mail: nickn@tu-sofia.bg

проф.д-р Инан ЛАИ
Harbin University of Science and Technology
Harbin, P.R. of China

маг. инж. Йе ДАЙ
Harbin University of Science and Technology
Harbin, P.R. of China

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

FUNCTIONAL STRUCTURAL MODELS AT RELIABILITY MODELING OF MECHANICAL PRODUCTS AND COMPONENTS

Georgi TODOROV **Konstantin KAMBEROV**

Abstract: *This study aims to preview the possibilities for reliability parameters calculations at design stage based on virtual prototypes application. The presented study is focused on the stage of functional and structural model building of adequate mechanical products. Developed methodology for reliability model generation based on structural relations is illustrated by several samples.*

Key Words: *Functional Structural Models, Reliability, Mechanical Products, Virtual Prototype.*

ФУНКЦИОНАЛНО-СТРУКТУРНИ МОДЕЛИ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕ НАДЕЖДНОСТНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА МАШИНОСТРОИТЕЛНИ ИЗДЕЛИЯ

Георги ТОДОРОВ **Константин КАМБЕРОВ**

Резюме: *Настоящият материал представя възможностите за оценка на надеждностните показатели на машиностроителните изделия на етапа на тяхното проектиране чрез ползване на виртуални прототипи. Разглеждането е фокусирано върху етапа на изграждане на функционално-структурен модел на изделието. Предложената методика за съставянето на надеждностният модел при отчитане структурата и функциите на изделието е илюстрирана с няколко примера.*

Ключови думи: *Функционално-структурни модели, надеждност, машиностроителни изделия, виртуален прототип.*

1. УВОД

Практическата приложимост на оценката на надеждностните показатели, представляват средство за контрол и предотвратяване на отказите за намаляване на стойността на притежаване и подобряване функционирането чрез увеличаване на финансовата ефективност при допустими нива на надеждност. Съществен е и въпроса на какъв момент от жизненият цикъл на изделието е възможно да се получи тази оценка. Търсенето на ранно осъществяване на анализа и прогнозирането на надеждността, намалява възможностите за ползване на физически прототипи и респективно дава предимство на изчислителните методи [1, 3].

Изчислителните методи се основават на изследването и прогнозирането на надеждността на базата на функционалните връзки с отчитане на стохастичната природа на протичащите процеси и явления. Създават се вероятностни модели, които трябва да отчитат процесите на износване и умора, разнообразните условия на експлоатация, изменение на свойствата на материалите и други фактори. Изчислителният модел следва да съдържа пълно описание на функциите и структурата/вътрешните връзки на разглежданото изделие. Процеса на моделиране на изследваното изделие съдържа следните по-основни етапи:

- Структуриране съобразно функционалното предназначение на изследваното изделие – неговите елементи и подвъзли. В резултат се получава надеждностен модел на изделието, както и се определят възможните откази, чийто механизъм на възникване следва да бъде разгледана и анализирана на следващ етап;
- Определяне на работните условия и натоварвания на възлите и елементите на изделието, разглеждано като система от взаимосвързани елементи на основата на виртуални прототипи и числени анализи. В резултат се получават входните параметри за вече изграденият надеждностен модел;

– Анализ на надеждностните параметри на системата на основата на дефинираните работни натоварвания и създадения модел. Крайният резултат са стойностите на надеждностните параметри на системата [4, 8].

Машиностроителните изделия, поради своята често пъти уникалност и разнообразие на условията на натоварване, не са силно застъпени в съвременните методи и средства за определяне на надеждностните им параметри. Тяхната надеждност може да се оценява, като на система, когато за надеждностните параметри на чиито компоненти има добре описана информация.

От друга страна, непрекъснатото развитие на изчислителната техника, появата на все по-комплексни методи и модели за симулиране на физични процеси и явления, както и разрастващите се възможности за информационен трансфер, все повече разширяват обхвата на използване, точността и икономическата ефективност на технологиите за виртуално прототипиране. Приложението им дава възможност да се определи надеждността на етап проектиране на изделието [3, 5, 6].

Изложените по-горе особености и елементи на моделирането на надеждността на машиностроителните изделия поставят ред изисквания и особености към самия процес. Това основно се отнася до първият етап – изграждането на функционално-структурен модел на изследваният обект.

2. ЕТАПИ ПРИ ИЗГРАЖДАНЕТО НА ФУНКЦИОНАЛНО-СТРУКТУРНИЯТ МОДЕЛ

Изграждането на функционалния структурно-надеждностния модел е необходимо да се извърши в последователност, която да отрази правилно особеностите на моделираното изделие и да се изгради неговият надеждностен модел. Този надеждностен модел се оформя първоначално като блокова диаграма, която отразява структурата на изделието и функционалните връзки между отделните възли. Определят се възможните откази за всеки един компонент, както и физиката на тяхното възникване. Така определените откази по компоненти от своя страна служат за основа при определяне отказите на възлите, в които те участват, при отчитане на взаимното влияние на компонентите. Аналогично, отказите на възлите се ползват при определяне на крайните откази на изделието.

Друг съществен елемент е познаването на изчислителните методи за определяне на надеждностни показатели, което спомага за по-коректно обособяване звената на изделието, понякога и различаващо се от заложената в техническите изходни данни структура. Изграждат се изчислителни модели за описание на вида отказ за компонентите. Тези модели изискват съответни входни параметри, чието определяне се извършва на следващ етап.

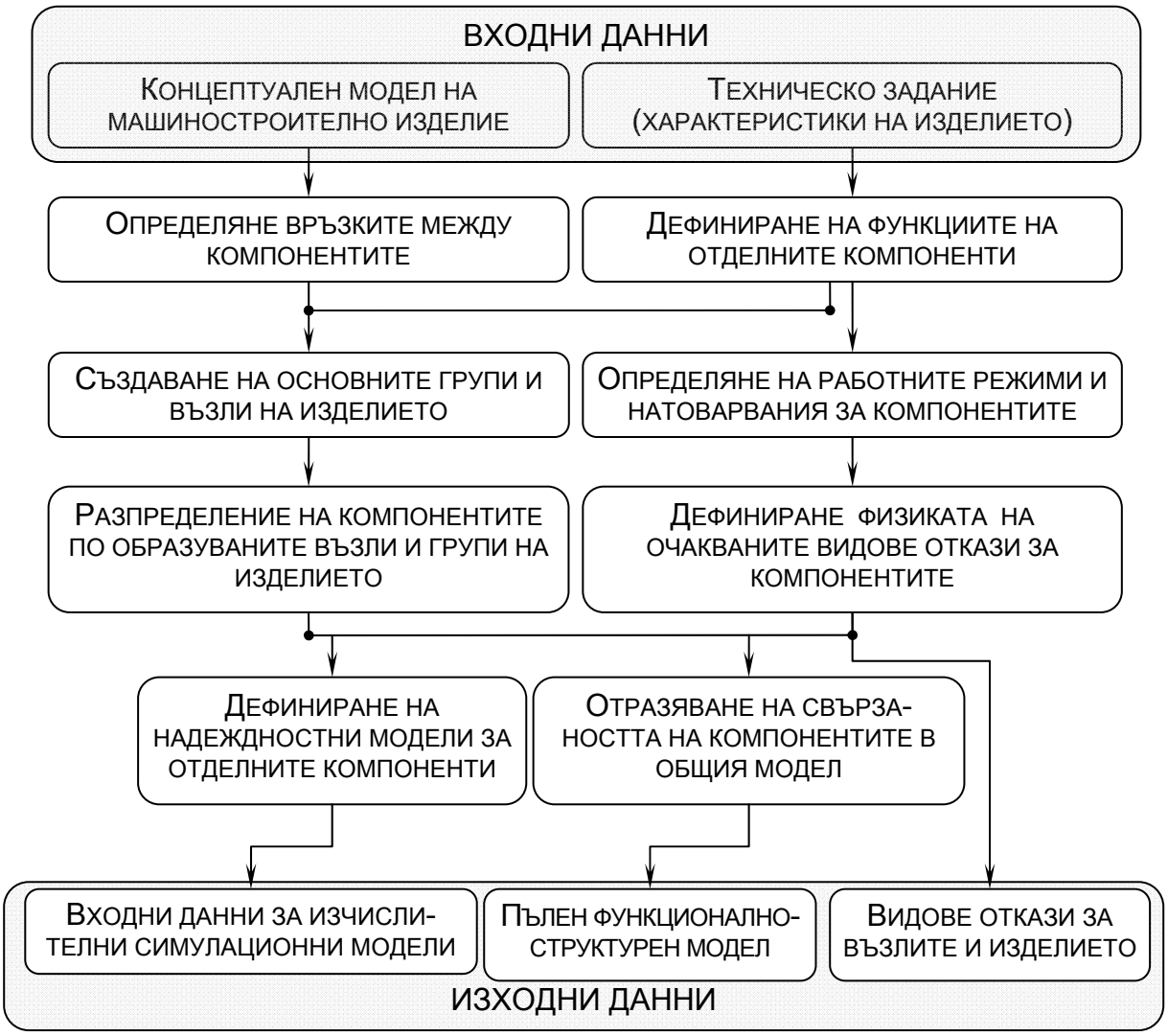
Отделните стъпки при създаването на функционално-структурен модел са показани посредством блок-схема на фигура 1 по-долу. Входни данни за изграждането на този модел са съставеният концептуален модел на конструкцията на изделието, както и техническото задание – респективно изискваните показатели относно качеството и надеждността на конструкцията, а също така и на необходимите функции на изделието. Тези две основни групи изходна информация позволяват да се извършат ред последователни дейности, чиято крайна цел е дефиниран функционално-структурен надеждностен модел на изделието, входни данни за изчислителни модели, симулиращи физиката на възникване на съответен отказ, и видовете очаквани откази.

Анализ на концептуалния модел позволява да се определят връзките между компонентите на изделието. Познаването на тези връзки, съвместно с функциите им, които са и пряко следствие на характеристиките на изделието, правят възможно създаването основните възли на изделието и разпределянето на компонентите по тези възли.

След преглед и анализ на изискваните показатели и характеристики на изделието се определят работните режими и натоварвания на съответните компоненти. Тези натоварвания служат за анализ и последващо определяне физиката на тяхното възникване и потенциалните откази на компонентите.

Така, вече обособените по възли компоненти и познаването на възможните техни откази и процесите, които ги предизвикват, дефинират надеждностни математични модели за всеки един от компонентите. Друга важна стъпка е точното определяне на взаимовръзките между отделните компоненти, което се отразява и на техните надеждностни параметри. Целият процес на изграждане на функционалният структурно-надеждностен модел на едно машиностроително изделие може да се представи като последователност от отделни задачи и дейности по реализирането им.

Предложената последователност и оформените отделни етапи по изграждане на модела се основават на реализирани в практиката надеждностни анализи и целят добре да опишат съответните стъпки от създаването на модела.



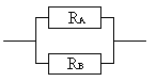
Фиг. 1. Етапи на изграждане на функционално-структурен надеждностен модел

3. ПРИМЕР НА ЗА СЪСТАВЯНЕ НА ФУНКЦИОНАЛНО-СТРУКТУРЕН МОДЕЛ

Описаните отделни етапи от изграждането на функционално-структурен надеждностен модел на машиностроително изделие са онагледени чрез пример на съставен такъв модел за електроинструмент, в частност – перфоратор от клас 7kg. Машината е с вертикално разположен електродвигател, чието движение се предава към инструмента посредством редуктор. Подвъзел на редуктора реализира и възвратно-постъпателното движение на инструмента в режим на къртене.

Използваният като основа концептуален модел (виртуален прототип) на машината е показан на фигура 2 по-долу. Той е изграден на етап концепиране на изделието и е проектна конструкция. Използван е виртуален прототип, съдържащ информация за концепцията на машината, както и нейните функции. Виртуалният прототип е използван също така при създаването впоследствие на необходимите симулационни модели за анализ на физиката на отказите на компонентите. Първоначално, са определени функциите на изделието, и в частност – на неговите компоненти. Допълнително са анализирани връзките между компонентите, съобразно конструкцията, заложена в ползваният виртуален прототип и техническото задание.

Обособени са отделни възли от машината и са заложени връзките между тях. Това е показано на фигура 3 по-долу. Машината има заложени два основни работни режима – на пробиване и на къртене. Тези режими предполагат различни кинематични пътища, в които са включени съответни възли, а също така и различни натоварвания на общите за двата режима на натоварване възли. По този начин, между възлите „съединител комплект” и „съединител предпазен” съществуват два паралелни клона, т.е. паралелно свързани елементи от вида



. Общата надеждност на машината по този начин ще се определи съгласно формулата:

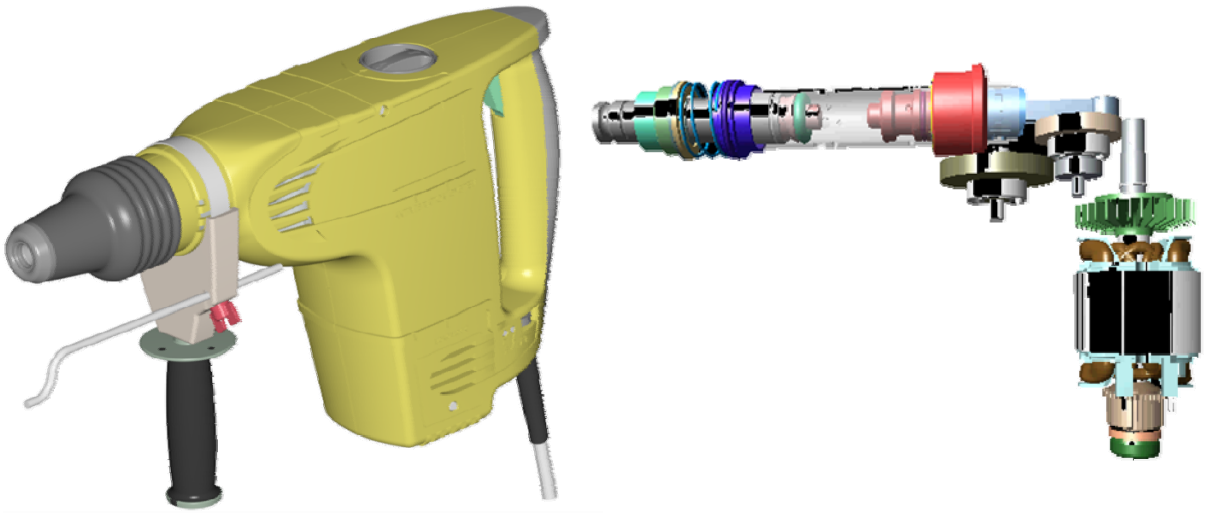
$R(t) = 1 – F_A(t)*F_B(t) = R_A(t) + R_B(t) – R_A(t)*R_B(t)$, където:

R(t) – вероятност за безотказна работа, като функция от времето;

F(t) – вероятност за поява на отказ.

Отделно от това, трябва да се оценят и поотделно надеждностните параметри на машината за да се определи вероятността за поява на отказ на съответната нейна функция.

Тези два етапа са последвани от точно разпределение на компонентите по вече дефинираните възли и групи в общата надеждностна диаграма на изделието. Както бе показано по-горе, някои от компонентите се явяват едновременно в два функционални възела на изделието, поради отчитането на различните режими на работа на машината. Това дублиране е съобразено като процент от общата отработка на машината, с цел да не се получи изкуствено увеличаване на компонентите на моделираното изделие.

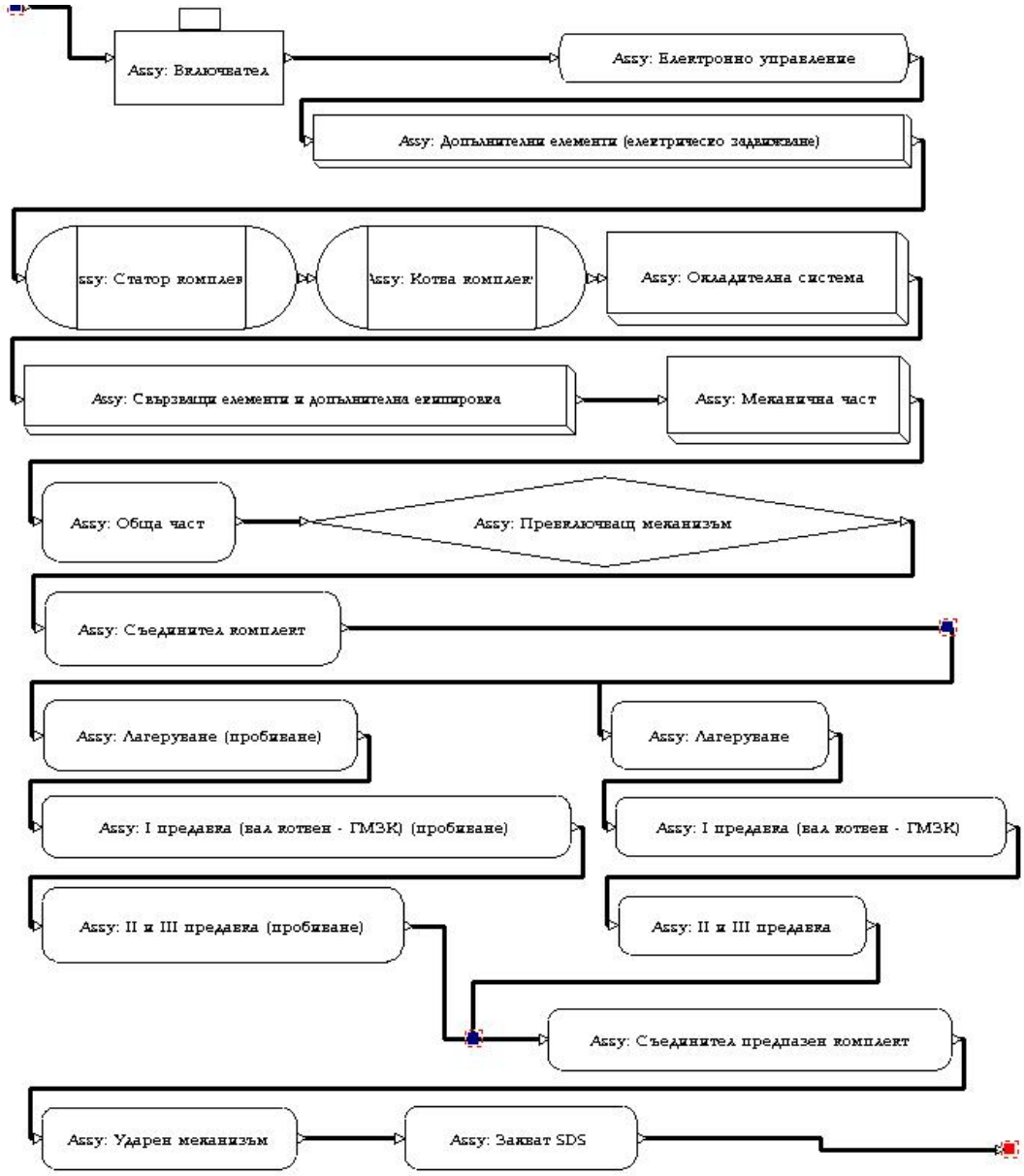


Фиг. 2. Концептуален модел на перфоратор клас 7kg

От друга страна, тъй като машината няма аналог в продуктовата гама на производителя към момента на проектирането й, няма и експлоатационни данни за по-голямата част от компонентите й. Това налага ползване на симулационно моделиране на работните условия за тази част от компонентите за определяне надеждностните им параметри. Опита и доброто познаване на възможните откази на елементите и физиката на тяхното възникване са необходим елемент са успешното реализиране на задачата по пресмятане и дефиниране на входните въздействия. За част от компонентите – например лагери и зъбни колела – възможните откази са известни и добре описани чрез емпирични модели. Други такива компоненти са стандартни свързващи елементи – винтове, гайки и т.н. – за които има изградени библиотечни надеждностни модели.

Електрическите компоненти на изделието – възел включвател (електрическият прекъсвач е доставен компонент, с известни надеждностни параметри), възел електронно управление (съставено предимно от стандартни, добре описани компоненти) и подвъзлите на електродвигателя (статор, котва, охладителна система, механична част и свързващи компоненти) сравнително добре се описват с емпирични модели, или имат достъпни данни за надеждностните им параметри. Допълнително предимство е че електродвигателя има съществуваща конструкция, ползвана и в други електроинструменти. Поради това, тя е добре изпитана и с познати общи надеждностни параметри. Естествено, режима на натоварване е с други параметри, но съществуващите данни могат да се ползват за отправна точка при анализиране на приложението му в този конкретен случай.

Обикновено, в механичните конструкции по-трудно се описва физиката на възникване на отказите на корпусните елементи. Най-често отказите на този тип елементи са вследствие на умора на материала, подложен на работни натоварвания на машината. Други възможни откази са свързани с претоварване, корозия (умора вследствие на корозия също) и износване. Надеждностните модели, свързани с уморно разрушаване, както и тези вследствие на претоварване, се основават на познаване на напреженията на моделираните обекти. Това води до ползване на симулационни модели, базирани на прилагане на числени методи [2, 3, 7].

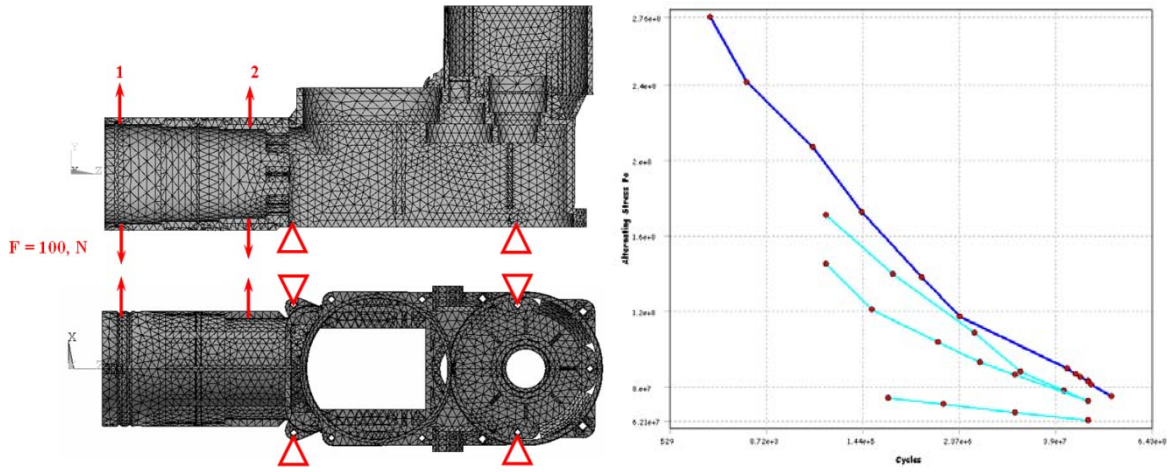


Фиг. 3. Надеждностна блок схема, основана на функционално-структурен модел на перфоратор

В резултат на този начален анализ на изделието, и в частност на негови (корпусни) елементи, подлежащи на описание чрез уморни модели, се дефинират входните данни за числени методи за определяне на силово-деформационното му поведение. Пример е показан на фигура 4 по-долу, където са показани натоварванията и уморната характеристика на материала за корпусен елемент– редукторна кутия – в един от случаите на натоварване.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Материалът акцентира върху един от основните етапи при изчислително определяне на надеждностните параметри на машиностроителни изделия на етапа на проектирането им – изграждането на функционално-структурен модел на изделието;
- Предложена е методика за изграждане функционален структурно-надеждностен модел на машиностроително изделие на база виртуален прототип, с отчитане взаимните въздействия на елементите му;
- Подробно са разгледани и описани основните стъпки по съставянето на функционалния структурно-надеждностен модел;
- Предложената методика е онагледена посредством пример от практиката – надеждностен анализ на проектиран ръчен електроинструмент - перфоратор.



Фиг. 4. Схема на натоварванията и уморна крива за материал на корпусен елемент на перфоратор

БЛАГОДАРНОСТИ

Това изследване е осъществено във връзка и с помощта на Фонд „Научни изследвания" при МОМН, в изпълнение на проект „Иновационен център за върхови научни постижения, за развитие и трансфер на технологии, с насоченост в областта на микроелектромеханични системи (МЕМС) и рекуперииране на енергия", с договор № Д002-106/15.12.2008г., както и на двустранният Българо-Китайски проект D002-11/05, Фонд „Научни изследвания", при МОМН.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Въчков, С.Г. *Производителност, точност на обработка и надеждност на металорежещите машини*. Техника, София, **1980.**
2. Камберов К., Г. Тодоров, Б. Димова, М. Спасов. *Моделиране на отказите в корпусен елемент с използването на виртуален прототип*. сп."Машиностроене", 7-8, **2006**, стр.23-26.
3. Проников, А.С. *Надежность машин.* Машиностроение, Москва, **1978.**
4. Тодоров, Г., К. Камберов. *Надеждностен анализ на възел колектор/четки от високонатоварен електродвигател в етапа на неговото проектиране*. Машиностроене, No3, **2002**, стр.25-28.
5. Covino, M., P. Rodgers, J. Smith. *Assessing Reliability in Mechanical Systems*. Journal of Integrated Design and Process Science, Vol. 4, **2000**, pp 67-84.
6. Melchers, R. E. *Structural reliability analysis and prediction*. John Wiley and Sons, New York, **1999**.
7. Sachs, N. *Failure analysis of mechanical components.* Maintenance Technology, No7, pp 67-71, **1993**.
8. Todorov, G., K. Kamberov. *A reliability approach to new product development process*. 2nd International Conference "**Power Transmission 2006**", 04, **2006**, Novi Sad.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р Георги ТОДОРОВ
Технически университет – София
София 1797, бул. „Климент Охридски" №8
кат. ТМММ, МТФ
тел. +359 2 965 2574
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

маг. инж. Константин КАМБЕРОВ
Технически университет – София
София 1797, бул. „Климент Охридски" №8
лаб. "CAD, CAM, CAE в индустрията", МТФ
тел. +359 2 965 2574
e-mail: kkamberov@3clab.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

ENGINEERING DESIGN METHODS

Georgi TODOROV **Andrijana BOCEVSKA** **Todor NESHKOV**

Abstract: *A related part of the complexity of modern design has been the development of new design methods. This paper reviews the field of design methods, describes methods that help to stimulate creative design thinking such as brainstorming, synectics and enlarging the search space and introduces the most relevant and widely used rational methods that covering the whole design process. The eight methods included are: user scenarios, objectives tree, function analysis, performance specification, quality function deployment, morphological chart, weighted objectives and value engineering.*

Key words: *engineering design methods, creative methods, rational methods.*

1. INTRODUCTION

There is a general concern with trying to improve the efficiency of the design process. In some industries there is a pressing need to ensure that the lead-time necessary to design a new product is kept to a minimum. In all cases, it is desirable to try to avoid the mistakes and delays that often occur in conventional design procedures. One of the most significant aspects of this concern to improve the design process has been the development of new design methods. The main intention of these new methods is that they attempt to bring rational procedures into the design process.

The new methods tend to have two principal features in common. One is that they formalize certain procedures of design, and the other is that they externalize design thinking. Formalization is a common feature of design methods because they attempt to avoid the occurrence of oversights, of overlooked factors in the design problem, of the kinds of errors that occur with informal methods. Other general aspect of design methods is that they externalize design thinking, i.e. they try to get thoughts and thinking processes out of head and into the charts and diagrams that commonly feature in design methods. This externalizing is a significant aid when dealing with complex problems, but it is also a necessary part of team work, i.e. providing means by which all the members of the team can see what is going on and can contribute to the design process.

Design methods lead to novel design solutions than the informal, internal and often incoherent thinking procedures of the conventional design process. Some design methods are, indeed, techniques specifically for aiding creative thought. In fact, the general body of design methods can be classified into two broad groups: creative methods and rational methods.

2. CREATİVE METHODS

Since creative thinking is an extremely important part of the design process, some design methods are devoted to stimulate creativity in design process. The most well-known and practiced creative methods are brainstorming, synectics, and enlarging the search space/removing mental blocks.

2.1. Brainstorming

The brainstorming method aims to stimulate a group of people to produce many ideas quickly [1]. This method increases the quantity of the ideas that it may also foster the quality of the ideas generated. This argument is supported by the definition which describes that this method as an activity for generating a large number of ideas, most of which will subsequently be discarded [2]. From this perspective, it can be concluded that brainstorming method aims to quickly elucidate as much ideas as possible to avoid overlooking valuable ones.

The brainstorming method provides the design process with a variety of perspectives that couldnot be gained through conventional methods. This method could be applied simply and directly

and at any stage of the design process, unless the design process is stabilized. The brainstorming activity might also be used to generate information instead of ideas [1].

2.2. Synectics

In synectics, the aim is to direct the spontaneous activity of the brain and the nervous system towards the exploration and transformation of design problems. Synectics is identifies as the formalization of analogical thinking [2]. Similar to brainstorming, synectics is a group activity, through which the members of the group try to generate and combine ideas to develop a creative solution to a certain problem. This method differs from brainstorming in that the group tries to generate ideas together on a particular design problem, instead of trying to generate as much ideas as possible. In addition, a synectics session takes much longer than a brainstorming session. In conclusion, the synectics method provides unusual and creative solutions for a design problem, however it involves certain risks and disadvantages.

2.3. Enlarging the Search Space

The aim of this method is expanding the solution areas of the design problem with certain techniques. This method is identified as removing mental blocks which aims to find new directions of search when the apparent search space has yielded no wholly acceptable solution [1]. Four techniques is suggested in practicing this method as (1) transformation through which the search for a solution is transformed from one solution area to another, (2) random input which is used to facilitate creativity by providing random inputs from any source, (3) why? why? why? by which the search space is extended through asking why? questions about the problem, (4) counter-planning which is used to challenge an existing solution to a problem by suggesting its opposite [2]. This method is rather applicable when the search area for a complex problem is limited to generate any solutions.

3. RATIONAL METHODS

The creative phase is the most important stage of the design process in search of novelty through the design activity. However, the design activity also requires certain methods that bring a systematic approach to the whole design process. Hence, rational methods aim to enhance the quality of both the design decisions and the product. This method also encourages teamwork, by which the tasks could be divided into minor tasks to be achieved by a team. The checklist illustrates the systematic approach to a set of tasks, whereas the design activity entails complicated methods or a set of methods to be systemized.

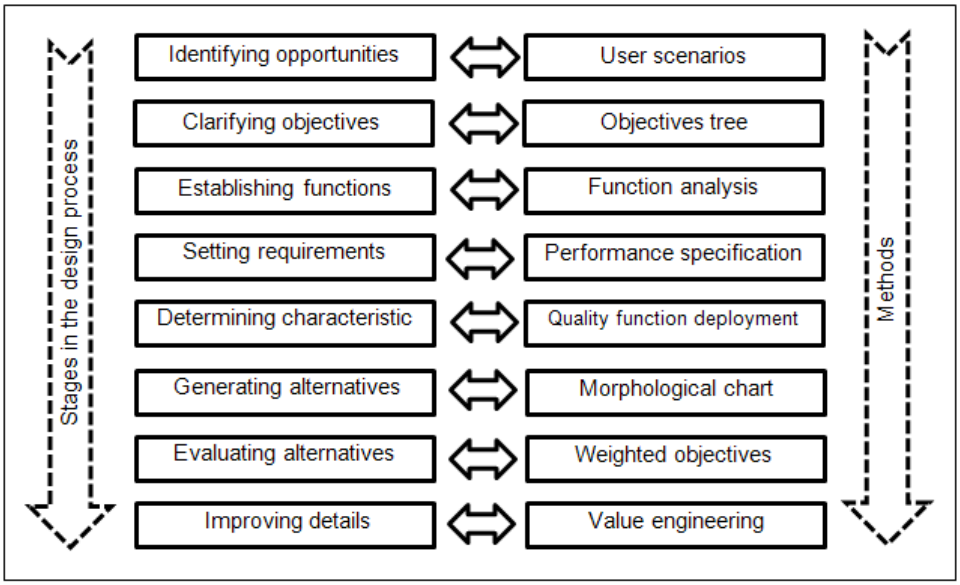


Fig. 1. Stages of the design process

There is a wide range of rational design methods, covering all aspects of the design process from problem clarification to detail design. Fig. 1 represent the most relevant and widely used methods,

also covering the whole design process with the stage in the design process on the left, and the method relevant to this stage on the right.

3.1. The User scenarios method

Many products do not work well in use because the presence of the user is not strongly represented during design. A user-centered approach is often referred to as universal or inclusive design – meaning designing to include everyone. Regarding this, the user scenarios method provides a useful starting point and focus for the design process by taking the users point of view, and identifying opportunities for creating new products that aim at satisfying users need [2].

The practice of this method entails a five-step-process to be carried out including (1) deciding which users (or users) point(s) of view to adopt and the variations to the user trip or trips (using the product or service in a deliberate way and noting reactions), (2) observing experienced and inexperienced users in action, (3) questioning users about their experiences, (4) creating relevant users personas and scenarios; persona is a well-defined but hypothetical user, and scenario is a storyline about their use of the product or service, (5) defining the preliminary goal, context, constraints and criteria for a new product opportunity which are the key steps in formulating a good brief for a new product design.

3.2. The Objectives tree method

This method refers to the important step of the design process where the objectives of the design activity are clarified. The aim of the objectives tree method is to clarify design objectives and sub-objectives, and the relationships between them [2]. While practicing this method, three main steps should be followed. Initially, a list of design objectives is prepared utilizing a variety of sources such as the design brief, expectations of the client, arguments of the design team and so on. In the latter step, the listed objectives and sub-objectives are grouped in a hierarchical order. Eventually, an illustrative tree of objectives is drawn representing the hierarchical relationships and linkages between all objectives.

The objectives tree method helps the design team achieve a clear and helpful statement of objectives, which represents the set of objectives and the outline of the path that would be followed in order to achieve those objectives. The output of this method also helps the design team and their clients agree on the stated objectives.

3.3. The Function Analysis Method

To adequately meet the stated objectives of the design activity, instead of solutions, essential functions of a solution should be established. This attempt defines the level of the design problem, i.e. whether a problem should need a radical design change or a design improvement. Regarding this, the function analysis method aims to establish the functions required, and the system boundary, or a new design [3].

The function analysis method entails five main steps to be carried out, which are (1) expressing the overall function of the design activity in terms of transforming process inputs into outputs, (2) dividing the overall function of the design activity into a set of essential sub-functions, (3) illustrating the interactions between sub-functions in a block diagram, (4) drawing the system boundary that defines the functional limits of the design solution, and (5) searching for suitable components to meets the sub-functions and the interactions among them.

The function analysis method draws the outline of the essential functions that the output of the design activity would be expected to satisfy. Therefore, the design team is enabled to develop alternative solutions that meet these predefined functions.

3.4. The Performance Specification Method

Although identifying the objectives and functions of the design activity clarifies the requirements of a design solution, they are not identified in exact limits. For that reason, certain boundaries should be set to the solution space for the design team to search for solutions. The aim of the performance specification method is to make an accurate specification of performance required of a design solution [2].

The procedure of this method is in four phases that comprise (1) considering the different extents (the level of generality) that the solution might cover in an applicable manner, (2) deciding on the extent to study in, (3) apart from any solutions, identifying the required performance characteristics, and (4) precisely specifying specific performance requirements for each characteristics.

The performance specification method helps the design team determine and specify the design problem in order to establish the study space and means of adequately resolving the problem for the designers. This method identifies the necessary performance that the solution should achieve instead of physical components of the product. The performance specification method could also be used in the later phases of the design process in evaluating the arrived solutions whether they exist within the specified boundaries of the specified performance.

3.5. The Quality Function Deployment Method

Understanding the needs and expectations of customers, in terms of product attributes, is essential to meet them with appropriate characteristics of the design solution. The quality function deployment (QFD) method aiming to set targets to be achieved for the engineering characteristics of a product, such that they satisfy customer requirements [2].

Seven major steps in executing the QFD method are important as (1) identifying customer preferences in terms of product attributes, (2) classifying the attributes in terms of importance, (3) assessing the attributes of the competing products, (4) drawing a matrix of product attributes counter to design characteristics, (5) identifying the relationships between product attributes and design characteristics, (6) identifying the possible interactions between design characteristics, and (7) specify necessary figures to be achieved to ascertain the design characteristics.

The QFD method suggests that the voice of the customer is the most valuable factor in the commercial success of a product [2]. Thus, the QFD method is based on in-depth understanding of the customer and the determining design characteristics in the light of its findings. QFD method is such an excessively comprehensive method that it could be utilized in multiple stages of the design process.

3.6. The Morphological Chart Method

Considering all of the phases of the design process, generating alternatives stage stands to be the most essential and central one, through which novel solutions or re-orderings of existing solutions to a design problem is generated in different levels of novelty. In this essential phase of the design process, the ‘morphological chart method’ provides designers with “the complete range of elements, components, or sub-solutions that can be combined together to make a solution” [2].

Cross [2] suggests that the morphological chart method would be classified as a rational method, while according to Jones [1], this method is essential to search for creative ideas, therefore might stand to be a creative method.

The practice of ‘morphological chart method’ aims to widen the area of search for solutions to a design problem [1]. The aim of this method appears similar to that of enlarging the search space method, while the use of morphological charts differs in its use in the exploration of unbounded and undefined problems [1]. Cross [2] signifies the aim of this method as to generate the complete range of alternative design solutions for a product, and hence to widen the search for potential new solutions.

Jones [1] identifies the ‘morphological chart method’ to develop in three main steps, which are (1) definition of the functions that any satisfactory design should be able to perform, (2) listing a broad range of sub-solutions on a chart, and (3) selection of an satisfactory set of sub-solutions that meets the set of functions.

Facilitating creative thinking by morphological charts prevents the design team to overlook novel solutions to the design problem. Furthermore, this method has the advantage of concluding a matrix in a short time if the set of functions are identified properly at the initial stage of the activity.

3.7. The Weighted Objectives Method

Subsequent to the generation of alternatives, these alternative solutions need to be evaluated in order to choose the solution which best fits the statement of objectives that the design solution has initially meant to achieve. However, particular characteristics of different solutions might match different aspects in the design objectives. Therefore, the weighted objectives method provides the evaluation and comparison among alternative solutions by differently weighing the initial design objectives.

The main aim of the weighted objectives method is to compare the utility values of alternative design proposals, on the basis of performance against differentially weighted objectives [2]. The practice of this method entails a five-step-process to be carried out including (1) listing the initial design objectives, (2) identifying numerical rankings to the objectives and ordering them, (3) giving comparative weightings to the objectives, (4) determining certain performance parameters or utility

scores for all objectives, and (5) analyzing and comparing the comparative utility values of the alternative solutions, multiplying each parameter score by its weighted value and arriving to the alternative solution having the highest sum value.

The weighted objectives method appears to be the most rational method reviewed in this section. Since the evaluation method is merely based on the assignment of quantitative measures to the qualitative aspects of a design solution, the numerical output of this method might not represent the best selection.

3.8. The Value Engineering Method

The design process is also applicable for improving the value of an existing product, while the same effort could be devoted to increasing the 'value' of a novel design solution by improving the details of the design. Cross [2] classifies the 'value' that a product might have as (1) the value of a product to its purchaser; the extent that the purchaser perceives a product as worthy, and (2) the cost of a product to its producer; the extent that the producer reduces the design, manufacturing and delivery costs of a product. Therefore, the value engineering method seeks to improve a product by reducing cost or increasing value, or usually to achieve both.

The aim of the value engineering method' is to increase or maintain the value of a product to its purchaser while reducing its cost to its producer. Five main phases must be followed through this process including (1) making a list of the components of the product and determining the function of each component, (2) identifying the values of determined functions, (3) specifying the costs of the components, (4) investigating solutions for improving the value of the product without increasing the cost or reducing the cost of the product with no change in the value, and (5) assessing and selecting the alternative improvements. Also, operation of the value engineering method necessitates the participation of members of different departments, such as design, marketing, production, and so on.

The improving details phase of the process of design is necessary for improving the value or reducing the cost of both an existing product and an eventually arrived design solution. Therefore, the value engineering method appears to be essential to improve the quality of the output of the design process and eventually the product.

4. SYMMARY

The goal of engineering design methods is to stimulate creative thinking and introduces the rational methods. Different design method have different purpose and are relevant to different aspects of and stages in the design process.

Using engineering design methods helps designer perform certain tasks by reducing the possibility of errors that often occur in conventional design procedures and enables to propose a hypothesis and validate if it is true or false. Also they greatly improves the design of everyday products by providing designers with a systematic, though not rigid, series of steps.

REFERENCES

1. Jones, J.C. *Design Methods*. John Wiley & Sons Inc., New York, **1992**, **ISBN** 0-471-28496-3.
2. Cross, N. *Engineering Design Methods: strategies for product design*. John Wiley & Sons Ltd., Great Britain, **2008**, **ISBN** 978-0-470-51926-4.
3. Pahl, G., W. Beitz, J. Feldhusen, ang K.H. Grote. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer-Verlag, London, **2007**, **ISBN** 978-1-84628-318-5.
4. Walker, D.J., B.K. Dagger, R. Robin. *Creative techniques in product and engineering design: a practical workbook*. Woodhead Publishing Ltd., England, **1991**, **ISBN** 1-85573-025-1.

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof., Ph.D., Georgi TODOROV
Technical University - Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd. 1797 Sofia, Bulgaria
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

Assistant, M. Sc., Andrijana BOCEVSKA
Faculty of Technical Sciences, Ivo Lola Ribar n.n. 7000 Bitola , Macedonia
e-mail: abocevska@yahoo.com

Prof., Ph. D., Todor NESHKOV
Technical University - Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd. 1797 Sofia, Bulgaria
e-mail: tnesh@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

FUNCTIONAL-COST ANALYSIS (FCA)

Georgi TODOROV **Andrijana BOCEVSKA** **Todor NESHKOV**

Abstract: *A functional cost analysis FCA (sometimes named Functional Value Analysis FVA) is a method that can be applied to examine the function costs of a product in relation to the value as perceived by the customer. The outcome of the analysis is to improve the value of the product while maintaining costs and/or reduce the costs of the product without reducing value. This paper is focused on the several steps and useful techniques for conducting a FCA such as FAST and Component Function Cost or Value Analysis Matrix, in the context of modern product development.*

Key words*: Functional cost analysis FCA, FAST, Function Cost Matrix, Value Analysis Matrix.*

1. INTRODUCTION

The functional cost analysis is a value engineering method that aims to increase the difference between the cost and the value of a product [1]. The cost is the amount that is incurred in the production and delivery of the product. This expense can include the price of parts, labor, overhead (e.g., building, power), packaging, shipping, and advertising, among others. What the product is worth in the eyes of the customer is considered the value. When completing a functional cost analysis, this definition of value is extremely important. The design team may not perceive a certain product feature to be valuable, however if it is important to the customer, then that feature must be regarded as valuable.

FAST is a powerful analytical process that enables people with different technical backgrounds to communicate and work together on problems that require an interdisciplinary approach [2].

FAST identifies those functions, which clearly serve a purpose in the goals of the system. It distinguishes between the functions that are necessary to the purposes of the system, and other activities that exist simply as a consequence of the way in which the purposeful functions are carried out. It also analyses functional interdependencies through a disciplined reasoning process that uses an inclusive logic methodology, which allows all stakeholders in the system to work together in its development, thus ensuring as wide a consensus as possible.

A Component Function Cost Matrix or Value Analysis Matrix is prepared to identify the cost of providing each function by associating the function with mechanism or component part of a product. Product functions with a high cost-function ratio are identified as opportunities for further investigation and improvement.

2. STEPS IN FCA

Function Cost Analysis is a team activity with from four to seven employees from different areas of the business such as design, engineering, management accounting, marketing, production and purchasing [3]. One of the great strengths of functional cost analysis is that it has a structured approach a specific objective to which all analysis is that it has a structured approach to achieve a specific objective to which all team members can contribute. Function Cost Analysis is carried out in the following steps:

2.1. Select product for FCA and decide specific objectives

For new products, the FCA can be integrated into the design process. For existing products the criteria when selecting products are very complex or very heavy or very bulky with relatively high cost. Other objectives could include the following:

- Increase the quality of the product without increasing the cost,
- Reduce the weight of the product without increasing the cost,

- Increase the function of the product without increasing the cost,
- Develop new patents.

2.2. Collect Information

The information collected would include the following:

- existing design;
- existing specifications for product;
- details of production process;
- material, labor and overhead cost data;
- scrap data;
- marketing data about the product.

2.3. List the separate components of the product, and identify the function served by each component

The first analytical step in the method is to strip a product down to its separate components - either literally and physically, or by producing an itemized parts list and drawings. However, parts lists and conventional engineering drawings are of limited value in understanding and visualizing the components, the ways in which they fit together in the product overall and how they are manufactured and assembled. So if an actual product, or a prototype version, is not available for dismantling, then something like exploded diagrams of the product are helpful in showing components in three-dimensional form and in their relative locations or assembly sequences.

It is important that the team thinks about the functions rather than the parts of the product. The function could be assigned by type as:

- Basic function - the primary purpose(s) for which the item or service was designed when it is operating in its normally prescribed manner. This function must be accomplished to meet the purpose of the product, structure, or service. A product or service may have more than one basic function.
- Secondary functions are ones that support the basic function (and, hence, are sometimes referred to as “support functions”). They result from a specific design approach to achieve the basic function. If the design changes, the need for existing secondary functions may be modified or even eliminated. To enhance the analytical an evaluation process some practitioners break secondary functions into a sub classification of “required” (by the current design), “aesthetic,” and “unwanted”.

The distinction between what is needed (basic functions that provide value) and what is not needed (secondary functions that have no value or even have a negative value) is vital to the successful functional cost study. Elimination of unnecessary cost is dependent upon it.

2.3.1. Creating a FAST model

For best results, a multidisciplinary team of experts should carry out the FAST process. Firstly, the team must agree the objectives and motivation for developing the system, or product, and then secondly, determine the functions that will be required to achieve these objectives. At this stage the team is concerned with analyzing the problem rather than developing solutions, and therefore it is important to distinguish between function and process.

A function is some necessary phenomenon that enables a particular purpose to be achieved, whereas a process may be just one possible way of performing that function. In the FAST process a function is described using an Active-Verb and a Measurable-Noun. The second stage of the FAST process leads to the production of a FAST diagram that describes the relationships between a purpose and the functions necessary to achieve it. In this diagram the relationship between functions are not time-constrained and can only be described using a HOW-WHY-WHEN Logic, as shown in Fig. 1.

2.4. Determine the cost of each component

It is not always easy for a company to determine the exact costs of components used in products. This explains why many companies employ specialists in cost estimating. It is not sufficient to merely determine the cost of the individual components and estimate the labor involved. A number of other factors must be considered and included. Some of these factors are:

- Cost of parts including the purchase price as well as any associated shipping costs.
- Cost of consumables that are used in the fabrication of the product (e.g., glue, cleaners).
- Labor costs for assembly as well as for any modification or finishing to parts.

- Equipment or tooling costs.
- Handling and inventory control.
- Packaging and shipping costs.

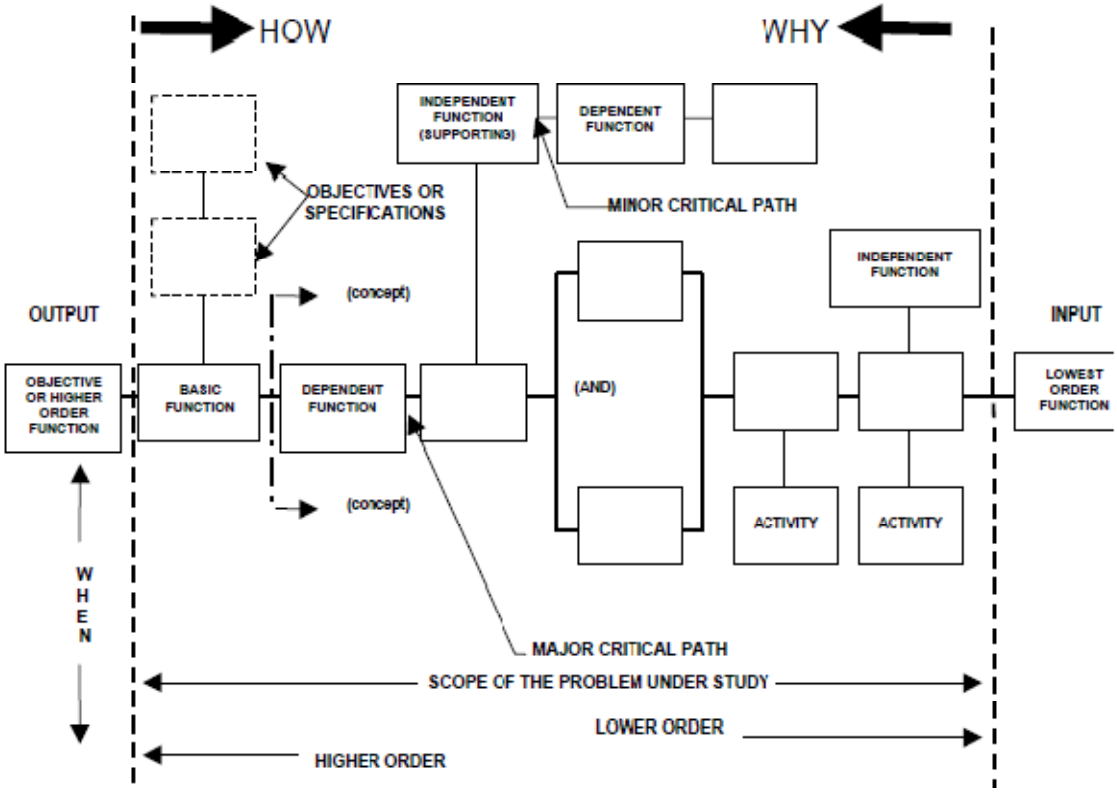


Fig. 1. Basic FAST model

Equipment or tooling costs are items that may require some calculation since there is not a one-to-one ratio between the unit of equipment and unit of product. Therefore, it may be necessary to calculate equipment costs based on projected volumes.

Very detailed cost calculations may also include indirect or overhead costs. These involve facility costs (e.g., heat, hydro, taxes), non-direct labor (e.g., finance, human resources, marketing), or any other cost that cannot be directly tied to a product. There are a number of different methods by which companies apply overhead costs to products.

It is important not to ignore low-cost components, particularly if they are used in large numbers (e.g. screws or other fasteners). Even a relatively small cost reduction per item can amount to a substantial overall saving when multiplied by the number of components used.

Once the costs have been determined for each component or sub-assembly in relation to the function(s) they support, the total cost of the component or sub-assembly is determined. The total product cost is calculated by summing the totals for all components. This total is then used to calculate the percentage of the total cost that each part represents.

2.5. Determine the cost of each function

Components often contribute to several different or related functions, and hence the cost of a particular function is often spread across several components. The kind of component/function cost matrix shown in Fig. 2 allows the designer to analyze in detail these often complex relationship.

This matrix displays the components of the product, and the cost of those components, along the left vertical side of the graph. The top horizontal legend contains the functions performed by those components. When a component contributes to more than one function, it may be difficult to break down its overall cost into precise part-cost per function. Approximate but well-informed estimates then have to be made.

The cost of each function can be calculated by adding all of the costs attributed to a specific function. As with the component costs, the percentage of the total cost that each function represents is calculated. If desirable, the cost sequence can be determined where the functions are numbered, with (1) representing the most costly function.

Component/Assembly	Support Functions							Cost of Component	
								Total	% of Total Cost
Cost of Function									
% of Total Cost									
Cost Sequence									
Value of Function									

Fig. 2. Component/function cost matrix

A powerful analysis method is created when FAST is used in conjunction with QFD (Quality Function Deployment) method [4]. QFD enables the uses of Value Analysis Matrix. It is powerful in two ways. First, it associates functions back to customer needs or requirements. In doing this, it carries forward an importance rating to associate with these functions based on the original customer needs or requirements. Functions are then related to components, the same as with the Function-Cost Matrix. Components are related to functions as either strongly, moderately or weakly supporting the given function. This relationship is noted with the standard QFD relationship symbols. The associated weighting factor is multiplied by customer or function importance and each columns value is added.

2.6. Consider the value of functions

This is a critical step and bring the customers views into the costing system, so the value of product functions must be those as perceived by customers, rather than by designers or manufacturers. Although values will be interpreted in different ways by different customers, its common characteristic is a high level of performance, capability, emotional appeal, style, etc. relative to its cost [4]. This can also be expressed as maximizing the function of the product relative to its cost:

$$\text{Value} = (\text{Performance} + \text{Capability})/\text{Cost} = \text{Function}/\text{Cost} \quad (1)$$

The goal would be to achieve a ratio of 1.

If a certain function is not perceived to be valuable to the customer and the function is determined not to be necessary for reasons such as performance or reliability, then perhaps that function should be simplified or eliminated. Having added functionality in a product that is not perceived valuable by the customer can actually hurt the sale of the product. The market prices of different products can sometimes provide indicators of the values that customers ascribe to various functions.

2.7. Generate alternatives of reducing cost without reducing value, or of adding value without adding cost

This is the really creative part of functional cost analysis where all the team member make suggestion for improvement. Attempts to reduce costs usually focus on components and on ways of simplifying their design, manufacture or assembly, but the functions performed by a product should also be looked at critically, because it may be possible to simplify them, reduce their range, or even eliminate them altogether if they are of limited value to the purchaser.

There are some general strategies which can be applied in order to direct the search for ways of reducing costs. The first is to concentrate on high-cost components, with a view to substituting lower-cost alternatives. The second is to review any components used in large numbers, since small individual savings may add up to a substantial overall saving. A third strategy is to identify components and functions which are matched as high-cost/high-value, or low-cost/low-value, since the aim is to achieve high-value functions with low-cost components.

Cost-reduction guidelines are:

Eliminate	Can any function, and therefore its components, be eliminated altogether? Are any components redundant?
Reduce	Can the number of components be reduced? Can several components be combined into one?
Simplify	Is there a simpler alternative? Is there an easier assembly sequence? Is there a simpler shape?

Modify	Is there a satisfactory cheaper material? Can the method of manufacture be improved?
Standardize	Can parts be standards rather than specials? Can dimensions be standardized or modularized? Can components be duplicated?

Other attributes which commonly contribute to the quality or value of a product are:

Utility	Performance on aspects such as capacity, power, speed, accuracy or versatility.
Reliability	Freedom from breakdown or malfunction, performance under varying environmental conditions.
Safety	Secure, hazard-free operation.
Maintenance	Simple, infrequent or no maintenance requirements.
Lifetime	Except for disposable products, a long lifetime which offers good value for the initial purchase price.
Pollution	Little or no unpleasant or unwanted by-products, including noise and heat.

There is a whole class of value attributes related to aesthetics. This includes not only the appearance of a product - colour, form, style, etc. - but also aspects such as surface finish and feel to the touch.

2.8. Evaluate alternatives and select improvements

The application of functional cost analysis should result in a number of alternative suggestions for changes to the product design. Some of these alternatives might well be incompatible with each other, and in fact all suggestions should be carefully evaluated before selecting those which can be shown to be genuine improvements.

2.9. Implement alternatives and audit results

It is obviously important to implement the chosen alternative and ensure that the predicated results are actually achieved in practice.

3. SYMMARY

Based on the considerations mentioned above the following conclusions can be formulated:

- Functional cost analysis is a structured, creative, team approach to development products, based on the increase values and reduce products cost;
- Equally applied in the development of existing, and in development of new products;
- Functional cost analysis is a focused customer concept which is compatible with QFD method for product development;
- Results from the analyzes are very important in the context of modern product development.

REFERENCES

1. Cross, N. *Engineering Design Methods: strategies for product design*. John Wiley & Sons Ltd., Great Britain, **2008**, pp. 174-179. **ISBN** 978-0-470-51926-4.

2. Bytheway, C. W. "*The Creative Aspects of FAST Diagramming*". **SAVE** Proceedings, vol. 6, **1979**, pp 301-312.

3. Smith, J. *Handbook of Management Accounting.* Elsevier, Great Britain, **2007,** pp. 470-481. **ISBN** 978-0-7506-8596-2.

4. Crow, K. *Value analysis and Function Analysis System technique*. 31st Jan, **2002**, http://www.npd-solutions.com/va.html.

5. Pahl, G., W. Beitz, J. Feldhusen, and K.H. Grote. *Engineering Design: A Systematic Approach*. Springer-Verlag, London, **2007**. pp. 31-33. ISBN 978-1-84628-318-5

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof., Ph. D., Georgi TODOROV, Prof., Ph .D., Todor NESHKOV
Technical University - Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd. 1797 Sofia, Bulgaria
e-mail: gdt@tu-sofia.bg, tnesh@tu-sofia.bg

Assistant, M. Sc., Andrijana BOCEVSKA
Faculty of Technical Sciences, Ivo Lola Ribar n.n. 7000 Bitola , Macedonia
e-mail: abocevska@yahoo.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

OPTIMISATION OF A MANIPULATOR FOR TURNING BINS WITH MEANS OF THE VIRTUAL ENGINEERING

Yavor SOFRONOV **Vitan GALABOV** **Georgi TODOROV**
Tsvetozar IVANOV **Nikolay NIKOLOV** **Yana STOYANOVA**

Abstract: *Demonstrated are capabilities for synthesis and analyzing of manipulator's structure bar mechanism for end effector turning, part of a line for sterilization of hospital waste, using virtual prototyping kinematic simulation, allows to avoid physical prototypes.*
Key Words: *Kinematic Synthesis, Analysis, Mechanism, Virtual Engineering.*

ОПТИМИЗИРАНЕ НА МАНИПУЛАТОР ЗА ОБРЪЩАНЕ НА КОШЧЕТА СЪС СРЕДСТВАТА НА ВИРТУАЛНОТО ИНЖЕНЕРСТВО

Явор СОФРОНОВ **Витан ГЪЛЪБОВ** **Георги ТОДОРОВ**
Цветозар ИВАНОВ **Николай НИКОЛОВ** **Яна СТОЯНОВА**

Резюме: *Демонстрирани са възможностите за синтез и анализ на лостов манипулатор за обръщане на кошчета, част от линия за стерилизиране на болнични отпадъци, с помощта на компютърни модели, без нуждата от създаване на прототип.*
Ключови думи: *Синтез, анализ, кинематични механизми, виртуално инженерство.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

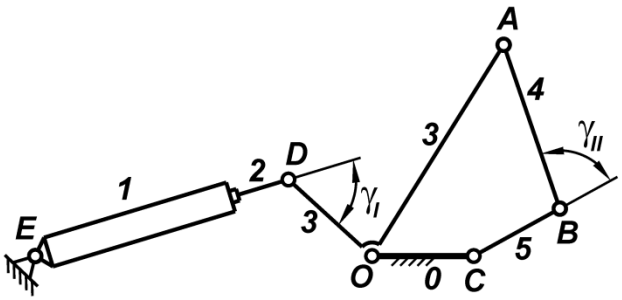
В условията на световна финансова и енергийна криза, спад в производството и потреблението и засилена конкуренция възниква необходимостта от създаването на продукти с себестойност, стимулираща тяхното потребление. Във връзка с това се наблюдава тенденция в редица случаи, в които това е възможно, електрозадвижванията да се заменят с пневмозадвижвания. Това води до намаляване на себестойността на изделията, тъй като отпадащите компоненти като АС мотори, редуктори и честотни инвертори са заменят с доста по-евтината елементна база на пневмозадвижванията.

Кулисният механизъм е най-простото в структурно отношение решение при пневматично задвижване и ротация на изходното звено. Ходът, който може да реализира изходното звено при допустими ъгли на предаване на силата достига 120°. Често обаче в инженерната практика възниква необходимостта изходното звено да има ход 180°, което не е във възможностите на кулисния механизъм. В този случай се налага структурата да се усложни, като практически се използва структура тип Watt II, състояща се от два последователно свързани четиризвенни механизма – кулисен и шарнирен четиризвенник, като първият реализира ход от 90° до 120°, а вторият – 180°.

Условието за обща функционална пригодност на един механизъм, свързано с качеството на предаване на движението, се оценява при лостовите механизми обикновено посредством ъгъла на предаване на движението γ. От стойностите на γ зависят енергийните загуби в механизма. Когато γ се доближава до минимално допустимата си стойност γ_p, нарастват реакциите в кинематичните двоици, а от там и загубите от триене. При намаляване на стойността на γ под тази на γ_p, се стига до явлението заклинване, което прави движението на механизма невъзможно.

Задачата за синтез на предавателен механизъм със структура Watt II се свежда до синтез на кулисен и шарнирен четиризвенен механизъм по две относителни положения. За първи път задачата за синтез на шарнирен четиризвенен механизъм до 5 положения решава Burmester [1], като за целта разработва основите на т. нар. кинематична геометрия. По-късно Gruebler [2] дава по-прост алгоритъм за решаване на тази задача, но при зададени до три относителни положения. Lichenheldt [3] синтезира шарнирен четиризвенен механизъм по зададени две мъртви положения и съответни ъгли на предаване на движението.

В случая задача за синтез се свежда до синтез по две относителни положения, различни от мъртвите, с отчитане на ъглите на предаване на движението. При вариране на стойностите на варируемите параметри се получават безкраен брой решения. Както при всяка задача за синтез по положения, за всяко едно от тези решения трябва да се извърши анализ, в резултат на който се определят ъглите на предаване на движението в целия краен интервал на изменение на обобщената координата. При това намирането на решение се свежда до решаване на оптимизационна задача [4].



Фиг. 1. Предавателен механизъм с топологична структура Watt II

При всяка инженерна задача за верификация на резултатите от синтеза и конструктивната разработка трябва да се изработят прототипи. Изработването на физически прототипи е свързано със значителни разходи на време и средства. Този процес значително се ускорява и поевтинява, когато физическият прототип се замени с виртуален, изграден с методите на виртуалното инженерство.

2. СИНТЕЗ НА МАНИПУЛАЦИОНЕН МЕХАНИЗЪМ ЗА ОБРЪЩАНЕ НА КОШЧЕТА

Дължината l_5 на звено 5 се избира по конструктивни съображения. Варируеми параметри при синтеза са дължината l_4 на звено 4 и стойността на ъгъла на предаване на движението γ_1 за първото положение. Стойността на ъгъла на предаване на движението γ_2 за второто положение се определя от зависимостта $\gamma_2 = k\gamma_1$, $k \in [0.8, 1.25]$, където стойността на k се избира в зависимост от натоварването на механизма в двете крайни положения. Двете крайни положения на точка A (фиг.1), съответстващи на двете крайни положения на механизма, се определят от:

$$\xi_{A_1} = l_4 \sin\gamma_1, \quad \eta_{A_1} = -l_5 + l_4\cos\gamma_1, \qquad \xi_{A_2} = -l_4\sin\gamma_2, \quad \eta_{A_2} = l_5 + l_4\cos\gamma_2 \tag{1}$$

Положението на точката O се определя от:

$$\xi_O = -\xi_{A_{1,2}} - \frac{\sqrt{(\xi_{A_1}-\xi_{A_2})^2 + (\eta_{A_1}-\eta_{A_2})^2}}{2\tan\dfrac{(\varphi_3)_{1,2}}{2}} \frac{1}{\sqrt{1+k_{1,2}^2}}$$
$$\eta_O = \eta_{A_{1,2}} - \frac{\sqrt{(\xi_{A_1}-\xi_{A_2})^2 + (\eta_{A_1}-\eta_{A_2})^2}}{2\tan\dfrac{(\varphi_3)_{1,2}}{2}} \frac{k_{1,2}}{\sqrt{1+k_{1,2}^2}} \tag{2}$$

където

$\xi_{A_{1,2}} = \dfrac{\xi_{A_1}+\xi_{A_2}}{2}$, $\eta_{A_{1,2}} = \dfrac{\eta_{A_1}+\eta_{A_2}}{2}$ са координатите на средата $A_{1,2}$ на отсечката A_1A_2;

$k_{1,2} = -\dfrac{\xi_{A_1}-\xi_{A_2}}{\eta_{A_1}-\eta_{A_2}}$ - ъгловият коефициент на симетралата на отсечката A_1A_2;

$(\varphi_3)_{1,2} \in [90^\circ, 120^\circ]$ - ъгълът на завъртане на звено 3 при преминаването на механизма от положение 1 в положение 2.

Дължините на звената 3 и 0 се определят от:

$$l_3 = \sqrt{(\xi_{A_1} - \xi_O)^2 + (\eta_{A_1} - \eta_O)^2}\ , \qquad l_0 = \sqrt{\xi_O^2 + \eta_O^2} \tag{3}$$

За координатите на точка A в координатната система Oxy се получава:

$$\begin{aligned} x_{A_1} &= l_0 + \xi_{A_1}\frac{\xi_O}{\sqrt{\xi_O^2+\eta_O^2}} + \eta_{A_1}\frac{\eta_O}{\sqrt{\xi_O^2+\eta_O^2}} \qquad & x_{A_2} &= l_0 + \xi_{A_2}\frac{\xi_O}{\sqrt{\xi_O^2+\eta_O^2}} + \eta_{A_2}\frac{\eta_O}{\sqrt{\xi_O^2+\eta_O^2}} \\ y_{A_1} &= -\xi_{A_1}\frac{\eta_O}{\sqrt{\xi_O^2+\eta_O^2}} + \eta_{A_1}\frac{\xi_O}{\sqrt{\xi_O^2+\eta_O^2}} & y_{A_2} &= -\xi_{A_2}\frac{\eta_O}{\sqrt{\xi_O^2+\eta_O^2}} + \eta_{A_2}\frac{\xi_O}{\sqrt{\xi_O^2+\eta_O^2}} \end{aligned}, \tag{4}$$

Минималната стойност на ъгъла на предаване на движението се получава или при $AC = AC_{\min}$, или при $AC = AC_{\max}$.

Разстоянието $AC = AC_{\min}$ се определя от:

$$AC_{\min} = \begin{cases} l_3 - l_0, & y_{A_1} \le 0 \\ \sqrt{(x_{A_1} - l_0)^2 + y_{A_1}^2}, & y_{A_1} > 0. \end{cases} \tag{5}$$

Съответната стойност $\gamma_{\min_1}$ се определя от

$$\gamma_{\min_1} = \arccos\frac{l_4^2 + l_5^2 - AC_{\min}^2}{2 l_4 l_5}\ . \tag{6}$$

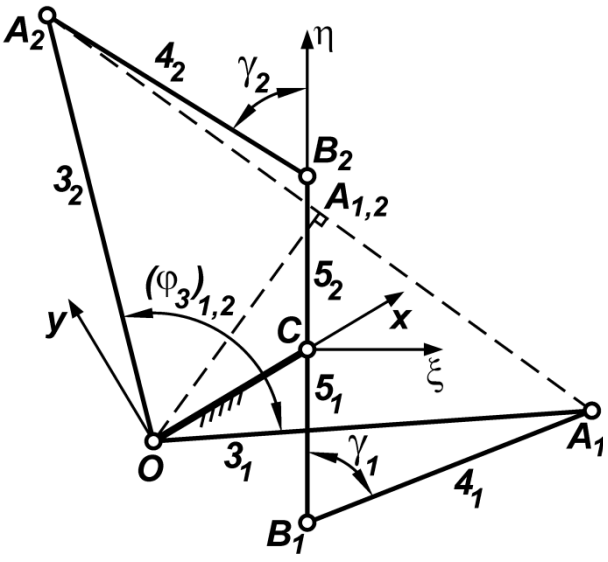
Възможно е при $y_{A_1} \le 0$ да се получи $(l_4^2 + l_5^2 - AC_{\min}^2)/(2 l_4 l_5) > 1$, което означава, че дори и чисто геометрично, преминаването на механизма от едното в другото му крайно положение е невъзможно.

Разстоянието $AC = AC_{\max}$ се определя от:

$$AC_{\max} = \sqrt{(x_{A_2} - l_0)^2 + y_{A_2}^2}\ . \tag{7}$$

Съответната стойност $\gamma_{\min_2}$ се определя от

$$\gamma_{\min_2} = \pi - \arccos\frac{l_4^2 + l_5^2 - AC_{\max}^2}{2 l_4 l_5}\ . \tag{8}$$



Фиг. 2. Двете крайни положения на шарнирния четиризвенен механизъм

Минималната стойност на ъгъла на предаване на движението се определя от по-малката от двете стойности $\gamma_{\min_1}$ и $\gamma_{\min_2}$:

$$\gamma_{\min} = \min(\gamma_{\min_1}, \gamma_{\min_2})\ . \tag{9}$$

Практически синтезът на кулисния механизъм може да се извърши по следния начин. Избира се приблизително разстоянието OD по конструктивни и силови съображения. При това дължината на отсечката D_1D_2 е равна на

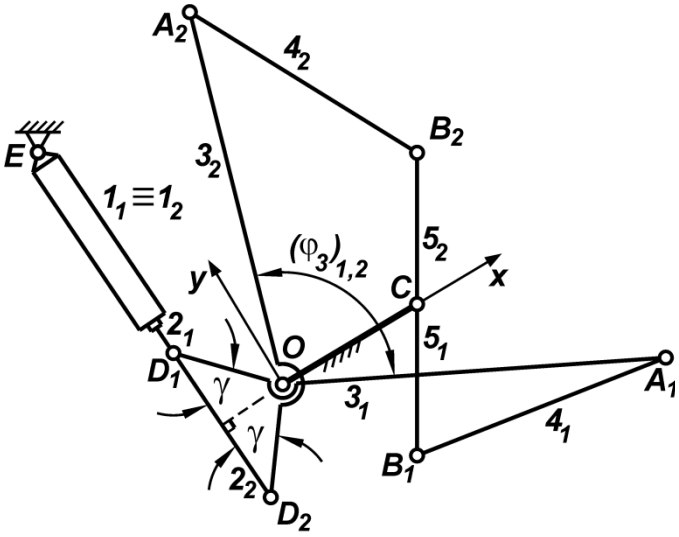
$$\overline{D_1D_2} = OD\sqrt{2(1-\cos(\varphi_3)_{1,2})}\,.$$

Избира се от каталог за пневмоцилиндри най-близкия до тази стойност ход h. След това се определя действителната стойност на OD

$$OD = \frac{h}{\sqrt{2(1-\cos(\varphi_3)_{1,2})}}\,.$$

Точка E се избира върху правата D_1D_2, като положението й се определя от габаритния размер $L_0 \equiv \overline{ED_1}$ на цилиндъра в начално положение.

Полученото по този начин решение за кулисния механизъм се отличава с това, че минималните ъгли на предаване на движението (които се получават за двете крайни положения) са равни, като ъгъла на завъртане на цилиндъра около точка E е минимален, което води до незначителни кориолисови сили, а това от своя страна влияе благоприятно върху износването на буталото, пръта и цилиндъра.



Фиг. 3. Двете крайни положения на синтезирания механизъм

Пример: Да се синтезира механизъм за обръщане на кошчета със структура *Watt II*, при който изходното звено да се завърта на 180°, а изходното звено на кулисния механизъм се завърта на 100°.

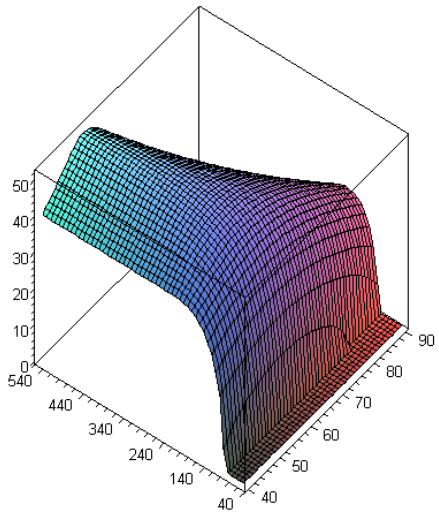
Избрана е дължина на звено 5 $l_5 = 200\,mm$. Тъй като второто положение на механизма, при което кошчето е пълно, е по-натоварено, се избира $k = 1.2$. Двата варируеми параметъра се изменят в интервалите $l_4 \in [50\,mm, 550\,mm]$ и $\gamma_1 \in [40^\circ, 90^\circ]$. На фиг.4 е изобразена повърхнината $\gamma_{\min}(l_4, \gamma_1)$. Оптимално е това решение, при което се получава максимална стойност на $\gamma_{\min}$. Търсеното решение се получава при $l_4 = 420.10\,mm$ и $\gamma_1 = 54.28^\circ$, като $\gamma_{\min} = 51.61^\circ$, $\xi_O = -159.07\,mm$, $\eta_O = -92.06\,mm$, $l_0 = 183.82\,mm$, $l_1 = 518.68\,mm$.

На фиг.5 е изобразена графиката на изменение на ъгъла на предаване на движението за целия интервал на изменение на входната координата за полученото решение.

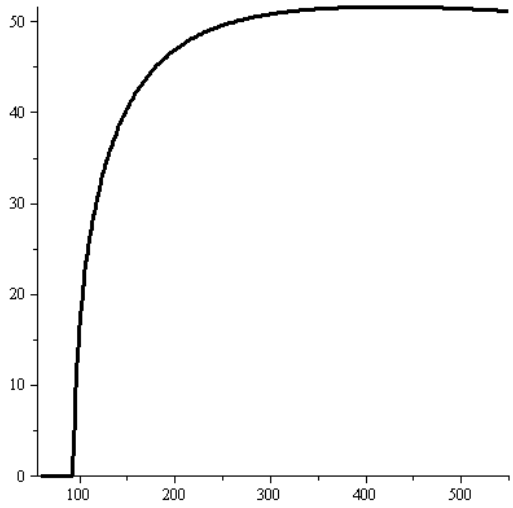
Избран е ход на цилиндъра $h = 200\,mm$ и първоначална дължина $L_0 \equiv 340\,mm$.

3. СЪЗДАВАНЕ НА ВИРТУАЛЕН ПРОТОТИП

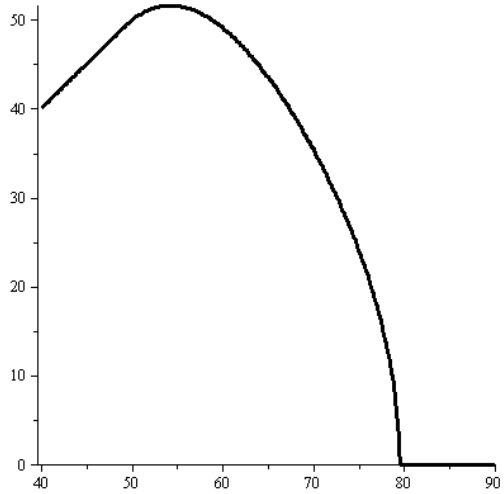
Манипулационният механизъм е разработен конструктивно и е моделиран в средата на SolidWorks. Отчетени са масовите параметри на звената, гравитационното натоварване и триенето в кинематичните двоици, както и масата на кошчето, която е около 9 kg. Извършена е симулация на движението на механизма с помощта на CosmosMotion. Получени са резултати за реакциите в кинематичните двоици и уравновесяващата сила върху буталото на цилиндъра при движението му с постоянна скорост. Максималната стойност на уравновесяващата сила е 1438 N. При цилиндър с диаметър на буталото 63 mm и при налягане от 6 bar буталото ще действа със сила 1870 N, което означава, че има запас от сила около 30%.



а)

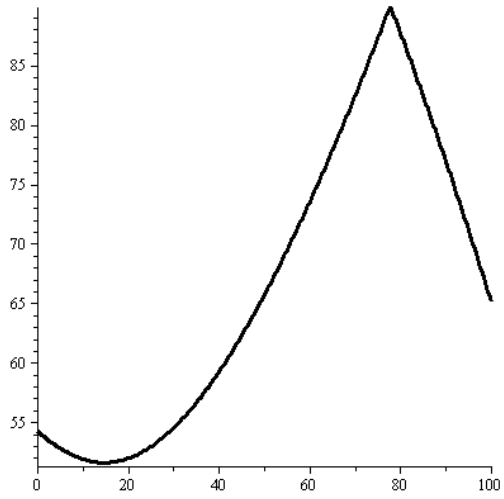


б)

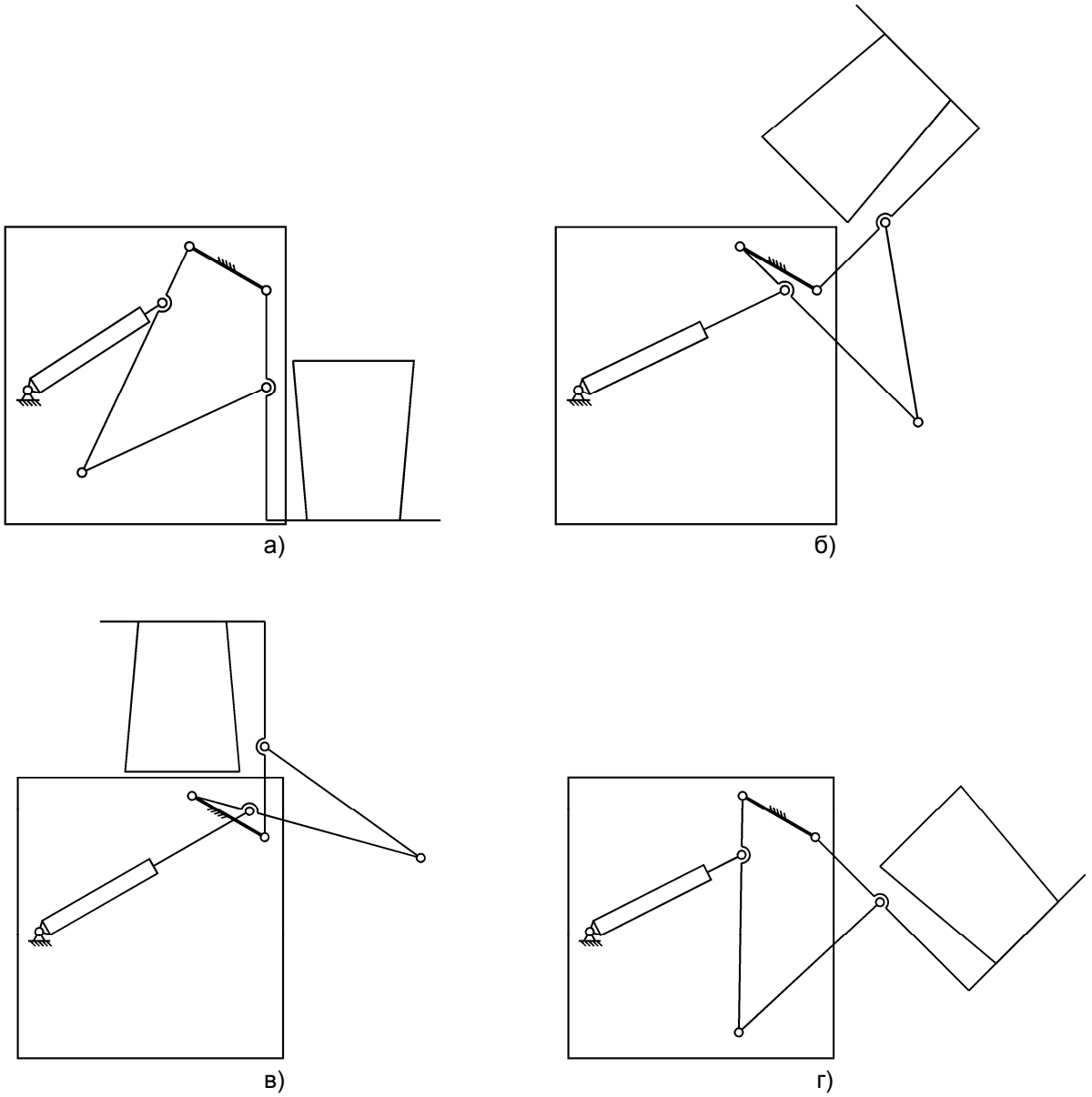


в)

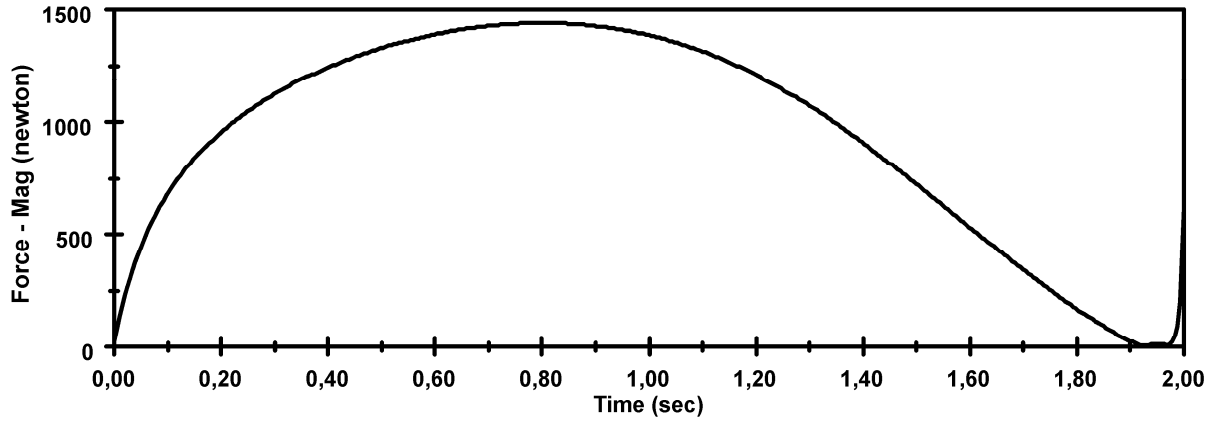
Фиг. 4. Повърхнината $\gamma_{\min}(l_4,\gamma_1)$ ***(а), графиката на*** $\gamma_{\min}(l_4,54.28^\circ)$ ***(б) и графиката на*** $\gamma_{\min}(420.10,\gamma_1)$ ***(в)***



Фиг. 5. Графика на изменение на ъгъла на предаване на движението за синтезирания ШЧМ



Фиг. 6. Един работен цикъл на манипулатора – зареждане с пълно кошче в долно положение (а), движение нагоре с пълно кошче (б), горно крайно положение, в което кошчето се разтоварва (в), движение надолу с празно кошче (г) към началното положение, при което празното кошче се заменя с ново, пълно кошче



Фиг. 7. Уравновесяващата сила върху буталото на цилиндъра за първата половина от цикъла (движение отдолу-нагоре с пълно кошче)

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извършен е синтез на лостов манипулатор за обръщане на кошчета, част от линия за стерилизиране на болнични отпадъци. Създаден е виртуален прототип на модела, с чиято помощ са определени реакциите в кинематичните двоици и уравновесяващата сила върху буталото на цилиндъра.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията, отразени в настоящата статия, са финансирани по договор №Д00-106-5/12.2008 *„Иновационен център за върхови научни постижения, развитие и трансфер на технологии" с насоченост в областта на микро електромеханични системи (МЕМС) и рекуперирање на енергия* между НИС при ТУ-София и ФОНД "НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ", МОМН на РБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Burmester, L., *Lehrbuch der Kinematik*, *Felix, A., Leipzig,* **1888**.
2. Gruebler, M. *Getriebe lehre. Eine theorie des zwanglaufs un der ebenen mechanismen*. Berlin. **1917** (1921).
3. Lichtenheldt, W. *Konstruktionslehre der Getriebe*. *Akademie-Verlag*, Berlin, 1961, 2-e Aufl., **1964**, s. 228.
4. Shoup, T. *A Practical Guide to Computer Methods for Engineers*. *Prentice-Hall,* **1979**, p. 242.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

маг. инж. Явор СОФРОНОВ
кат. ТММ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: engineer@dir.bg

проф. д.т.н. инж. Витан ГЪЛЪБОВ
кат. ТММ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: vgalabov@tu-sofia.bg

доц. д-р инж. Георги ТОДОРОВ
кат. ТМММ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

маг. инж. Цветозар ИВАНОВ
лаб. „CAD, CAM, CAE в индустрията", МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: tsivanov@3clab.com

доц. д-р инж. мат. Николай НИКОЛОВ
кат. ТММ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: nickn@tu-sofia.bg

гл. ас. д-р, д-р инж. мат. Яна СТОЯНОВА
кат. ДУ, ФПМИ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: yast@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

FILLING SIMULATION AS A BASIS OF THE PLASTIC COMPONENTS VIRTUAL PROTOTYPING OF PRODUCTION PROCESS

Georgi TODOROV **Borislav ROMANOV** **Alek KOIUMDZHIAN**

Abstract: *In this paper was studied the mold filling process simulation of the plastic components using latest FEA based software tools as Moldex 3D. Test case of the typical plastic component filling simulation was worked out, pay attention of the process requirements in the early design stage, showing the advantages of the virtual engineering technology for process parameters predicting and optimization in comparison with conventional "physical tests- improvement" approach.*

Key Words: *CAM, CAE, Virtual Prototyping, Filling Simulation.*

СИМУЛАЦИЯТА НА ЗАПЪЛВАНЕТО КАТО ОСНОВНА ЧАСТ ОТ ВИРТУАЛНИЯ ПРОТОТИП НА ПЛАСТМАСОВИТЕ ИЗДЕЛИЯ ПРОИЗВЕДЕНИ ЧРЕЗ ШПРИЦВАНЕ

Георги ТОДОРОВ **Борислав РОМАНОВ** **Алек КОЮМДЖИЯН**

Резюме: *В представения материал е разгледан процеса на симулация на запълването на шприцформи за производство на изделия от пластмаса. Разгледан е пример, с чиято помощ са показани предимствата на виртуалното прототипиране при проектирането на този тип детайли в сравнение с традиционно използвания досега метод "проба-грешка".*

Ключови думи: *CAM, CAE, виртуално прототипиране, симулация на запълването*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В последните години използването на изделия от пластмаса се увеличава с бързи темпове. Това е обусловено от една страна от синтезирането на материали с по добри качества,както механични, така и екологични (подлежат на рециклиране), а от друга непрекъснатия натиск на пазара за по-качествени изделия на по-ниски цени. Най-разпространения начин за производство на продукти от пластмаса е шприцването. Технологията му има следните ключови предимства:

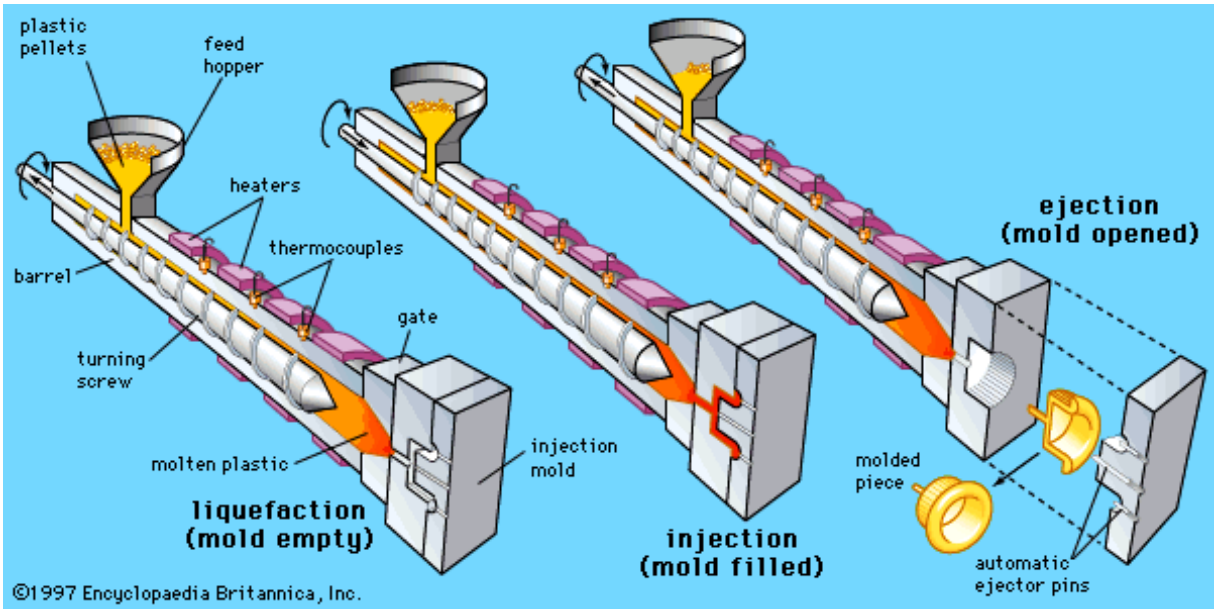
- възможност за получаване на детайли със сложна геометрия с една производствена операция (шприцване) като част от автоматичен процес.
- получаването на детайли с отлични точностни характеристики, които не се нуждаят от последваща обработка
- отлична повторяемост на получените изделия
- възможност за производството на големи серии
- използването на широка гама от полимерни материали (термопластични, термореактивни, с различни пълнители като стъклени или въглеродни влакна) в зависимост от изискванията към конкретното изделие. Всичко това предопределя все по-широкото приложение на този вид изделия, което налага оптимизиране на процеса на производство от самото му начало.

Схематично описание на процеса на шприцване може да се види на фиг. 1.

Качеството на изделието от пластмаса зависи от множество фактори като:

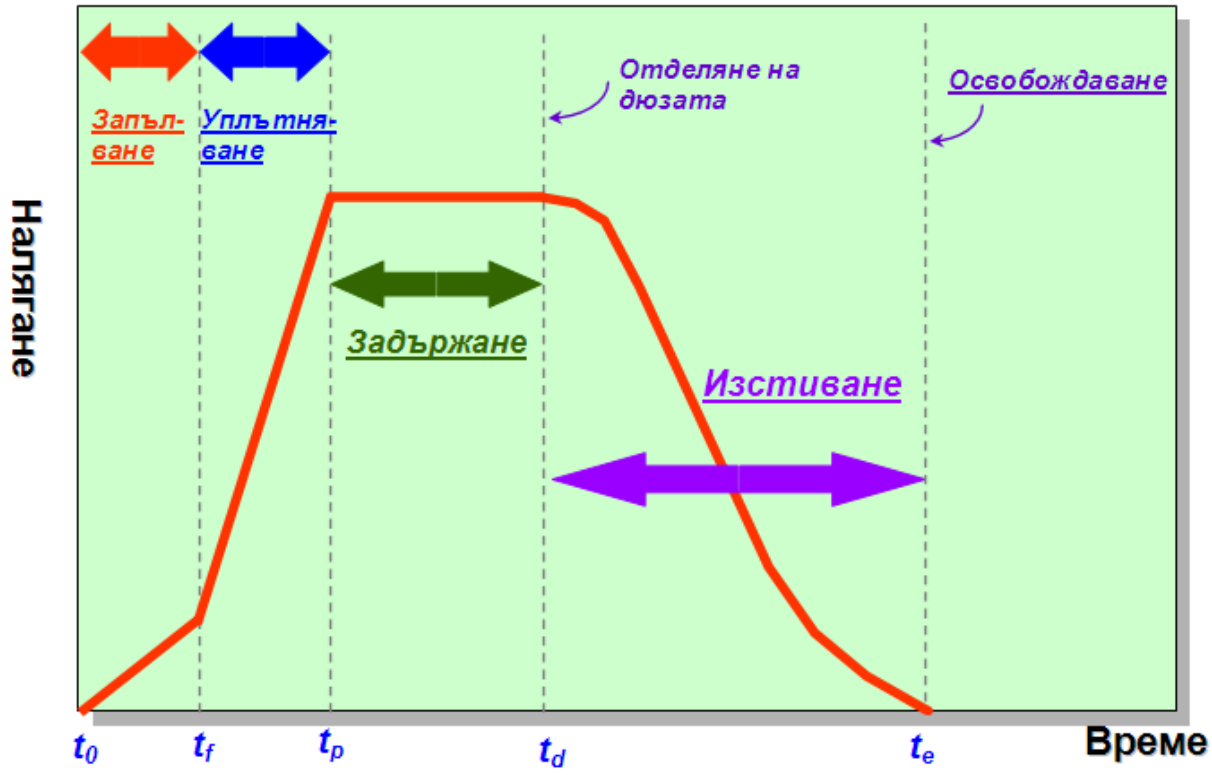
- дизайна на самото изделие;
- дизайна на инструмента за шприцване;
- избрания материал;
- параметрите на машината и на процеса.

Да се оптимизират едновременно всички те е една сложна задача. Доскоро качеството на изделието се оптимизираше по метода "Проба-грешка" с помощта на множество експерименти. Този начин е надежден, но изисква много време и ресурси, които са все по-ограничени.



Фиг. 1. Схематично описание на процеса на шприцване

Запълването е сложен процес, който преминава през следните фази (вж. фиг. 2).



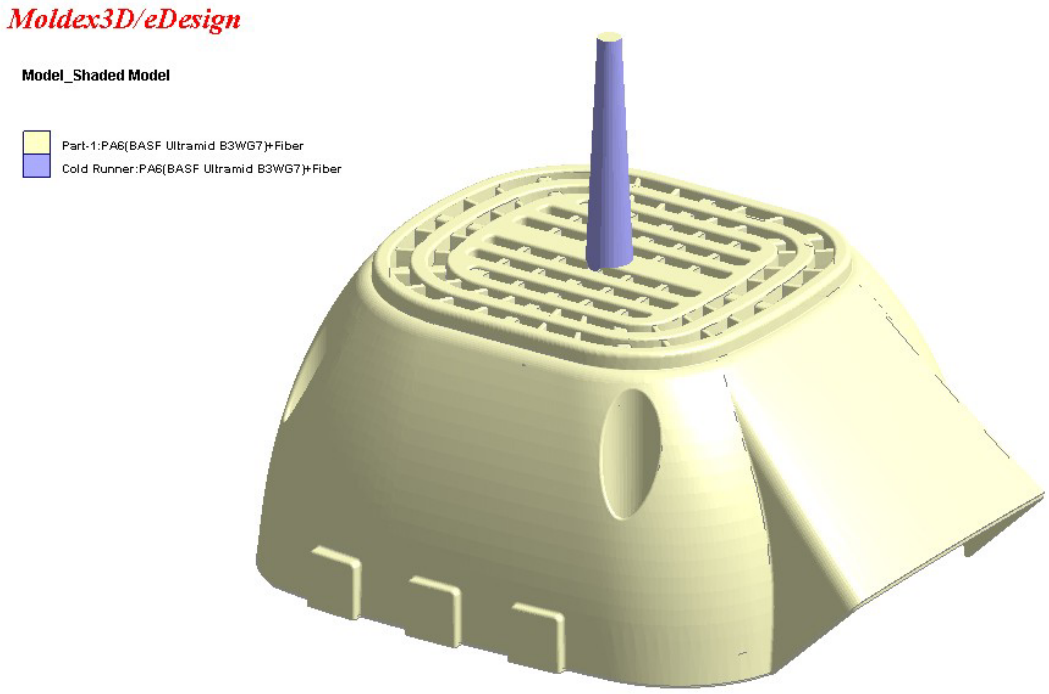
Фиг. 2 Фази на процеса на запълване

2. СИМУЛИРАНЕ НА ЗАПЪЛВАНЕТО

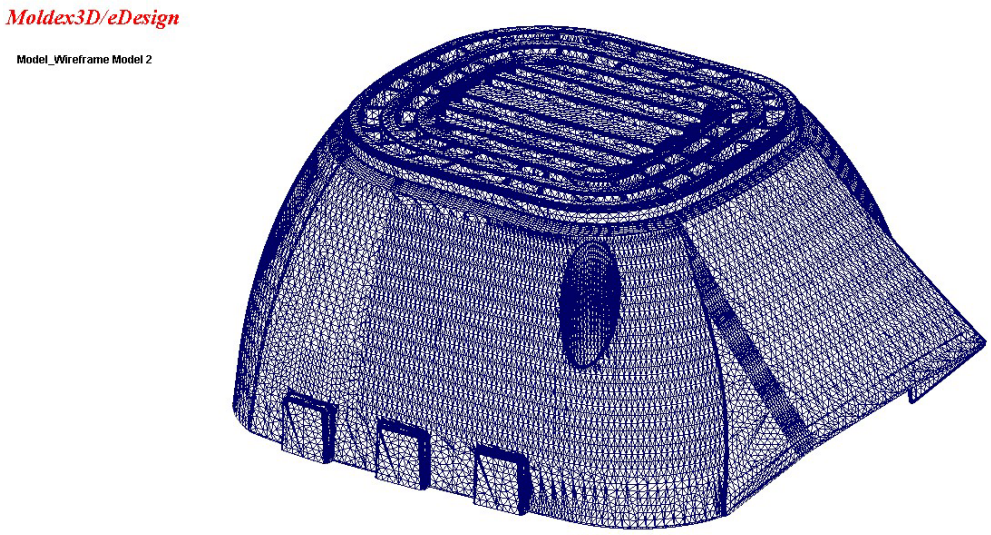
С развитието на изчислителната техника и съответното програмно осигуряване виртуалното прототипиране на изделията и процесите става все по-актуално и ефективно за верифициране на качеството преди да е направена каквато и да е инвестиция в екипировка. С помощта на CAE (Computer Aided Engineering) е възможно симулирането [1-3] на все повече елементи от процеса на проектиране на дадено изделие. Якостните статични и динамични пресмятания вече са задължителна част от проектирането на всяко изделие. Симулацията на температурното

поведение също е овладяна. Напоследък все повече се увеличават възможностите за анализ на флуидни потоци. Симулирането на запълването на формата за получаване на изделия от пластмаса е комплексен проблем съчетаващ в себе си температурен анализ, изследване на флуидни потоци и фазово превръщане. Поради изключителната сложност на процеса неговото изследване е възможно с прилагането на числени методи изискващи голяма изчислителна мощ. Основно се ползват 2 метода за пресмятане – МГЕ (Метод на граничните елементи) и МКЕ (Метод на крайните елементи). Първият се ползва от сравнително по–дълго време, тъй като се нуждае от по-малък ресурс за пресмятане. МКЕ се ползва активно за симулация на запълването на шприцформи в последните няколко години. Това е така защото се налага ползването на мощни компютри за пресмятане, но за сметка на това процеса се симулира с много висока точност [4] . Най-разпространената програма за симулация на запълването на шприцформи е Moldex3D [5].

В тази разработка е представена симулацията на запълването на пластмасово изделие корпусна част от ръчен електроинструмент, фиг.3а. Използваният материал е PA6 GF30 (Полиамид с пълнител 30% стъклени влакна).



Фиг. 3а. Модел на изследваното изделие с показана точка на шприцване



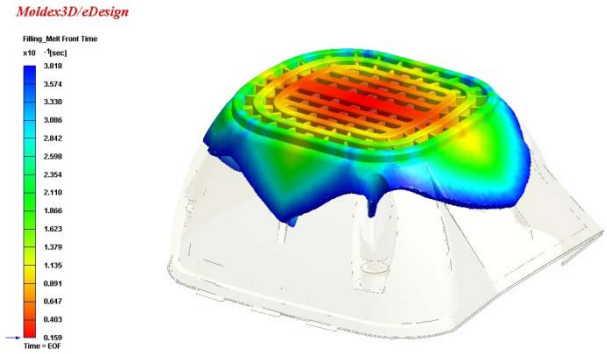
Фиг. 3б. Модел от крайни елементи

При този метод на пресмятане гъстотата на мрежата е от критично значение за точността, фиг. 3б. Това едновременно със сложността на процеса е основната причина за необходимостта от голям изчислителен ресурс. В показания примерен модел мрежата се състои от 916422 бр. крайни елементи и 639513 бр. възли.

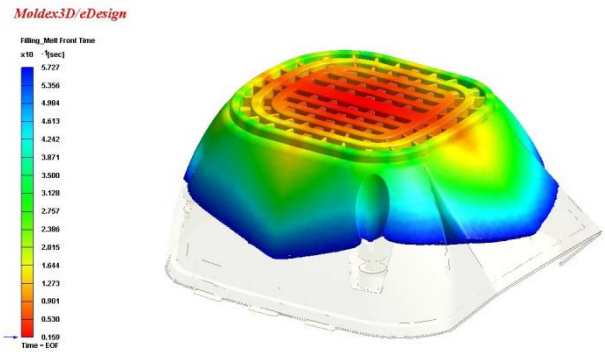
3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

Осъществяването на симулация на процеса на запълване чрез създадения виртуален прототип с помощта на пакета Moldex 3D е показан в графичен вид на фигурите по-долу. Симулацията дава възможност за анимация на процеса на запълване във времето (фиг. 4.а), както и текущото налягане по работните повърхности. Така проектанта може да направи анализ на процеса с оглед на бъдещи коригиращи действия.

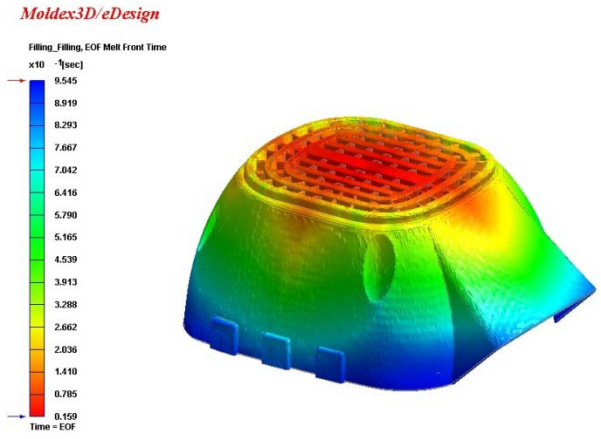
Резултати от фазата на запълване



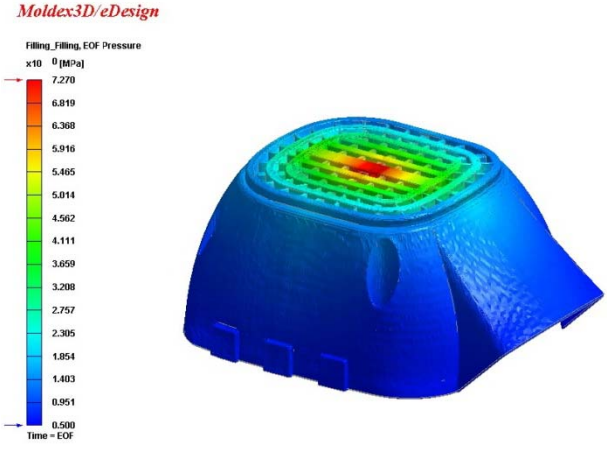
40% запълване на формата



60% запълване на формата

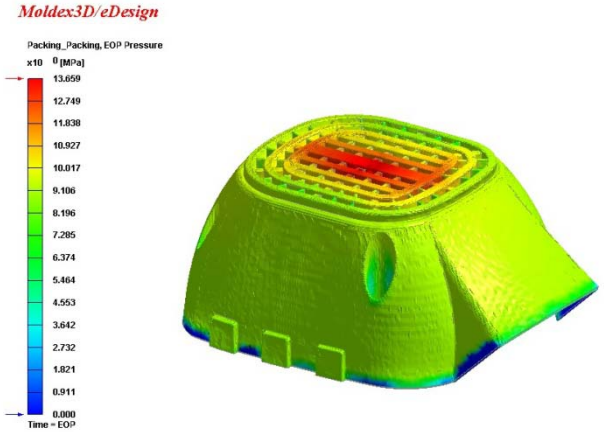


Време за запълване при 100% запълнена форма



Налягане във формата при 100% запълване

Резултати след фазата на уплътняване



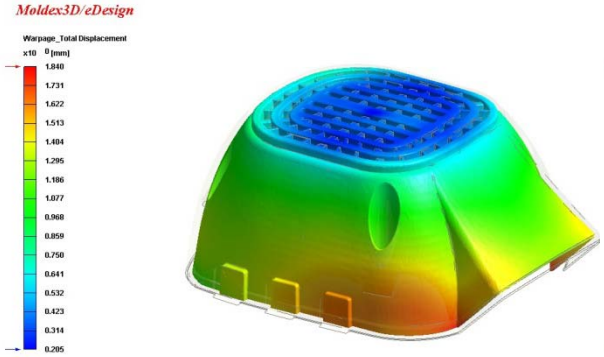
Налягане във формата



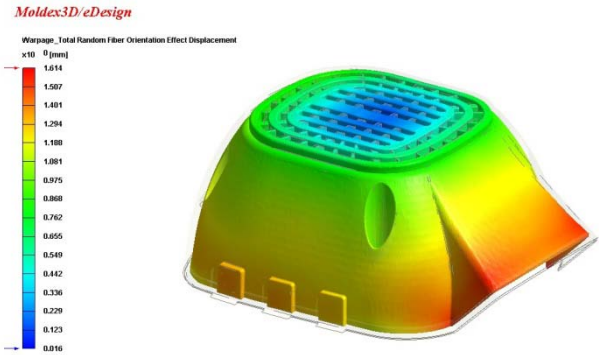
Плътност на детайла

Фиг. 4а. Резултати от симулацията

Резултати в края на процеса



Общо "измятане" на детайла



Общо "измятане" вследствие на случайното ориентиране на стъклените влакна



Общо свиване на детайла, %

Фиг. 4б. Резултати от симулацията

От особено значение е възможността за получаване на информация за редица дефекти като линии на засрещане, опасност от поява на въздушни мехури, недозапълване и др.

Трябва ***специално*** да се подчертае възможността да се моделира и отчете в хода на симулацията наличието и конкретната геометрия и параметри на охлаждащия агент на охладителната система на проектирания инструмент. Това има особено важно значение и за оценяване на деформациите в следствие на свиването и получаваното *общо "измятане" и такова дължащо се на случайното (ненасочено) ориентиране на усилващите влакна (стъклени за този материал)*, виж фиг. 4 б.

За конкретния пример се получават деформации в порядъка до около 1мм. Тези данни бяха измерени след изработване на инструмента в хода на неговото тестване при работа и бяха установени различия по 12% в полученият физически деформации спрямо резултатите от симулирането.

След анализ на така разгледания примерен процес на симулация може да се посочи, че надеждността и точността на резултатите зависят от:

- Дизайна на изделието от пластмаса;
- Дизайна на инструмента;
- Използваните числени методи за пресмятане при реализацията на симулацията;
- Параметрите на полимерния материал;
- Геометричния модел на изследваното изделие (направени идеализации);
- Знанията и опита на изследователя.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От представения подход за симулиране на процеса на запълване и разгледания пример може да се направят следните изводи:

- Използването на CAE технологиите скъсява значително времето от дизайна до производството на изделия от пластмаса;
- CAE технологиите дават възможност да се моделира и изследва влиянието на различните фактори на процеса върху качеството и времетраенето на запълването;
- Оптимизацията на процеса на производство е възможна и много по-ефективна, тъй като итерациите се правят върху виртуалния компютърен модел вместо върху физически инструмент, като така се пестят изключително много разходи и същевременно се подобрява както единичното производствено време, така и качеството на произвежданите детайли и устойчивостта на производствения процес.

БЛАГОДАРНОСТИ

Това изследване е осъществено във връзка и с помощта на Фонд „Научни изследвания" при МОМН, в изпълнение на проект „Иновационен център за върхови научни постижения, за развитие и трансфер на технологии, с насоченост в областта на микроелектромеханични системи (МЕМС) и рекуперирване на енергия", с договор № Д002-106/15.12.2008г, както и на двустранният Българо-Китайски проект D002-11/05, Фонд „Научни изследвания", при МОМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Особенности проектирования изделий из ПМ **(**Част 5 Положение литника). "Полимербранш №_2001". www.polymerbransh.com.

2. Todorov, N. G.Todorov, B. Romanov. *SIMULATION OF PLASTIC INJECTION MOLD FILLING IN RELATION TO THE INJECTION POINT ALLOCATION AND GENERALIZED RULES DEFINITION*. P r o c e e d i n g s of the International conference **COMA'04**, Cape town, **2004**, S. Africa , pp 320-325.

3. *Събев, П., Вангелов, Б. Шприцформи и пресформи*. ,,Техника", София **1989**.

4. Rong-Yeu Chang, Yi-Hui Peng, David C.Hsu and Wen-Hsien Yang. *THREE-DIMENSIONAL INSERT MOLDING SIMULATION. CoreTech System Co.,Ltd., HsinChu, Taiwan, ROC, http://www.moldex3d.com/jla/download/papers/3DCAE/0401.pdf*

5. *Moldex3d – Help* , http://www.moldex3d.com/jla/en/.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Георги ТОДОРОВ
кат. ТММИ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

маг. инж. Борислав РОМАНОВ
Лаб. CAD/CAM/CAE в индустрията, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: bromanov@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

GATING SYSTEM DEVELOPMENT FOR A COMPLEX HIGH PRESSURE DIE CASTED COMPONENT, SIMULATING THE PROCESS BY NOVA FLOW

Georgi TODOROV **Ivan IVANOV**

Abstract: *The present matter shows the manner of creating on gating system for casting, casted under high pressure, with the help of a software package of model of the process. By consecutive progresses the very process is identified of projecting a gating system of a real die tool.*

Key Words: *high pressure die casting, casting process simulation, die, gating system, virtual engineering*

ПРОЕКТИРАНЕ НА ЛЕЯКОВА СИСТЕМА ЗА СЛОЖНА КОРПУСНА ОТЛИВКА ЗА ЛЕЕНЕ ПОД ВИСОКО НАЛЯГАНЕ ЧРЕЗ СИМУЛИРАНЕ НА ПРОЦЕСА С ПОМОЩТА НА СОФТУЕРЕН ПАКЕТ NOVA FLOW

Георги ТОДОРОВ **Иван ИВАНОВ**

Резюме: *Настоящият материал представя начина на проектиране на леякова система за отливка отлята под високо налягане, с помощта на софтуерен пакет за симулация на процеса. В случая се използва софтуерният пакет за симулации NOWA FLOW. Чрез последователни стъпки е описан самият процес на проектиране на леяковата система на реален инструмент пресформа.*

Ключови думи: *леене под високо налягане, симулация на леярските процеси, пресформи, леякова система, виртуално инженерство.*

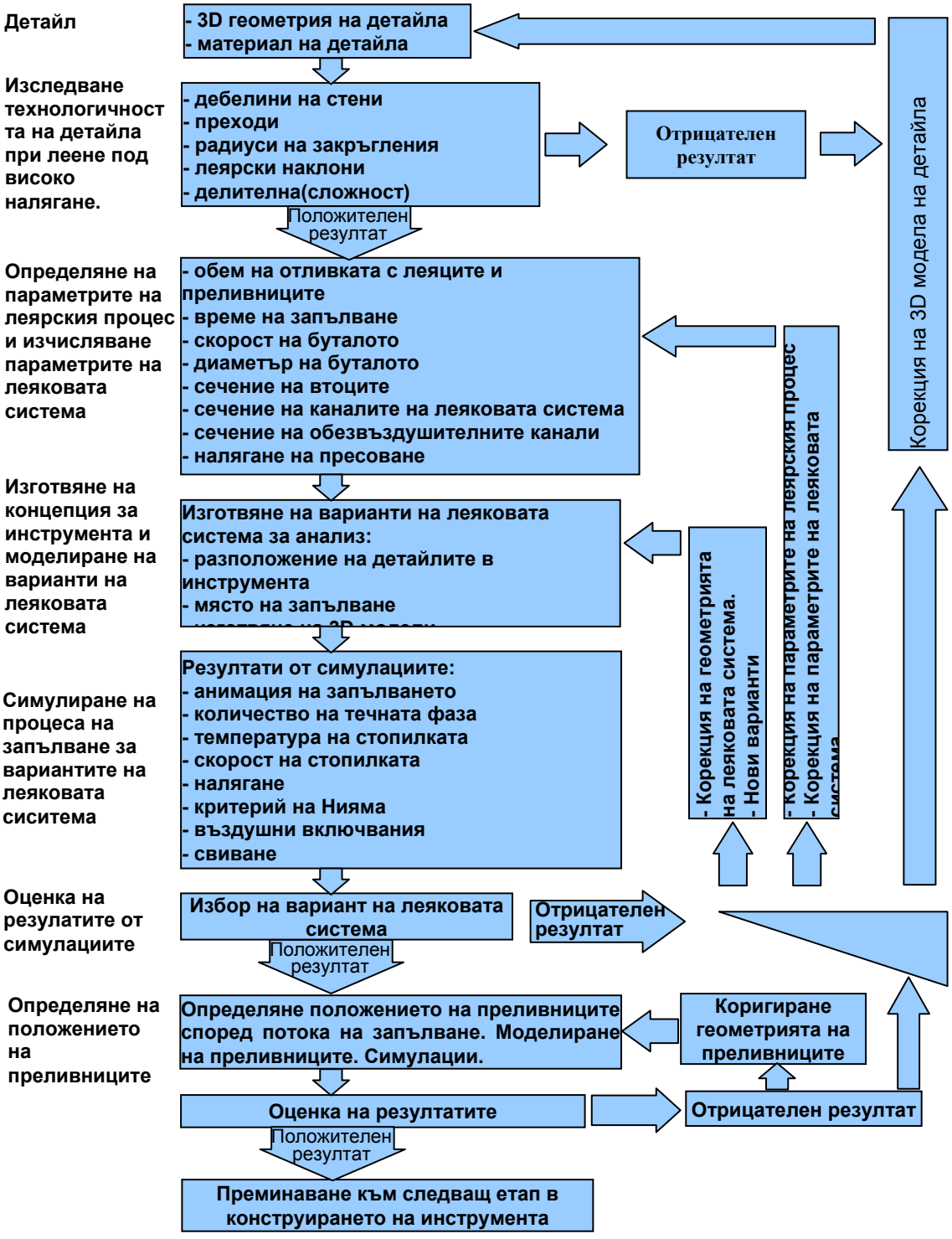
1. УВОД

Поради своите механични и тегловни показатели леките сплави са намерили в промишлеността и бита голямо приложение [1]. Чрез процеса леене под високо налягане от тях могат да се правят изключително здрави и тънкостенни детайли със сложна форма. Пазара на изделията, за които са предназначени отливките е изключително динамичен и изисква изключително кратки срокове. От друга страна към самите отливки се предявяват високи изисквания относно здравината и надеждността им. Трета характерна особеност на процеса е необходимостта от скъпа и времеемка за изработване инструментална екипировка. Не на последно място са изискванията към дизайна и качеството на външните повърхнини и в много случаи те са важен фактор за успех на пазара на редица масови изделия. Основните фактори за получаването на годно изделие са правилната конструкция на инструмента и правилният избор на параметрите на технологичният процес. От гледна точка на конструкцията на инструмента е важно предварително(преди още да бъде започнато същинското конструиране на инструмента), да бъдат определени параметрите на процеса, както и самата леякова система. Симулирането на процеса в етапа на проектирането на инструмента е задача даваща възможност да се намери едно добро решение за конструкцията му и евентуално и на детайла (подобряване технологичността му още в етапа на проектиране), чрез максимално взаимно адаптиране спрямо процеса на леене при запазване на всички налагания от останалите възли и елементи.

В съвременната техника при създаване на инструменти за леене под налягане, използването на специализираните софтуерни продукти за анализ е неделима част от процеса на проектирането на инструмента. Един от проблемите, решавани с помощта на тях е конструирането и оптимизацията на леяковата система на инструмента. Това изследване има за цел да изследва тези възможности при проектиране на инструменти с използване на система за симулация на процеса.

2. ПРОЦЕС НА ПРОЕКТИРАНЕ

Симулациите имат не проектен а проверовъчен характер, поради това , че е необходимо да имаме начален модел (3D геометрия на детайла с леякова система и параметри на процеса) [1,2,3,4]. При подготовката на симулациите се въвеждат входните данни на процеса и предварително дефинирани леякова система и отливка (като геометрия и размери). На базата на това системата извършва изчисления и дава крайни резултати, по които се определя качеството на избраната леяковата система. Системите не предлагат крайни(завършени) варианти на леяковата система (като размери и геометрия). Самият процес на проектирането и може да се изпълни в определен брой последователни стъпки описани в блок-схемата (фиг. 1).



Фиг. 1. Процес на проектиране на леякова система за инструмент предназначен за леене под високо налягане

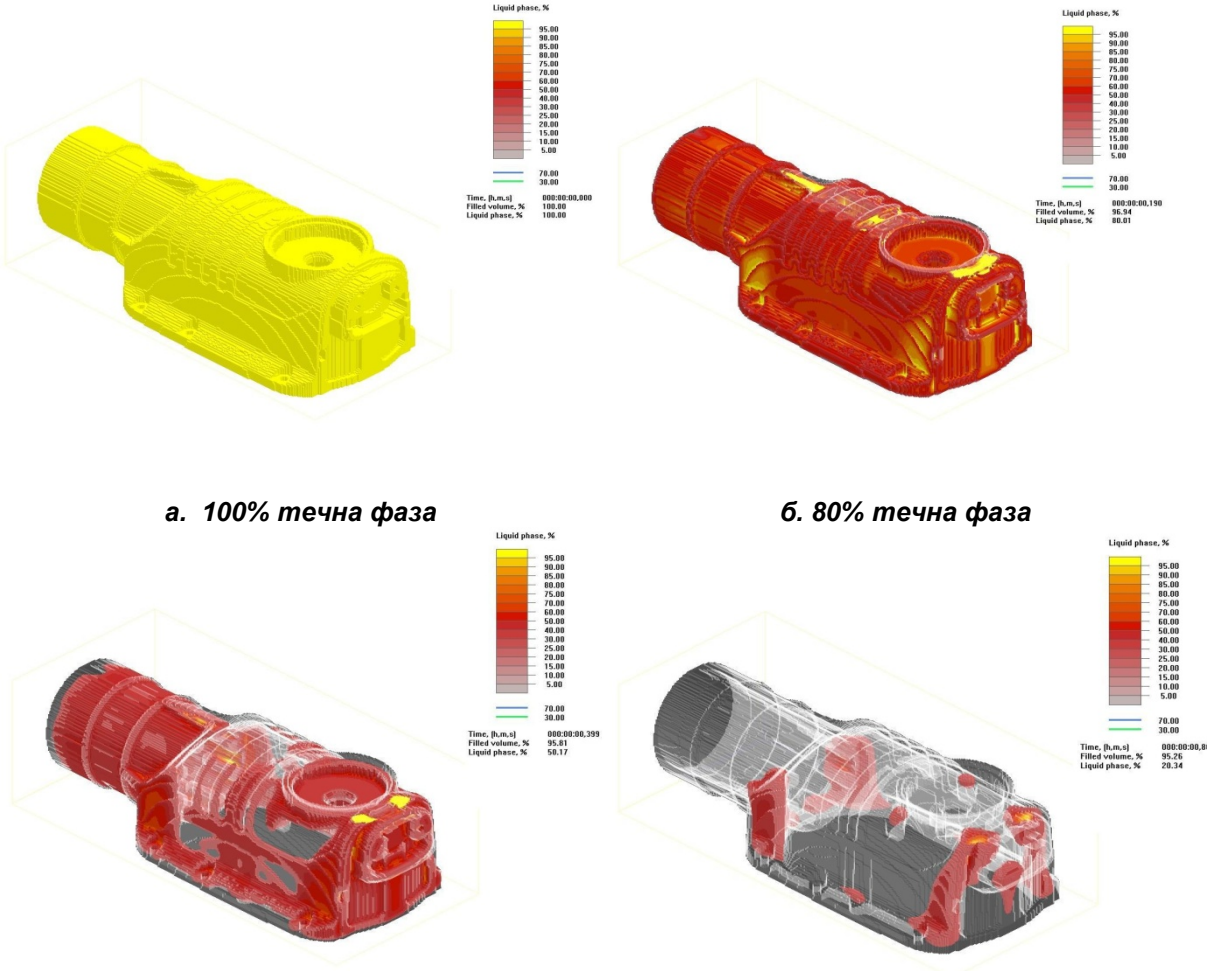
3. ПРОЕКТИРАНЕ НА ЛЕЯКОВАТА СИСТЕМА ЗА СЛОЖНА КОРПУСНА ОТЛИВКА ПОЛУЧЕНА ЧРЕЗ МЕТОДА ЛЕЕНЕ ПОД ВИСОКО НАЛЯГАНЕ

3.1. Входни данни

Като входни данни при проектирането на инструмента са зададени геометрията на отливката (3D модел), материала и наличните машини (пресгуси) в леярната. Детайла представлява сложна корпусна отливка – кутия редукторна за електроинструмент перфоратор с вертикален двигател. Материала, от който се изготвя, е магнезиева сплав MgAl9Zn1. Машината, на която ще се извършва производството е пресгус 71109Б CNC със затварящо усилие 4100kN.

3.2. Технологичност на отливката

Като първа стъпка следва извършване на технологична оценка на детайла. Оценява се неговата пригодност за леене под налягане. Леярските наклони трябва да бъдат в рамките на нормите. Преглежда се за наличие на остри ръбове. Където има такива е необходимо да се направят радиуси на закръгления. Преходите между стените с различна дебелина се проверяват предварително дали отговарят на определени правила [5].Оценяват се дебелините на стените, като целта е да се избегне струпване на материал. Това може да се извърши с помощта на анализ за кристализацията на детайла без леяковата система. От този анализ се определя и времето за кристализация на отливката (фиг. 2). Разглежда се количеството течна фаза в даден момент от кристализацията.



а. 100% течна фаза ***б. 80% течна фаза***

в. 50% течна фаза ***г. 20% течна фаза***

Фиг. 2. Кристализация на отливката

На фиг. 2 се вижда протичането на кристализацията на отливката. При 50% течна фаза се виждат зони, които вече са кристализирали(прозрачните). При 20% ясно се вижда, че детайла има няколко удебелявания, които кристализират последни. Имайки в предвид това, че са разположени в зони, които за далеч от възможните места за захранване има опасност да се появят дефекти (всмукнатини). В показаният случай техният обем не е значителен. На този етап се препоръчва коригиране на геометрията на детайла , чрез отнемане на материал от тези зони. В случая времето за пълна кристализация е около 4s, което от практиката показва, че е в границите за отливка с подобни форма и размери.

3.3. Определеляне параметрите на технологичния процес

След уточняването на геометрията на детайла се пристъпва към следващият етап – определяне параметрите на технологичния процес и изчисляване на параметрите на леяковата система. Това става по определени правила [5,6]. Като начало се определя възможността на коя машина ще се произвежда детайла и броя на гнездата. В случая машината е зададена предварително. От гледна точка на затварящото усилие се извършва проверочно изчисление за варианти с 1 и 2 гнезда. За целта се изчислява отварящата сила и се сравнява с максимално допустимата затваряща на машината. Изходни данни за това са общата проектирана площ на формообразуващите кухини и специфичното налягане на леене.

Таблица 1 Параметри на инструмента при вариант с 2 гнезда

	Параметър	**Означение**	**Брой гнезда**		**Описание**
			1	**2**	
1	**Брой гнезда**	**n**	**1**	**2**	
2	**Площ на детайла**	**Ap(cm^2)**	**245**	**245**	**Проектирана площ в равнината на отваряне на инструмента**
3	**Площ на леяците с тапата**	**Ar(cm^2)**	**90**	**202**	**Проектирана площ в равнината на отваряне на инструмента**
4	**Площ на преливниците за 1 гнездо**	**Aov(cm^2)**	**50**	**50**	**Проектирана площ в равнината на отваряне на инструмента**
5	**Площ на плъзгачите на 1 гнездо**	**Asl(cm^2)**	**90**	**90**	**Проектирана площ в равнината на отваряне на плъзгача**
6	**Приведена площ на плъзгачите**	**Aslr(cm^2)**	**24,3**	**24,3**	**Приведена площ в равнината на отваряне на инструмента Aslr= Asl . tgα(α- ъгъл на наклона на затварящия клин на плъзгача)**
7	**Обща площ на детайла с леяковата система**	**Asp(cm^2)**	**409,3**	**840,6**	**Asp= n(Ap +Aslr + Aov) + Ar**
8	**Специфично налягане на леене**	**P(bar)**	**520**	**520**	**Зависи от сложността на отливката и типа на сплавта[6]**
9	**Затварящо усилие на машината**	**Fzu(kN)**	**4100**	**4100**	**От паспорта на машината**
10	**Коефициент на сигурност**	**f**	**1,4**	**1,4**	**Зависи от типа на сплавта, конструкцията на машината и др.[6]**
11	**Отваряща сила**	**Fs(kN)**	**2898**	**4371**	$Fs = \frac{Asp(cm^2).p(bar).10N}{1000cm^2}$
Fzu > Fs . f 2898 . 1,4 = 4057kN < 4100kN →Варианта с 1 гнезда е приложим за тази машина					
Fzu > Fs . f 4371 . 1,4 = 6119kN > 4100kN →Варианта с 2 гнезда е неприложим за тази машина					

Данните и изчисленията изложени в таблици 1 и 2 показват, че за машината 71109БСNC е приложим само едногнездов вариант на инструмента.

Следваща стъпка е определяне диаметъра на буталото, изчисляване на обема на леене и проверка по този параметър на възможностите на машината. За тази цел се определят теглото на детайла и приблизителното това на леяковата система и преливниците.

Диаметъра на буталото Dp се определя на базата на приетата конструкция на инструмента. След това се извършват изчисления за степента на запълване на прескамерата. Тя не бива да бъде по-малка от 40% (има опасност от вкарване на излишен въздух и изстиване на метала) и по-голяма от 66% (за да няма изпръскване). Като начален вариант приемаме диаметър 60мм. Той е най-малкият възможен диаметър, който допуска конструкцията на машината.

Таблица 3 Параметри на леяковата система и процеса на леене

	Параметър	Означение	Стойност	Описание
1	Брой гнезда	n	1	
2	Обем на детайла	Vp(cm^3)	319	Обем на отливката
3	Обем на леяците	Vr(cm^3)	272,6	Предвиждан обем за леяците
4	Обем на преливниците	Vov(cm^3)	30	Предвиждан обем за преливниците
5	Общ обем	Vsp(cm^3)	590,6	Vsp= n(Vsl + Vov) + Vr – общият обем метал, който се използва при един удар
6	Обем на запълване	Vf	349	Vf= n(Vsl + Vov) Обема, който се запълва при втората фаза
7	Време на запълване	τ (ms)	65	Определя се по таблица[6]. Зависи от сложността на отливката и дебелината на стената.
8	Дебит	Q(l/s)	5,37	$Q = \frac{Vf}{\tau}$
9	Диаметър на буталото	Dp(cm)	6	Определя се от параметрите на машината
10	Площ на буталото	Apl(cm^3)		Apl=$\pi dp^3/4$
11	Скорост на буталото	v (m/s)	1,9	$v = \frac{Qx1000}{S}$
12	Скорост във втока	v_g (m/s)	32	Зависи от типа на сплавта. За Mg детайли е 30 – 65m/s
13	Сечение на втоците	Ag(mm^2)	167	$Ag = \frac{Qx1000}{v_g}$

Общият обем на отливката с леяковата система е 349 cm^3 . Теоретичният обем Vpt, който допуска прескамерата за бутало *Ф* 60 е 1291 cm^3 . Степента на запълване Δ се изчислява по формулата:

$$\Delta = \frac{Vsp\ x\ 100\%}{Vpt} = \frac{590,6\ x\ 100\%}{1291} = 45,7\%$$

Степента на запълване е в границите от 40 до 66% и удовлетворява изискванията.

3.4. Вариантни решения на геометрията на леяковата система

Следващ етап е изготвянето на няколко конкурентни варианта на леяковата система. Варира се с положението на детайла в инструмента, с мястото на заливане и с геометрията на леяковата система.

Изисквания към геометрията на леяковата система в етапа на нейното конструиране са:

- потока метал да запълва плавно и равномерно формата.
- потока метал да избутва въздуха от формата към места на които е удобно той да бъде отведен чрез системата за обезвъздушаване.

- засрещането на потоците метал да става по такъв начин, че да не се затваря въздух в отливката.

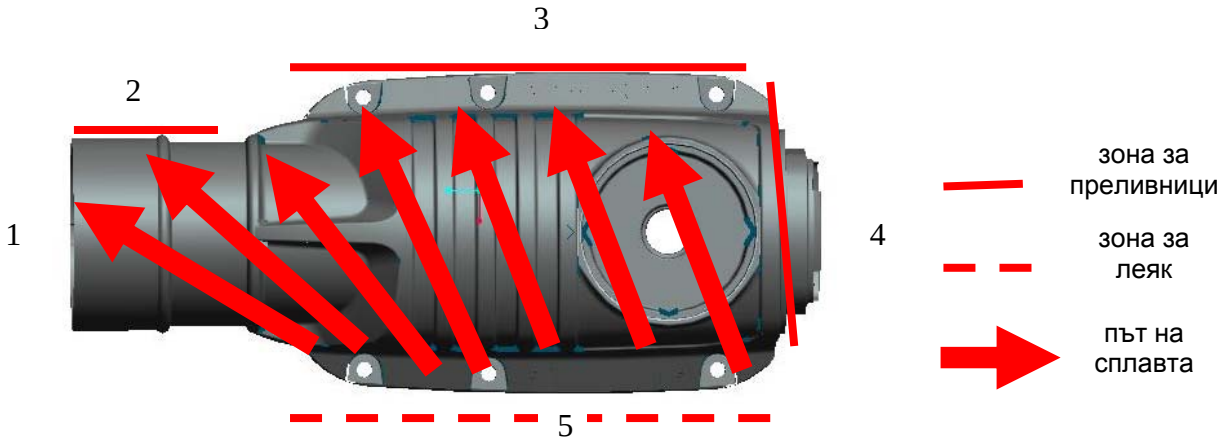
- да няма локални прегрявания

За дадената конфигурация са възможни 3 варианта на положението на леяка (фиг. 3).

- леяк откъм предната цилиндрична шийка – фиг. 3 - 1. В този случай леяка ще е пръстеновиден и ще е около плъзгача, което ще причини затруднения в експлоатацията на инструмента(такава конструкция се препоръчва само в краен случай). Освен това е необходимо да се „повдигне" делителната между плочите, което ще доведе до проблеми с конструкцията на обезвъздушаването.

- леяк откъм задната част – фиг. 3 - 4. В този случай леяка ще е около плъзгача, което също ще причини затруднения в експлоатацията на инструмента. Освен това конструкцията на детайла не позволява да се варира в достъчна степен със сечението(зоните за леяка са ограничени).

- вариант с леяк откъм делителната – фиг. 3 - 5. Като цяло за дадената конфигурация на детайла и опита от други подобни детайли показава, че това е най-удачния вариант. Необходимо е въздуха да се изтласка по делителната линия към предната цилиндрична част и към противоположната на леяка страна (пак по делителната) (фиг. 3). В общи линии геометрията на леяковата система трябва да осигури запълване съгласно фиг. 3.

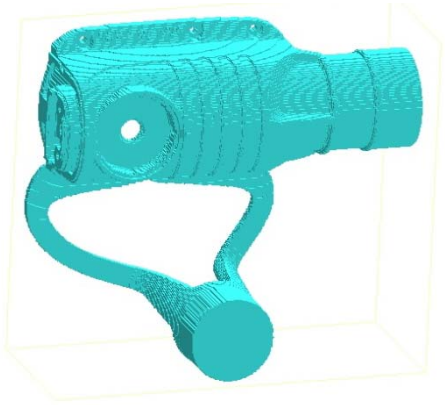


Фиг. 3. Очаквана картина на запълването на детайла

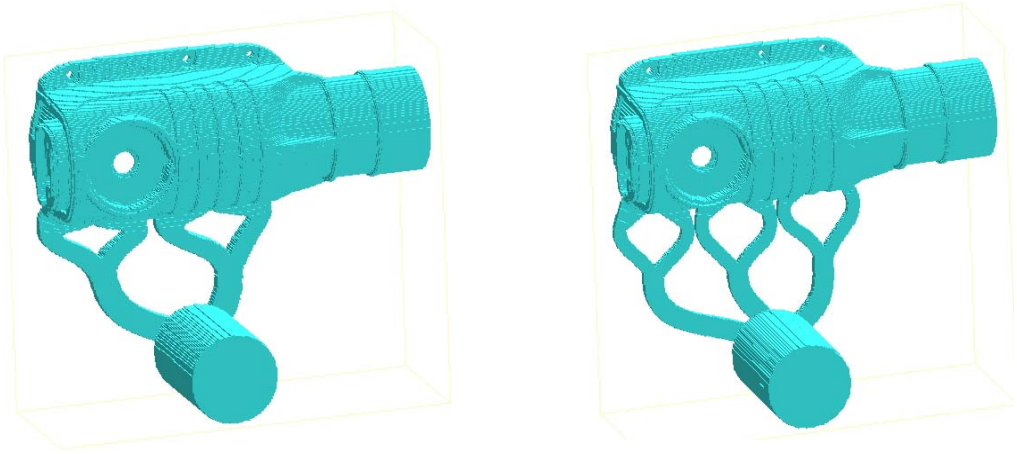
Приемаме варианта с леяк откъм делителната. За него са моделирани 4 конкурентни варианта на леяковата система (фиг. 4).



а. Вариант 1



б. Вариант 2



в. Вариант 3 *г. Вариант 4*

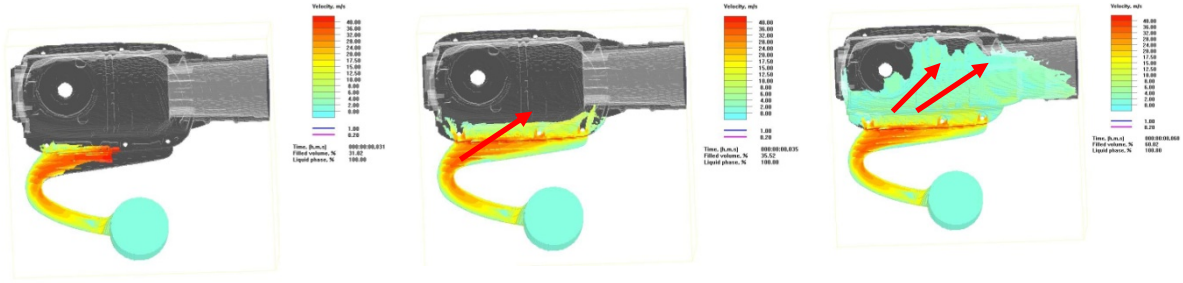
Фиг. 4. Варианти на леяковата система

3.5. Анализ на вариантните решения за леяковата система

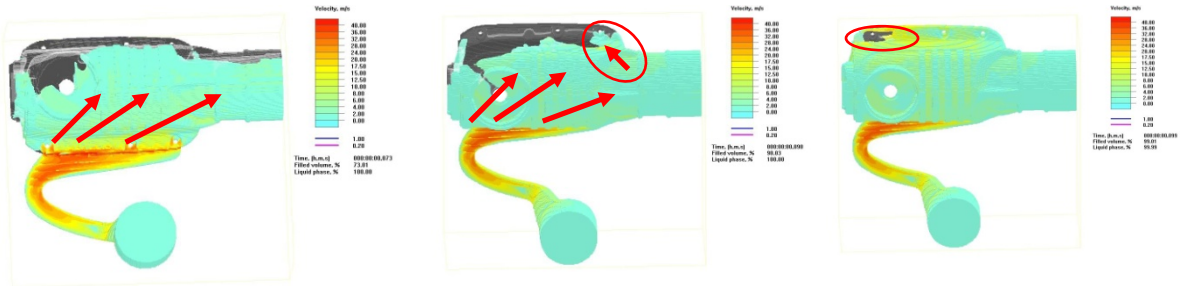
Основният показател, по който ще бъде определен варианта на леяковата система, е качеството на потока на запълване. Графиките, получени от софтуерния продукт, дават представа за протичането на запълването. При разглеждането и сравнението им се вземат под внимание:

- потока да е се доближава максимално до желаното от нас (фиг. 3) и да удовлетворява изискванията в т.3.4.
- да дава възможно най-малко дефекти.

От запълването на показания на фиг. 4 а вариант 2 ясно се вижда протичането на метала в посока на предната цилиндрична част (вж. фиг. 4.а,б,в,г) и последващо връщане назад (вж. фиг. 4.д). Това би довело до дефекти (завихряния по повърхността на детайла, лош външен вид, затваряне на въздух в обема на отливката).



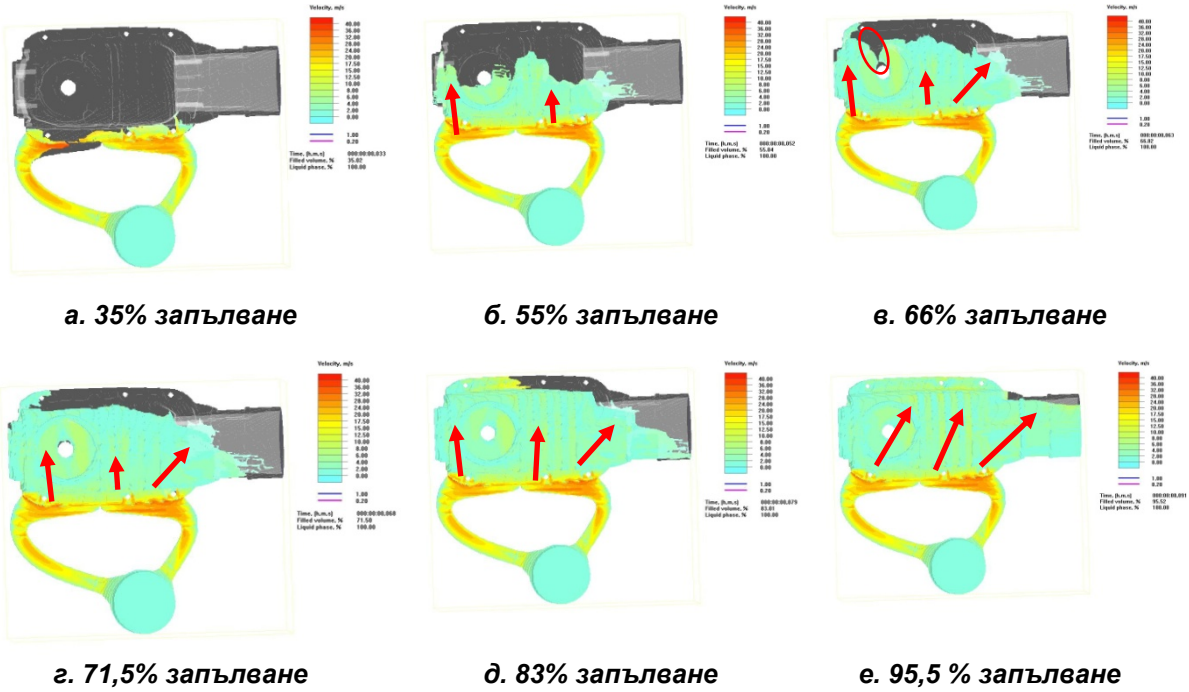
а. 31% запълване *б. 35% запълване* *в. 60% запълване*



г. 73% запълване *д. 90% запълване* *е. 99% запълване*

Фиг. 4. Скорост на запълване за вариант 1

В последния момент се затваря голямо количество въздух, като се блокира излизането му през преливниците (вж. фиг. 4.е). Поради изброените причини вариант 1 отпада.

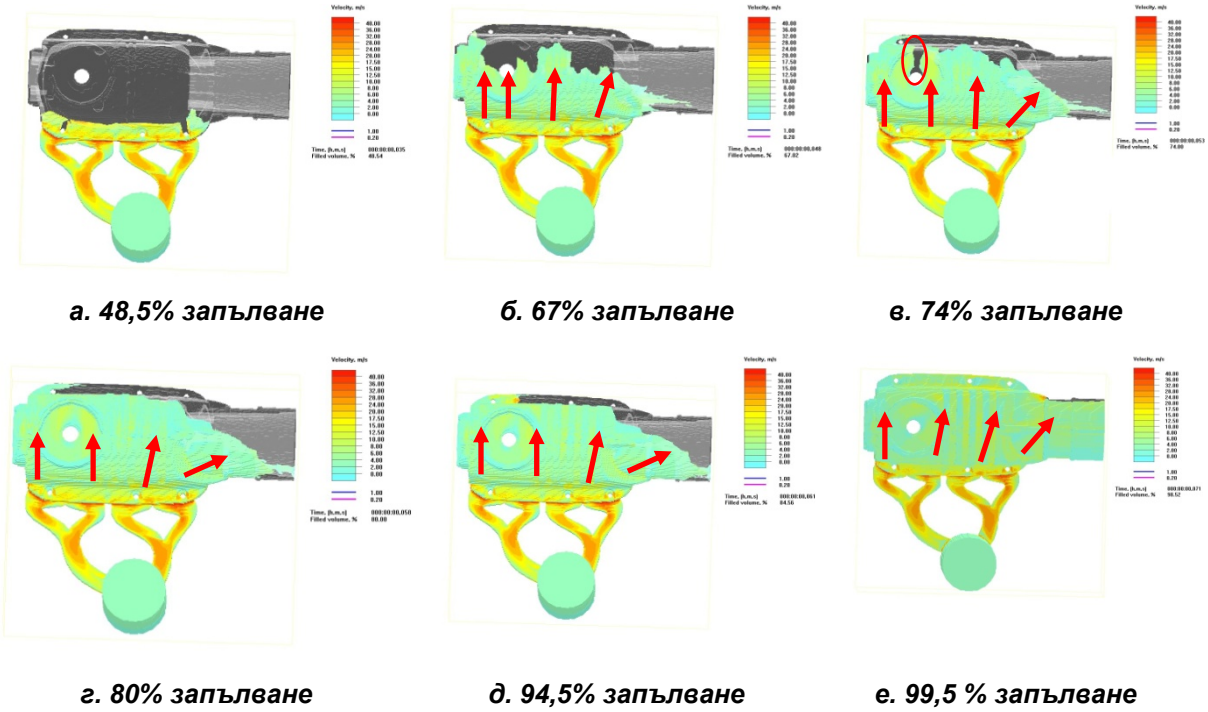


а. 35% запълване ***б. 55% запълване*** ***в. 66% запълване***

г. 71,5% запълване ***д. 83% запълване*** ***е. 95,5 % запълване***

Фиг. 5. Скорост на запълване за вариант 2

Като цяло картината на запълването при вариант 2 е добра. Метала се движи в желаната от нас посока, като излиза към делителната (вж. фиг.5.г,д,е). Има ясно изразен краен момент (вж. фиг. 5.е), което спомага да се приложи обезвъздушителен гребен. Използването на подобен елемент от своя страна ще подобри качеството на отливката. Прави впечатление също и доброто запълване около сърцето в горната част – обхваща се плавно от потока и почти не затваря въздух (вж. фиг. 5.в).



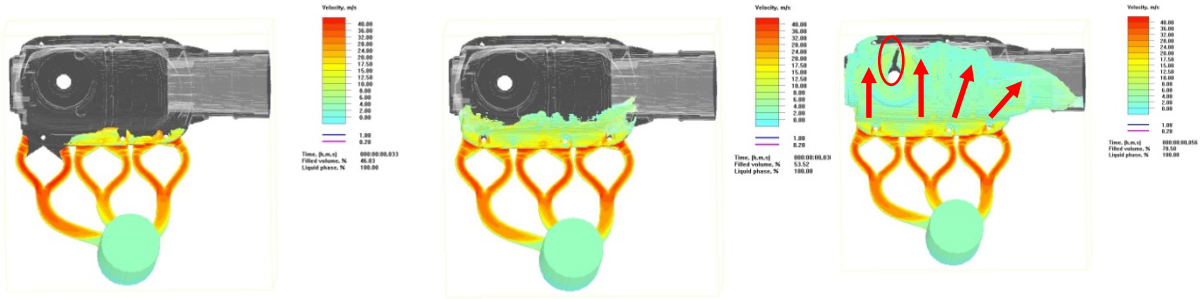
а. 48,5% запълване ***б. 67% запълване*** ***в. 74% запълване***

г. 80% запълване ***д. 94,5% запълване*** ***е. 99,5 % запълване***

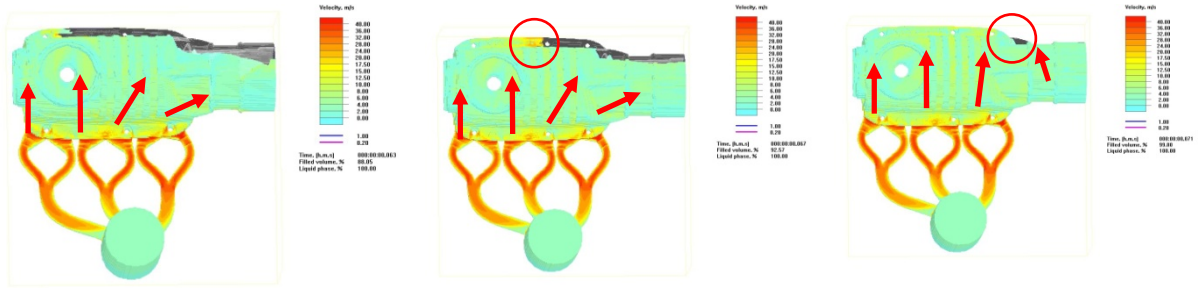
Фиг. 6. Скорост на запълване за вариант 3

Като цяло картината на запълването при вариант 2 също е добра. Метала се движи в желаната посока, като излиза към делителната (вж. фиг. 6.г,д,е). Има ясно изразен краен

момент(вж. фиг. 5.е), което спомага да се приложи обезвъздушителен гребен. Запълването около сърцето в горната част е по-неблагоприятно – има опасност потока да затвори въздух (вж. фиг. 5.в).



а. 46% запълване ***б. 53,5% запълване*** ***в. 78,5% запълване***



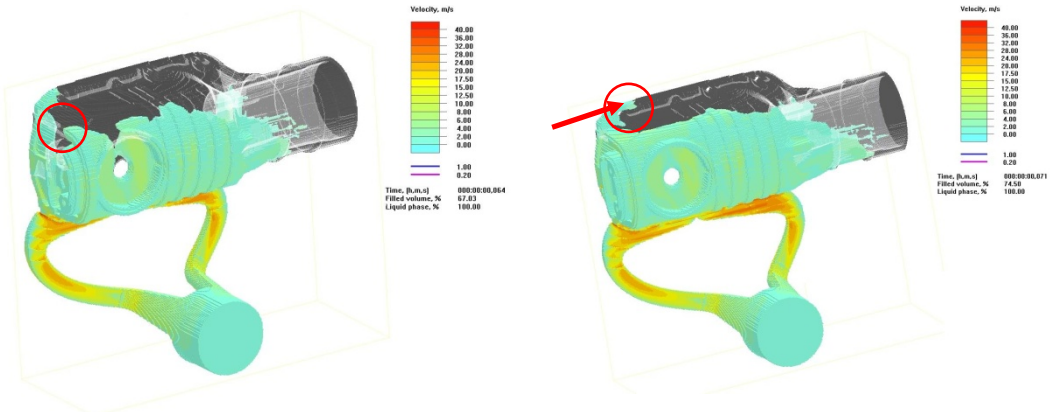
г. 88% запълване ***д. 92,5% запълване*** ***е. 99% запълване***

Фиг. 7. Скорост на запълване за вариант 4

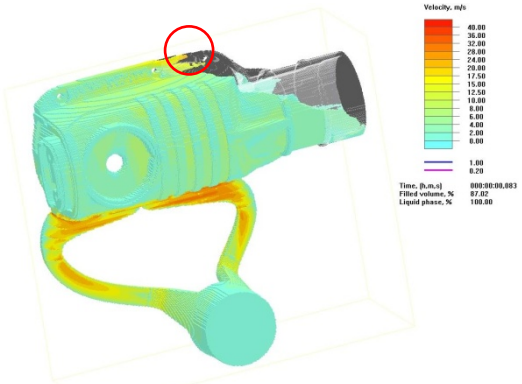
Като цяло картината на запълването при вариант 4 е добра, но отстъпва на варианти 2 и 3. Метала се движи в желаната посока, като излиза към делителната (вж. фиг. 6.г,д,е) и не затваря въздух. На Фиг. 7.д се вижда леко ускорение на потока в противоположната на втока страна, което не е благоприятно. Има краен момент (вж. фиг. 5.е), но той не е толкова изразен. Мястото му е на наклонената част на делителната, което води до затруднения да се приложи обезвъздушителен гребен. Запълването около сърцето в горната част е аналогично на вариант 3 – има опасност потока да затвори въздух (вж. фиг. 7.в). Поради изброените причини варианта отпада. Като цяло най-добър по изброените критерии е вариант 2.

3.6. Определяне геометрията на преливниците.

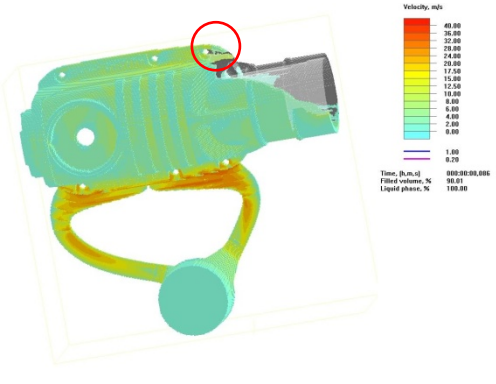
Определянето на положението на преливниците става в такава последователност, че отвеждането на въздуха да става точно на тези места по делителната, където потока го насочва. За целта се прави анализ на картината на запълването. От нея се определя положението на преливниците. За геометрията на преливниците важат определени правила [5,6].



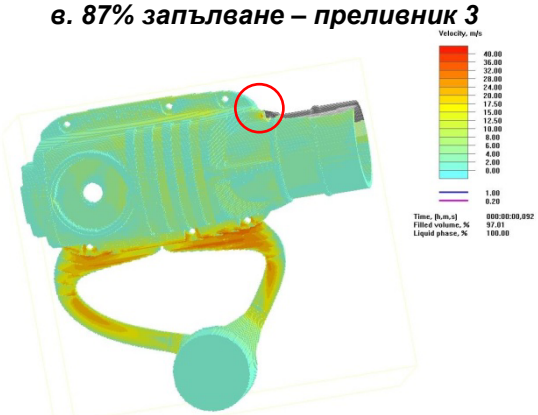
а. 67% запълване – преливник 1 ***б. 74,5% запълване– преливник 2***



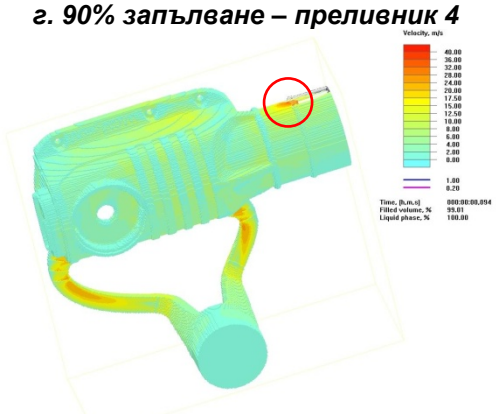
в. 87% запълване – преливник 3



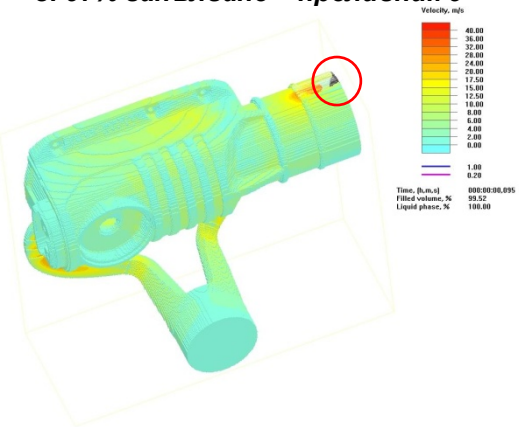
г. 90% запълване – преливник 4



д. 97% запълване – преливник 5



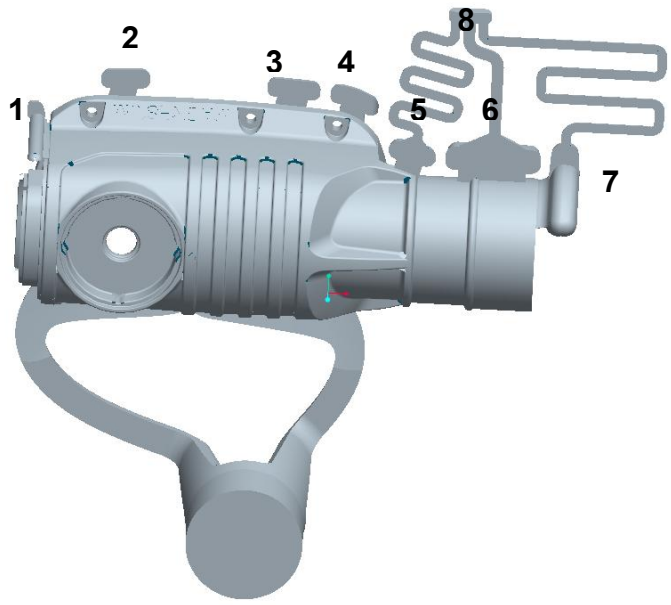
е. 99% запълване – преливник 6



ж. 99,5% запълване – преливник 7

Фиг. 8. Определяне положението на преливниците

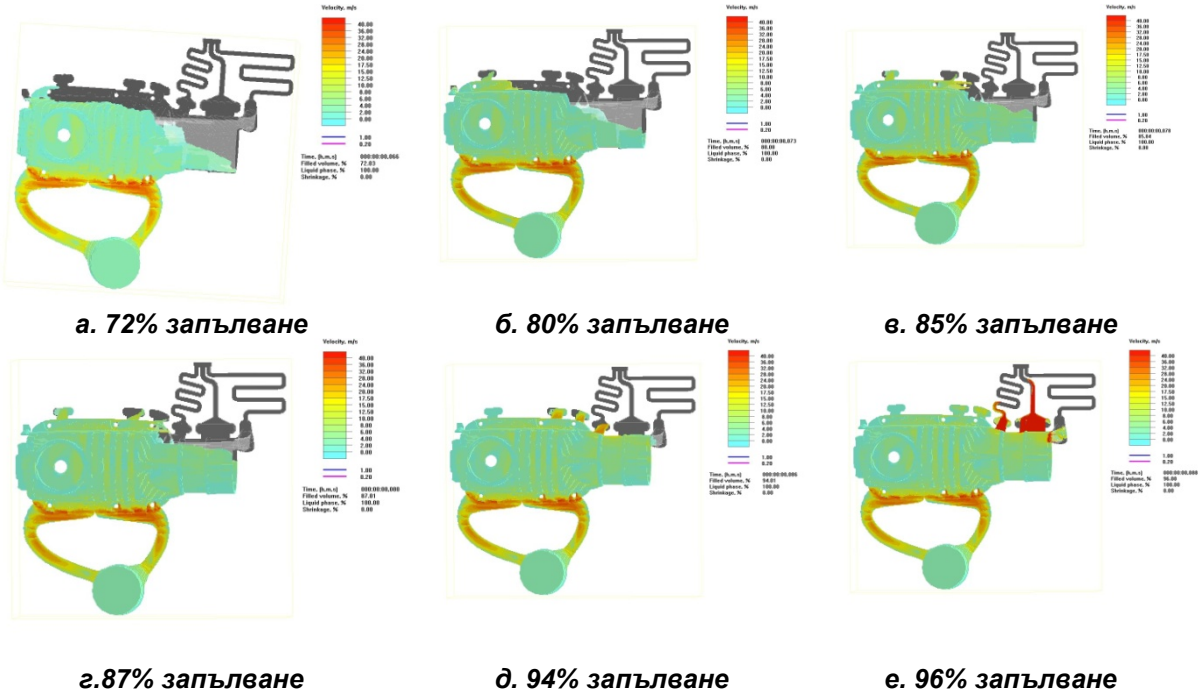
На фиг. 8 последователно на потока са изобразени местата, където е необходимо наличието на преливници. Първият (вж. фиг. 8.а) е необходим поради това, че в тази зона имаме срещане на 2 потока, които се явяват крайни (на делителната) за тази част от геометрията на детайла. В тази зона има и известно затваряне на газове и наличието на преливника може да се намали ефекта от това. Следващият преливник (вж. фиг. 8.б) спомага за изчистване на дефектите, които ще се появят в резултат от създадената"сянка" от колонката. Освен това преливника забавя възникналият в тази посока поток (вж. фиг. 8.б стрелката). На мястото означено на фиг. 8.в наличието на преливник е необходимо поради същите причини както и на фиг. 8.б. На фиг. 8.г е налично срещане на потоци, които са крайни. Наличието на колонка в тази зона също изисква преливник. Показните зони на фиг. 8.д, е и ж са крайни за потока. От там има възможността да се отведе най-голямо количество газове. За тази зона е препоръчително да се използва обезвъздушителен елемент тип „гребен" (вента). Конструкцията му дава възможност да се отведе въздуха през голямо сечение (0,7мм) без да има опасност от изпръскване на материал. Обезвъздушителните канали на трите преливника са с един общ край, завършващ в началото на обезвъздушителният гребен (вж. фиг. 9 - 8.) .



Фиг. 9. Геометрия на детайла с преливници и леякова система

3.7. Пълен анализ на приетата леякова система с преливниците

- Картина на запълването с преливници.



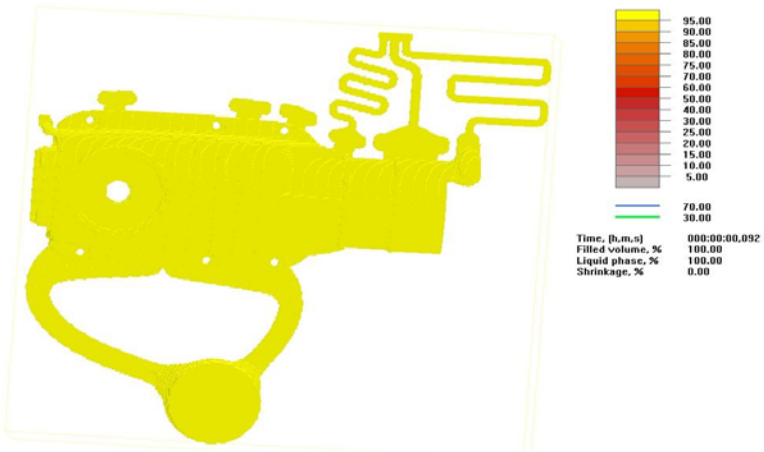
а. 72% запълване ***б. 80% запълване*** ***в. 85% запълване***

г.87% запълване ***д. 94% запълване*** ***е. 96% запълване***

Фиг. 10. Скорост на запълване с преливници

Като цяло избраните места на преливниците са правилни. Ясно се вижда как потока метал изтласква газовете извън формообразуващата кухина. Няма резки промени на скоростта на потока. Запълването на преливниците става на много късен етап след 72% от запълването на обема, което е изключително благоприятно. Като препоръка може да се отбележи възможността за корекция на меандровидните канали свързващи преливници 5, 6 и 7 със обезвъздушителния гребен. Като цяло от гледна точка на запълване предложената леякова система удовлетворява изискванията.

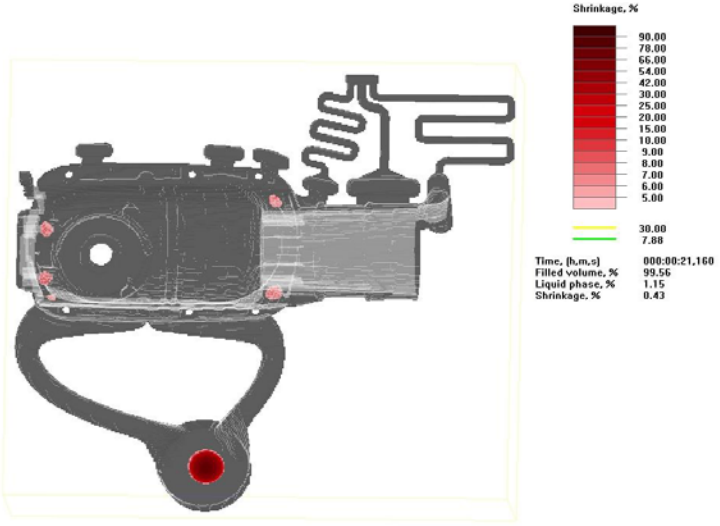
- Течна фаза



Фиг. 11. Течна фаза

От симулацията става ясно, че при 100% запълване целият обем на метала се намира в течна фаза(100%) (вж. фиг. 11.). Това в голяма степен намалява опасността от недоливи.

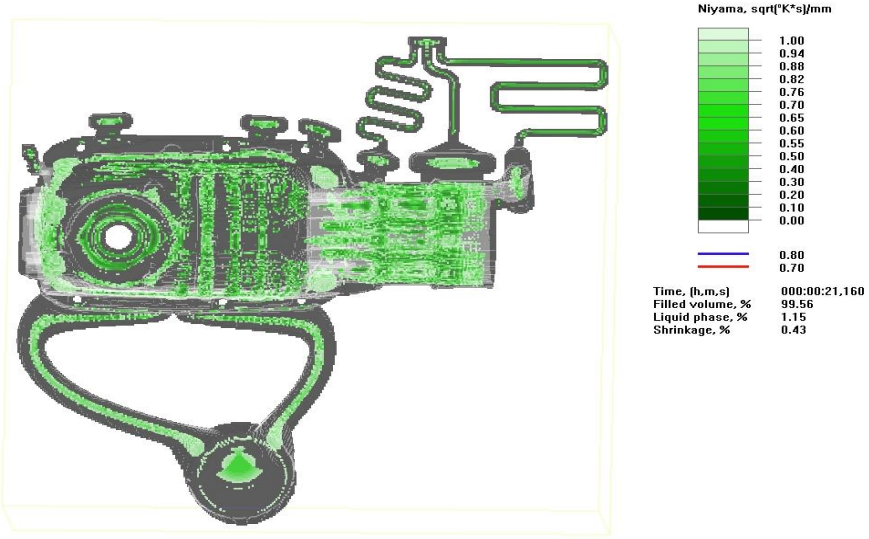
- Свиване



Фиг. 12. Свиване

Свиването е в рамките на очакваното. То е на места, на които има известно струпване на материал (вж. фиг. 12.).

- критерий на Нияма



Фиг. 13. Критерий на Нияма

Критерият на Нияма дава представа за пористостта на отливката (вж. фиг. 13.). Ниските степени съответстват на по-голяма вероятност за поява на пористост, а високите за по-малка [2, 3]. Пористост при тази отливка се очаква в зоните с удебеления и преходите между стени с различна дебелина. Като цяло картината на пористостта е добра и качеството на отливката по този показател ще бъде удовлетворяващо изискванията.

Като краен резултат може да се приеме избраната леякова система и тя да се приложи на реалния инструмент. Самото проектиране без софтуер за симулации (само с CAD пакет), ползвайки традиционните до сега методи няма основание да е по-бавно. В случая обема на леяковата система ще бъде преоразмерен и ще има много по-голям обем на преливниците. Самият принос на пакета за симулации ясно се вижда след пробите на инструмента – много по-малко време за внедряване на инструмента в серийното производство, много по-малък брой проби и съответно много по-малък брой корекции на инструмента. Внедряването на подобна отливка по традиционните начини става за около 2-3 месеца след първа проба. С ползване на софтуер за симулации това става за около 1 месец (2-3 проби).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Съвременните софтуерни системи за симулация на леярските процеси и в частност процеса на леене под високо налягане дават големи възможности на специалистите разработващи технологията и инструмента.
- Симулациите дават количествени и качествени показатели и данни, по които може косвено да се съди за качеството на процеса и получаваните отливки.
- Чрез моделиране и изследване на процеса се съкращава драстично времето за внедряване.
- Този мощен инструментариум би бил неефективен без достатъчно квалифицирани специалисти, имащи богат опит с анализите и практиката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тодоров, Г., П. Добрев, И. Иванов. *Симулиране на процеса на леене под високо налягане.* сп. CIO бр.8, **2009**, стр 13-15.
2. *NovaFlow&Solid, www.novacastfoundry.se*
3. *MAGMASOFT®, http://www.magmasoft.de*
4. *Erwin Flender, Götz Hartmann, MAGMA GmbH,* Modeling and simulation in high pressure die casting
5. Verband Deutscher Druckgießeren, Druckguss aus NE-Metallen Technische Richtlinien, 2001
6. OSKAR FRECH GmBH+Co. KG, SEMINAR ON DIECASTING 2004

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Георги ТОДОРОВ
кат. ТММИ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски” 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

маг. инж. Иван Иванов
кат. МТМ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски” 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: ivan.st.ivanov@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ENERGY HARVESTING DEVICES: BASIC TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS

Emil MANOLOV **Dimitar NIKOLOV** **Marin HRISTOV**

Abstract: *This work represents energy harvesting technology current state. Employing an application-driven research approach the paper describes energy harvesting principles and structure, basic applications, energy sources visibility and technology tradeoffs.*

Key Words: *Energy harvesting, Energy scavenging, Ambient energy harvesting, Micro-scale energy harvesting.*

1. INTRODUCTION

Energy harvesting devices dates back to the windmill and the waterwheel. People have searched for ways to produce store of energy from heat, vibrations and sun radiation for many decades. Recently, technologies such as wind turbines, hydro electric generators and solar panels have turned harvesting into a small but growing contributor to the world's energy needs. Such kind of technology provides two significant advantages over battery-powered solutions: virtually unlimited sources and little or lack of negative environmental effects.

In fact there are many different technologies for harvest environmental energy in macro-scale available today, but they "feed the grid," typically adding kilowatts or megawatts to the power distribution system. As such, they are unsuitable for charging electronic devices.

In terms of electronic circuit one of the main goals is to snip the power wires and even to avoid battery-power of the system. The ultimate goal is to create a perpetual device. In order to fulfill this design goal, micro-energy harvesting is the tool. Micro-energy harvesting is process by which energy is captured and stored. Amount of energy depends on source and could vary from micro to mill watts. Table 1 shows a short comparison between micro- and macro- energy harvesting approaches [1].

Table 1 Macro vs. micro: Energy harvesting comparison

	Energy Source	**Solutions**	**Goal**
Macro	Renewable energy	Energy management solutions	Reduce oil dependency
Micro	Energy from environment	Ultra-low power solutions	Perpetual device

A few years ago, micro-harvesting could have been called a scientific curiosity. But after continuous development of integrated circuit technology, some of the results are: decreasing size, reducing power dissipation, increasing integration, doubling frequency.

Table 2 International technology roadmap for semiconductors

Year	**2000**	**2004**	**2008**	**2011**	**2014**
Technology [nm]	180	90	60	40	30
Digital					
Power Voltage Max [V]	1.8	1.2	0,9	0.6	0.5
Power Voltage Min [V]	1.5	1.0	0.6	0,5	0.3
Frequency [GHz]	1.38	2.0	2.65	3.19	3.85
Analog					
Power Voltage [V]	1.8 – 3.3		1.5 – 1.8		1.5
Frequency [GHz]	0.1 - 5			0.1 - 10	

Scaling trend in recent years is shown in Table 2 [8]. One of the results is the emerging of new technologies, like ultra-low-power (ULP) – thus has had as result the pushing of micro-scale energy harvesting out of the lab and onto the designer's benches.

The purpose of this paper is to present the current state of application of the energy, extracted from environment, in ultra-low power electronics. The fundamental principles of using ambient energy and energy harvesting device structure are discussed. Main sources array's tradeoffs are made explicit.

2. PRINCIPLES OF ENERGY HARVESTING

Typical architecture of energy harvesting system consists of several blocks, which all work together in becoming energy autonomous system possible [1]. This structure is depicted on Fig. 1. Harvester produces electricity from ambient energy like light [4], heat [5], motion [6], RF, etc. The electrical signal flows through power management circuit in which it is rectified, converted and used to charge energy storage device. Sensors monitor physical or environmental conditions, such as temperature, sound, vibration, pressure, position, status. The system is then triggered at the required intervals to take a sensor reading, through a low power system. This data is then processed and transmitted to the base station [1]. This kind of energy harvesting eliminates dependency of the system on battery power and reduces the need to service the system.

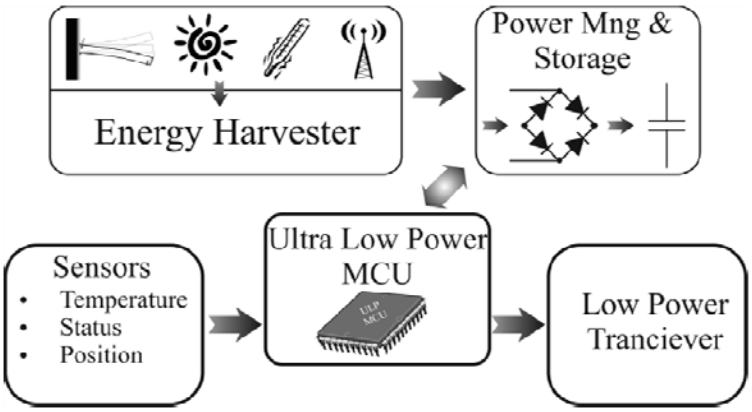


Fig. 1. Energy Harvesting System

3. STRUCTURE OF ENERGY HARVESTING DEVICE

As a matter of fact, the functioning of energy harvesting system is based on capturing, conditioning and storing of energy from the environment. These tasks are fulfilled in an energy harvester and power management circuit, shown on Fig.2.

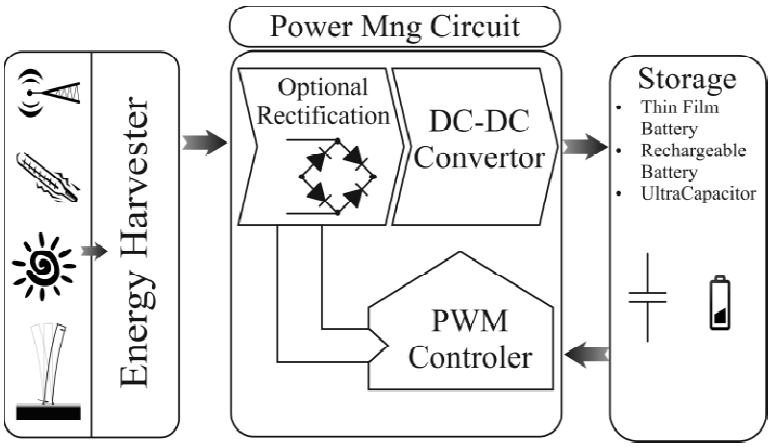


Fig. 2. Energy Harvesting Architecture

Transducer or harvester transforms environmental energy into electrical. It draws the most attention of all building blocks and transforms different ambient energy sources like light, mechanical vibration, RF and thermal difference. Various harvesters produce various type outputs – AC or DC [5, 6].

Power management circuit effectively and efficiently collects the energy from harvester; furthermore it converts scavenged energy into usable format for charging the storage element. Moreover energy harvesting circuit produces the necessary current and voltage levels required by the end application. Transducer has the major part in shaping energy harvesting circuit architecture, predominant merit here is efficiency in conversion. It is how much energy provided by the harvester is properly converted into useful energy. The variability in voltage, power density, and duty cycle produces the need for sophisticated design of conversion circuitry to effectively collect harvested energy from a single energy or multiple sources [4].

Energy storage block accumulates and preserves harvested power - it could be super-capacitor, traditional capacitor, thin film battery, high capacity battery or multi-storage solution. End application power demands dictate the type of storage used within a solution. Storage has to be with low level of leakages in order to not waste collected energy and should be matched with the conversion electronics. A multi-storage solution is the obvious answer when it comes to application requiring high power density [4].

4. BASIC SOURCES FOR HARVESTING ENERGY

To explain energy harvesting device structure properly we need first to classify different type of tools. Here we might think out in two directions: first - who or what source provides energy for conversion, and second - what type of energy is converted [3].

In this classification plot, devices could explore human or environment energy sources. First one is called Human energy device and the other is Environmental energy device. In contrast of this classification, classification into what type of energy is used has the following outlines - devices, which use light, kinetic, thermal and RF energy.

Solar energy harvesting devices use photovoltaic (PV) cells to convert incident light into electricity. As such, they leverage the extensive investments made and progress achieved in increasing the efficiency and reducing the cost of PV for building and utility-scale power [9]. Solar devices can produce energy from both outdoor and indoor light sources, although outdoor insulation levels yield approximately two to three orders of magnitude more electricity per unit area than indoor electric light sources. Outdoor solar energy has the capability of providing power density of 15000 W/cm^3 [4], which quantity is about two orders of magnitudes higher than other sources. However, solar energy is not an attractive source of energy for indoor environments as the power density drops down to as low as 10–20 W/cm^3 [4].

Thermoelectric [TE] devices harvest energy developed from temperature differences via the Seebeck effect [6], i.e. a temperature difference at the junction of two metals or semiconductors causes current to flow across the junction. Generated power depends on the size of the TE, the ambient temperature, and the level of metabolic activity. The latest TEs are characterized by an output voltage of 0.7 V at matched load. According to the Belgian-based research corporation IMEC, at 22˚C a wrist-watch type TE delivers useful power of 0.2 to 0.3 mW on average for normal activity [4]. Micropelt TEG MPG-D751 produces 14 mW at 400 Ω at temperature difference 30 K [6].

Vibration harvesters extract energy from ambient vibrations. As power usually scales with the cube of vibration frequency and the square of vibration amplitude, these devices have the most value in applications with high-frequency, high-amplitude vibrations. All vibration-harvesting systems contain mechanical elements that vibrate, typically a spring-mass assembly with its natural frequency close to those of the vibration source to maximize energetic coupling between the vibration source and the harvesting system. Several different ways exist to translate the vibrating elements into electric energy, including piezoelectric, capacitive, and inductive systems. Mechanical vibrations have ability to generate power with level 300 W/cm^3 and air flow 360 W/cm^3 [4].

Radio frequency (RF) devices harvest electromagnetic waves emitted by radio devices, such as wireless radio networks. As the most commonly used frequencies are well known, the devices have an antenna and circuitry tuned to maximize energy harvesting at these frequencies. Unfortunately, typical electric field strengths are weak, which limits the quantity of energy that can be harvested, e.g., to approximately two orders of magnitude less than indoor solar and thermoelectric devices. Active systems attempt to overcome this limit by broadcasting RF energy, as is done currently for RFID tags used in commerce [9].

5. BASIC APPLICATIONS OF ENERGY HARVESTING SYSTEMS

Fig. 3 [4, 10] shows a relation between currently ability to harvested power from environmental and device consumption. How it is depicted on figure, cross section between harvested power and device consumption is at level of 1 mW, where is situated consumption of a wireless sensor network. Wireless sensors could monitor different environments and depending on a type of harvester they are used in different applications.

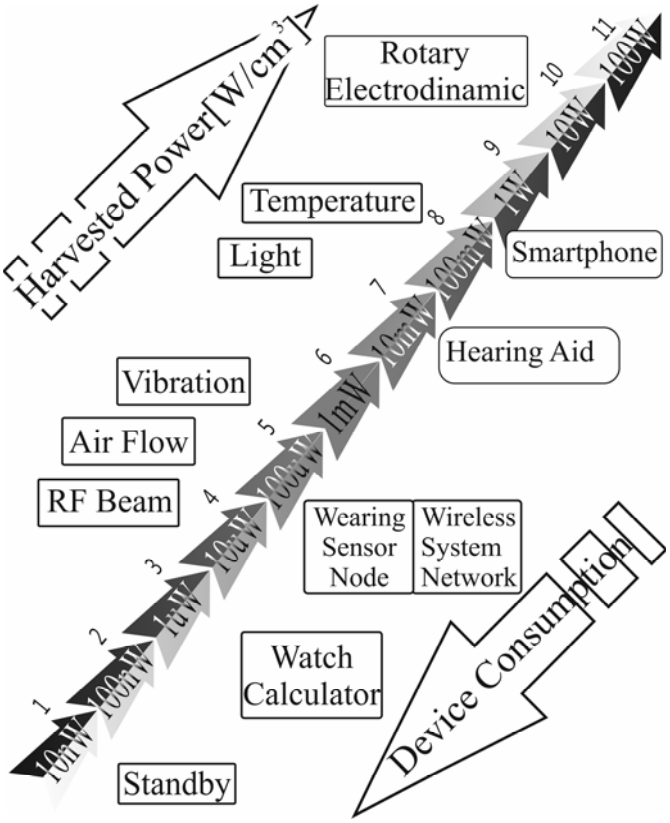


Fig. 3. Harvested power and Device consumption

The power density of TE increases with the temperature difference, increasing their attractiveness in applications such as sun/shade installations, compressors, and hot/cold/air/water/refrigerant flows. As most in-building HVAC applications for wireless sensors tend to have smaller temperature differences [10], this limits the power density of TE. They have been used to power wristwatches and at least one small-scale wireless sensor system is available for building applications.

Solar energy harvesting device use photovoltaic cells to convert incident light to electrical energy. They are used in contact and motion sensors to monitor bridges and roads [2] for smart grid sensors and for real time locating systems environment.

Vibration energy harvesting technology supplies devices as wireless switches, wireless sensor network and active RFID tags in transportation and industrial – helicopter, bridges, roads, tunnels, infrastructure, aircraft and structural health [5]. Typical vibration sources are motors, compressors, pumps, chillers, fans, auto, train, truck [5].

Currently, finite numbers of energy harvesting devices for building applications are available.

Table 3 [2] summarizes energy harvesting application to their energy sources and environment. Light or vibration-powered products exist, primarily for temperature sensing [10], but also for window open/closed status, window blind actuators, occupancy sensing, light level sensing, and presence sensing [10]. Typical example of energy harvesting device is SENSOLUX Solar-presence detector produced by PEHA Paul Hochköpper GmbH. Sensor derives its energy from solar cell - 50-200 lux are enough to charge the gold-cap battery [10]. When it is fully charged it can run for 4 day in complete darkness. The detector registers the presence of persons and measures the current light level. When it registers presence it transmit data through radio frequency at 868.3 MHz. Research efforts target a wider set of applications, including monitoring bridges, automobile tires, bore-hole equipment, airplane compressors and turbines, underwater flows, military systems, industrial machinery, medical devices, self-powered sporting goods, in-shoe power and rack-sack for military [4, 5, 6, 7, 12].

Table 3 Basic energy harvesting applications

	Industrial	**Transportation**
Solar	Bridge/Road, Smart Grid field monitoring	Assert Tracking, Real Time Locating Systems
Vibration	Motors, Pumps, Transformer, Conveyor	Aerospace, Truck, Automotive
Thermo-electric	Remote patient monitoring, HVAC application,	Implantable sensors, Oil/Gas Pipeline, Transportation Sensors
RF	Ambient RF and/or Active Directed RF	Home Environment Monitoring

6. ENERGY HARVESTING TRADEOFFS

Advantages and disadvantages of energy harvesting technologies are summarized in Table 4.

Table 4 Energy harvesting technologies

Advantages	**Disadvantages**
- No power cords; - Easier installation; - Lower maintenance; - Environmentally friendly; - Higher uptime; - Practically perpetual.	- Dependent on availability of harvestable energy source; - Strict power budget; - Upfront cost may be higher; - Less mature technology.

7. CONCLUSION

The paper describes energy harvesting technology current state. Employing an application-driven research approach the paper describes energy harvesting principles and structure, basic applications, energy sources visibility and technology tradeoffs.

In summary, quantity of energy extracted from environment through micro-energy harvesting is low. On the other hand emerging of ultra low power integrated circuit technology is a possibility to make energy harvesting reality. The technique, which combins the using of several energy harvesting technologies and energy storage elements can guarantee a reasonable level of energy.

In concluson, the current trend suggests increasing mobility of electronic devices and users, and consequently increasing market demand for energy harvesting devices.

ACKNOWLEDGEMENT

This research has been financially supported by the Technical University of Sofia in the framework of Contract No. 102ни202-03 and by the National Research Fund of Ministry of Education and Science of Republic Bulgaria in the framework of Contract No. DTK 02/50/17.12.2009.

REFERENCES

1. *Murugavel Raju, Mark Grazier. ULP meets energy harvesting: a game changing combination for design engineers.* Texas Instruments, White paper.
http://focus.ti.com/lit/wp/slyy018a/slyy018a.pdf
2. *Building blocks of an energy harvesting solution*. Adaptive energy, AN003, July **2009**.
http://www.adaptivenergy.com/docs/AN003_FourBuildingBlocks_EnergyHarvester_B.pdf
3. *Loreto Mateu, Francesc Moll. A Review of Energy Harvesting Techniques and Applications for Microelectronics*. Universitat Politechnica de Catalunya,Dept. of Electronic Engineering **2007**.
http://pmos.upc.es/blues/publications/RevEnerHarvMicro.pdf
4. Shashank Priya , Damiel J. Inmam ,Energy harvesting technologies, Springer Science+Business Media, LLC **2009**.
5. http://www.adaptivenergy.com/
6. http://www.micropelt.com/
7. http://www.ti.com/

8. International Technology roadmap for semiconductors. http://www.itrs.net/reports.html
9. *Roth, K. and Brodrick, J. (2008). Energy Harvesting for Wireless Sensors.* ASHRAE Journal, 50 (5), pp. 84-90.
10. *R.J.M. Vullers a,*, R. van Schaijk a, I. Doms b, C. Van Hoof a,b, R. Mertens. Micropower energy harvesting*. Solid-State Electronics 53, **2009**, pp. 684–693. http://www.eecs.umich.edu/~prabal/teaching/eecs598-w10/readings/VSD+09.pdf
11. http://www.enocean.com
12. Domelan, Max. Energy Harvesting. Soldier systems technology roadmap. Power/Energy/Sustainability Workshop. September 21-23, **2009**. Vancuver, D.C.

CORRESPONDENCE

Prof. Dr. Marin Hristov Hristov
Department of Microelectronics
Faculty of Electronic Engineering and Technologies
Technical University – Sofia
8 Kliment Ohridski blvd.
1000 Sofia
Bulgaria
e-mail:mhristov@ecad.tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

FUNCTIONAL ANALYSIS OF MEMS FOR NOISE PRESSURE HARVESTING

Ivan KRALOV **Ignat IGNATOV**

Abstract: *A survey of noise energy harvesting methods is realized in this paper. Comparison between the basic functional parameters is carried out of the standard solutions for receiving, converting and storing the energy from the noise sources. The data collected could be used for future MEMS design.*

Keywords: *Energy Harvesting, Micro-electro-mechanical systems, Noise.*

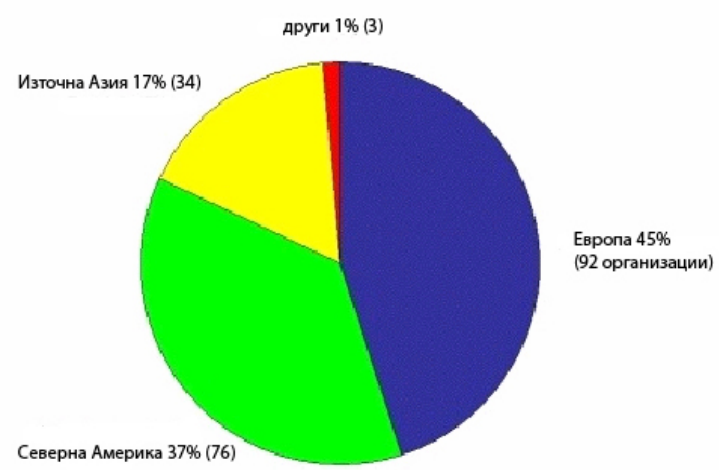
ФУНКЦИОНАЛЕН АНАЛИЗ НА МЕМС ЗА АКУМУЛИРАНЕ НА ЗВУКОВО НАЛЯГАНЕ

Иван КРАЛОВ **Игнат ИГНАТОВ**

В работата е направен обзор на методите и средствата за акумулиране на звукова енергия. Сравнени са основните функционални параметри на типови решения за възприемане, преобразуване и съхранение на енергия от звукови източници. Информацията може да се ползва при синтез на нови МЕМС.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Системите и материалите за акумулиране на енергия се обособяват в последните години като важна област и развитието им продължава с усилени темпове. Свидетелство за това са огромният брой публикации, патенти и внедрявания [1, 2, 3, 5]. Разработките в тази област имат широк набор от приложения: захранване на безжични приемници, на живото-поддържаща техника, презареждане на батерии, следене на налягането в гумите на ходовите колела в автомобилната индустрия, задвижване на дистанционно управляеми устройства, охранителни устройства в бита и много други. На фиг. 1 е дадено прогнозното развитие за проектирането и производството на такива микро-електро-механични системи (МЕМС) за периода 2009 – 2019 г.



Фиг. 1. Проучване на IDTechEx направено в 22 страни и 200 организации относно развитието на МЕМС в периода 2009-2019 година.

Повишаващата се гласност на проблемите, касаещи околната среда, дават възможност технологията за акумулиране на енергия (в частност и от звуково налягане) чрез МЕМС да се превърне в обещаващ метод за непрекъснато захранване на системи и устройства с малка мощност, като се избягва използването на батерии за еднократна употреба и нуждата от тяхното рециклиране.

С усъвършенстването и увеличаването броя на преносимите електронни устройства с малка маса, се увеличава и необходимостта от високо-ефективни методи и подходи за енергийното им обезпечаване. С появяването на технологии, успяващи да усвоят енергия от заобикалящата среда, се поставя въпроса за намаляване на използването на батерии като основни източници на захранване на консуматори с ниска мощност.

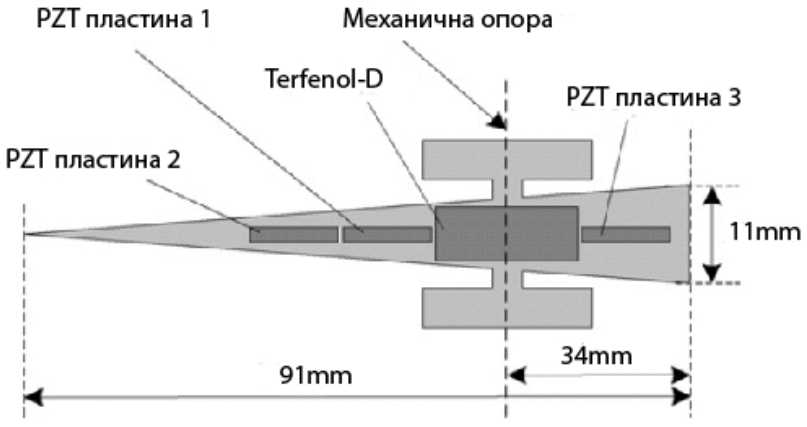
В 1 cm^3 литиева батерия се съдържа енергия в размер на 2800 J, потенциала на която е за захранване на консуматор със средна мощност 100 μW близо една година, но в системи с по-голяма консумация подмяната на батериите се повтаря през кратки периоди. Най–разпространените системи за получаване на електрическа енергия от алтернативни източници трансформират слънчева, термална и енергия от механични вибрации. Три са основните подходи за акумулиране на електричество от механични трептения, а именно: електромагнитен (индуктивен), електростатичен (капацитивен) и пиезоелектричен [1, 3, 4].

2. ФУНКЦИОНАЛЕН АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА АКУМУЛИРАНЕ НА ЗВУКОВО НАЛЯГАНЕ

2.1. Магнитоелектрични композитни акумулатори на звуково налягане

Източниците на електромагнитна енергия са широко разпространени и енергията от тях може да се акумулира и в недостъпни среди. Енергийната плътност на електромагнитните източници е слаба като цяло и е от порядъка на 1 $\mu W / cm^2$. Това изисква прилагането на усилватели и високоефективни преобразуватели. В този случай управляващата верига се проектира да акумулира енергията в периоди, по-дълги от 10 минути, при цикли по-малки от 1 секунда, произвеждайки усилен изходящ енергиен поток.

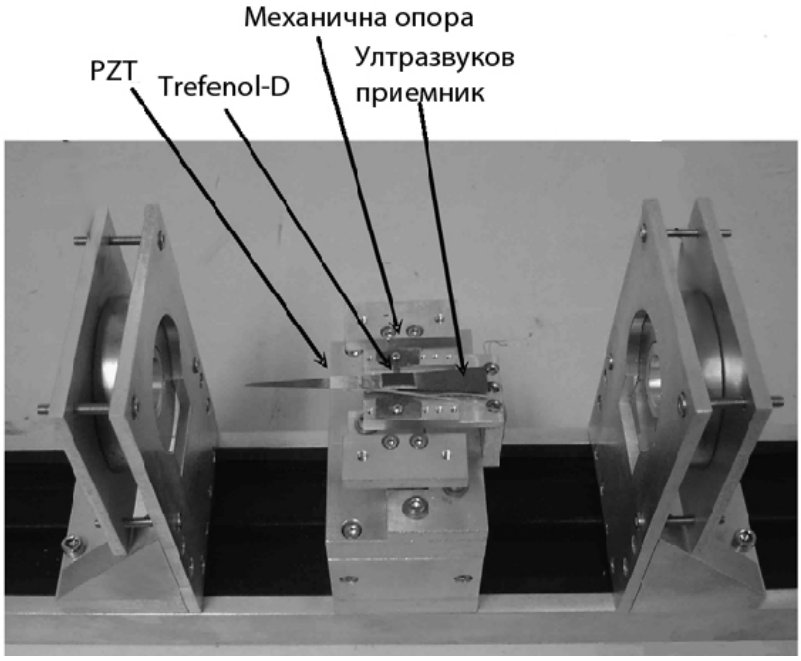
На фиг. 2 е представено принципното устройство на съставен преобразувател, състоящ се от пиезоелектрични пластини PZT, закрепени за Be-бронзова възприемаща подложка магнитострикативна Terfenol-D плоча (произведена Gansu Tianxing Rare Earth Functional Materials Co.,Ltd.) с размери 12 x 6 x 1 мм, която е магнетизирана, надлъжно симетрично разположена в механичната опора на ултразвуков приемник с отклонение нула [4]. Така конструираната система цели повишаване на енергийната плътност и наслагване на вълните при преминаването им от секции с по–голямо към секции с по–малко напречно сечение. Общият вид на експерименталния апарат е показан на фиг. 3. Трите пиезо-пластини са разположени надлъжно и имат размери 12 x 2 x 0.8 мм. Закрепени са за ултразвуковия приемник посредством акрилатно адхезионно лепило.



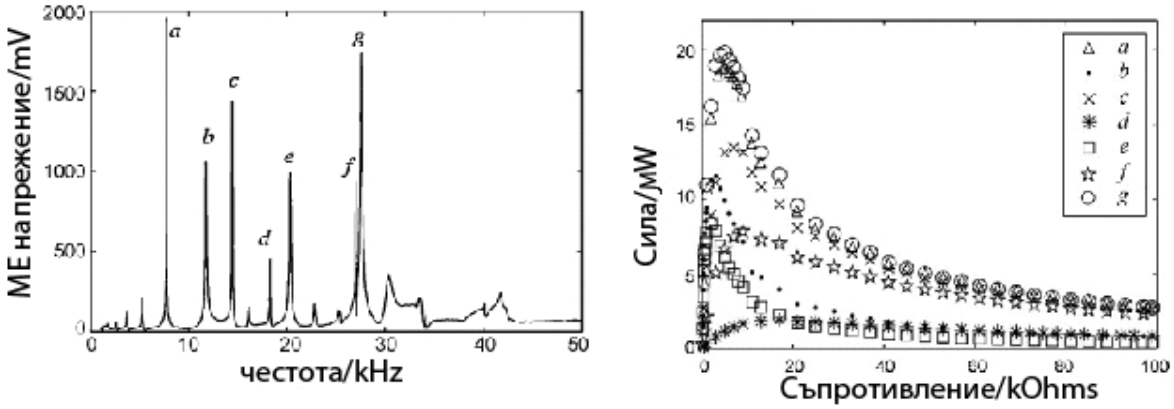
Фиг. 2. Принципно устройство на съставния ултразвуков приемник съгл. [4]

На фиг. 4 са показани регистрираните стойности на преобразуваната честота и получената мощност, като в първата графика получените максимуми на напрежението (от a до g) се дължат на множеството честотни режими с ниски стойности, съвпадащи с резонансните честоти

на ултразвуковия приемник с триъгълна форма. Максималната изходна мощност се получава, когато изходния импеданс съвпада с импеданса под товар (в случая при резонансна честота 27 kHz).



Фиг. 3. Опитна постановка на магнитоелектричен преобразувател съгл. [4]



Фиг. 4. Стойности на напрежението и мощността, преобразувани от системата, съгл. [4]

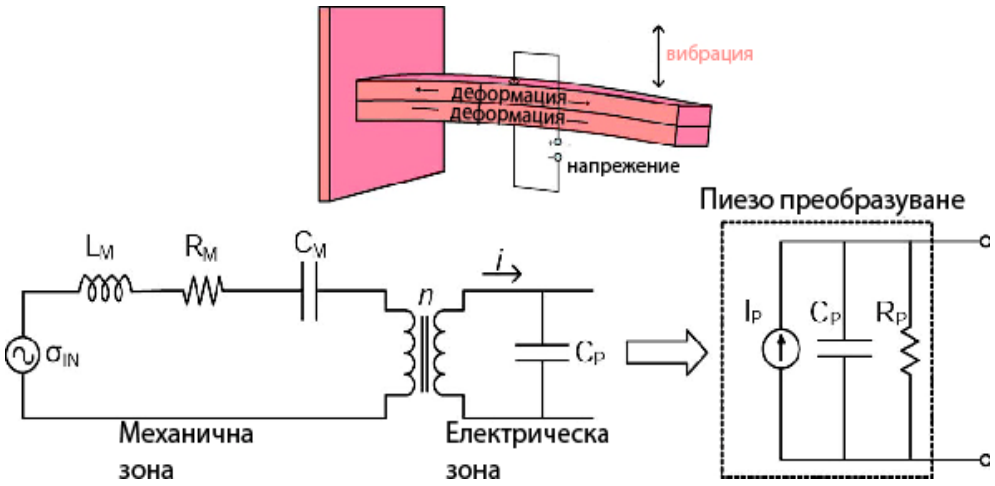
Прототипът на съставната Terfenol-D/PZT/Be–bronze звуко-акумулираща система е предназначена да захранва мрежи от безжични приемници, като при проведени експерименти е доказано, че системата може да поддържа работен режим на сензори при 75 mW консумация в режим на излъчване и 1 mW в режим на приемане, в работен цикъл от 620 ms в радиус на 60 m.

2.2. Пиезоелектрични системи за акумулиране на звуково налягане

Най–често използваните пиезоелектрични елементи в МЕМС са ZnO (цинков оксид), AlN (алуминиев нитрат), PZT (сплав олово, цинк, титаний), като предпочитанията към всеки от изброените материали е в зависимост от различни фактори, някои от които са начина на получаването им, съвместимостта с интегрални вериги и параметрите на съответните материали.

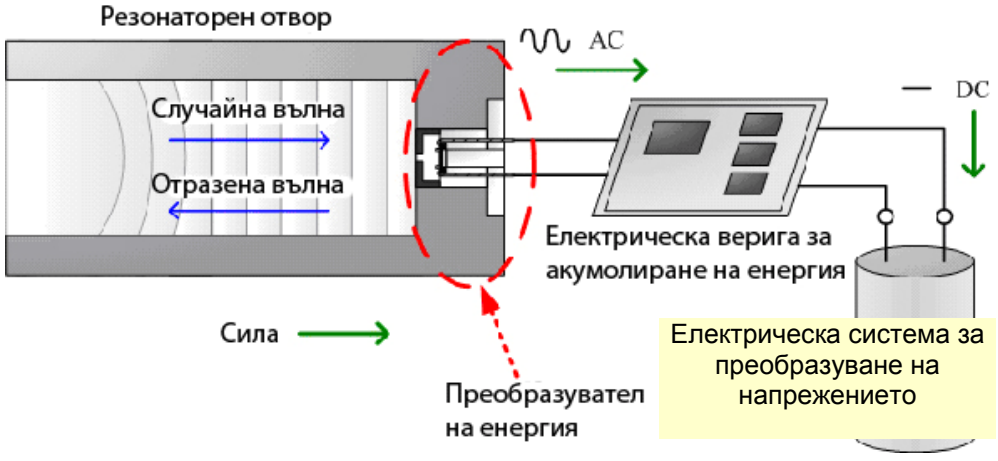
Използването на пиезоелектрични елементи в акумулирането на механична енергия е широко застъпено. В основата на метода е правия пиезоефект – при механична деформация на

пиезоматериалите, в тах се генерира електрическо напрежение, пропорционално на деформациите им (фиг. 5). С L_M е означена механична маса, със C_M - коравината, C_P е електрическия капацитет на пиезо-пластините, а R_M са взетите предвид механични загуби. Механичната област е свързана с електрическата чрез трансформиращ елемент, превръщащ деформация в електрическо напрежение, наречен механичен преобразувател. Основната трудност тук е синтезирането на пиезоматериали с микро- и нано- размери и подходящи свойства. Друго предизвикателство на генератора на електрическа енергия от този тип е проектирането и изработването на верига, превръщаща акумулираната енергия от пиезо-мембраните в електрическа. За разлика от конвенционалните източници на енергия и батериите, които имат малък вътрешен импеданс, в пиезоелектричните източници импедансът е относително висок. Съществуват редица разработки, при които този проблем в значителна степен е решен.



Фиг. 5. Схема на пиезоелктрична MEMC, показваща механичната и електрическата част на системата

Принципна схема на система за акумулиране на звукова енергия е показана на фиг. 6.

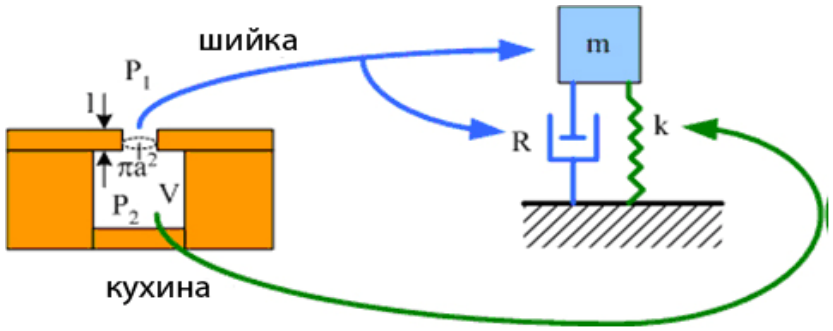


Фиг. 6. Обща схема на концепция за акумулиране на звуково налягане

В резонаторния отвор се получава променливо звуково налягане. То предизвиква променливи по знак деформации в мембраната, поставена на дъното му и неподвижно свързана с пиезоматериал. Чрез система за токоотвеждане генерираното променливо напрежение се предава към преобразувател на напрежение и усилвателен блок. След това напрежението се подава към консуматор или акумулатор.

Най–разпространеното устройство на пиезо–преобразувател на звуково налягане се състои от резонатор на Хелмхолц с пиезокристална задна плочка. Резонаторът на Хелмхолц е вид звуков резонатор, изграден от кух отвор, свързан с околната среда през малка шийка, както

е показано на фиг. 7. С V е означен обема на кухото пространство, P_1 - звуковото налягане от външна среда, P_2 - налягането в кухината. Преминаващото през шийката на резонатора количество въздух има крайна маса и притежава кинетична енергия. В кухината въздухът е свиваем и може да се моделира като еластичен елемент.



Фиг. 7. Схема, показваща механичния еквивалент на резонатора на Хелмхолц

При изграждането на МЕМС с пиезоелектрични елементи се изхожда от концепцията за акумулиране на механична енергия, като в този смисъл изграждането на системите се разделя главно на три компоненти. Първата компонента съдържа композитна деформируема плоча с пиезоелемент, който трансформира приложена деформация в електродвижещо напрежение. Втората важна компонента е конструктивното изграждане на преобразуващия елемент с оглед максималното акумулиране на регистрираното звуково налягане. Третата компонента е електрическа верига, която усвоява променливия електрически сигнал от пиезоелектричната диафрагма и го трансформира в постоянен. Всички компоненти са подложени на интензивно развитие с оглед постигането на по-голяма плътност на усвоените мощности.

3. ДЕЙСТВАЩИ ПРИЛОЖЕНИЯ НА ТЕХНОЛОГИЯТА ЗА АКУМУЛИРАНЕ НА ЗВУКОВО НАЛЯГАНЕ

Акумулиращи устройства на Британската компания Perpetuum, захранвани от механични трептения са монтирани към помпи, газови и нефтени инсталации. Енергията, добивана от тях, се използва за захранване на безжични сензори на предварително определени интервали. С помощта на Thechnology Partnership Cambridge UK, са изградени клетъчни комуникационни платформи със захранване без батерии, където акумулаторите на механични трептения захранват GSM модули с ниска мощност [5].

Компанията En Ocean е инсталирала 4200 ключа за осветление, светлинни сензори и други приемници с ниска мощност, които се захранват с акумулиращи звуково налягане преобразуватели, което е довело до 40% намаление на разходите за захранване със светлинна енергия и автоматизиране на осветлението в сградата [5].

Университетът в Саутхемптън демонстрира пиезоелектрични акумулатори на звуково налягане, които могат да осигурят 118 mW при напрежение от 4.1 V и натоварване от 140 $k\Omega$ [5].

4. ИЗВОДИ

Основните предимства на МЕМС за акумулиране на звукова енергия са:

- екологично чист метод;
- приложимост в обекти като тунели, метростанции, подземни съоръжения, където не е възможно акумулирането на енергия от други алтернативни източници (вятър, светлина, термални източници и др.);
- възможност за използване на налични елементи за модулиране на електрическо напрежение.

Недостатъци на МЕМС за акумулиране на звукова енергия:

- ниска мощност на звуковите вълни;
- скъпа технология на изработка на пиезоматериали с микро- и нано- размери.

В заключение може да се обобщи, че синтезирането на нови конструкции и технологии на МЕМС за акумулиране на звукова енергия е актуално предизвикателство за научноизследователските колективи.

За по-широкото им разпространение ще бъде необходимо развитието на алтернативни устройства за съхранение на акумулираната енергия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Horovitz, St. *Development of a MEMS-based Acoustic Energy Harvester*. University of Florida, PhD Thesis, **2005,** pp.17-33.
2. Li, P., and col. *A magnetoelectric energy harvester and management circuit for wireless sensor network*. Elsevier, vol.157, **2009,** pp.100-106.
3. Priya, Sh., D. Inman. *Energy harvesting technologies*. Springer Science, **2007,** pp.7-9.
4. Ramadass, Y., A. Chandrakasan. An *Efficient Piezoelectric Energy Harvesting Interface Circuit Using a Bias-Flip Rectifier and Shared Inductor*. IEEE Journal of solid state circuits, vol. 45, №.1, Januuary **2010,** pp.189-192,.
5. http://www.computescotland.com/energy-harvesting-devices-2103.php

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р инж. Иван Кралов
Технически Университет София,
София 1000, бул."Кл. Охридски" 8
e-mail: kralov@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

NATURAL FREQUENCY TUNING OF MEMS OSCILLATOR BY CAPACITIVE FEEDBACK

Ivan IVANOV **Todor TODOROV**

Abstract: *This paper deals with a method for tuning the natural oscillating frequency of an energy harvesting microsystem. A piezoelectric generator is used as a basic energy source of the system as well as energy supplier of the feedback. The elastic suspension is softened by means of two comb-finger capacitor arrays which are machined at the inertia mass. It is shown that if the capacitors are in parallel and there is direct feedback circuit the oscillating system becomes linear. The basic characteristics which are necessary for synthesis of such kind of devices are worked out.*

Key Words: *MEMS, vibration energy harvesting, oscillations, piezoelectric generator.*

НАСТРОЙВАНЕ НА СОБСТВЕНАТА ЧЕСТОТА НА МЕМС ОСЦИЛАТОР ЧРЕЗ КАПАЦИТИВНА ОБРАТНА ВРЪЗКА

Иван ИВАНОВ **Тодор ТОДОРОВ**

Резюме: *В статията е изложен метод за настройване на собствената честота на трептяща микросистема за добиване електроенергия. Основен енерго-източник на системата е пиезоелектичен генератор, който захранва и обратната връзка. Чрез добавяне на два реда гребенни кондензатори, разположени върху инерционна маса е постигнат ефект на омекотяване на еластичния елемент. Показано е, че при паралелно свързване на кондензаторите и директна обратна връзка трептящата система е линейна. Изведени са основните характеристики, необходими за синтез на подобни устройства.*

Ключови думи: *МЕМС, вибрационно енергодобиване, осцилации, пиезоелектричен генератор.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Осцилиращите системи намират приложение в микро-електромеханични системи (МЕМС), като резонатори, акселерометри, микрожироскопи, вибрационни енерго-добиващи устройства. Поради влиянието на мащабните фактори в сравнение с конвенционалните механични устройства, микросистемите имат значително по-висока собствена честота на трептене. Обикновено тези честоти варират от 1 кHz при някои термо-задвижвания до няколкостотин kHz при пиезоелектричните МЕМС [1]. При някои от тези микросистеми като например вибрационните енерго-добиващи устройства, за да се извлече максимално възможната енергия, се налага да се работи в резонанс при ниски честоти от порядъка на 50 до 600 Hz [2]. Такава ниска собствена честота води до увеличаване на геометричните размери на механичната част. За да се постигнат тези честоти при относително малки размери, се налага да се извърши допълнителна настройка на коефициента на еластичност на системата. Тази настройка се изразява в избор на подходящо потенциално поле, в което да вибрира еластичният елемент. Най-често такива полета се създават чрез магнитни, или електростатични взаимодействия. Те оказват директно влияние на еластичното поле на окачването, изразяващо се в намаляване на еластичната константа, наречено омекотяване. Един от най-разпространените методи е омекотяване на пружините чрез кондензатор или система от кондензатори, свързани в електрически вериги на различни типове обратни връзки [3].

В настоящата статия се разглежда оригинален метод за настройване на собствената честота на микро вибрационна система, съставена от еластично окачена транслационно движеща се маса, върху която действат надлъжни сили на кондензатори от гребенен тип. Кондензаторите се захранват от енерго-добиващи пиезоелектрични генератори на напрежение, използващи деформацията на еластичното окачване.

2. ПОСТАНОВКА И ОПИСАНИЕ НА ВИБРАЦИОННАТА МИКРОСИСТЕМА

На фиг. 1 е показан обобщен динамичен модел на енерго-добиваща микросистема със съсредоточени параметри. Инерционна маса m се движи транслационно под действието на вибрационно ускорение, на който е подложен корпусът на устройството. Това вибро-ускорение е втората производна на преносната координата X спрямо времето t, т.е. $\ddot{X} = \frac{d^2X}{dt^2}$. Еластичното окачване е представено чрез линейна пружина с коефициент на еластичност k. Еластичната част трябва да осигури транслационно преместване на масата и може бъде от тип двойно-запъната греда, огънато или друго, характерно за микросистемите окачване [4, 5, 6]. В зоните на максимално деформиране на еластичните елементи чрез пиезоелектрична система се добива напрежение

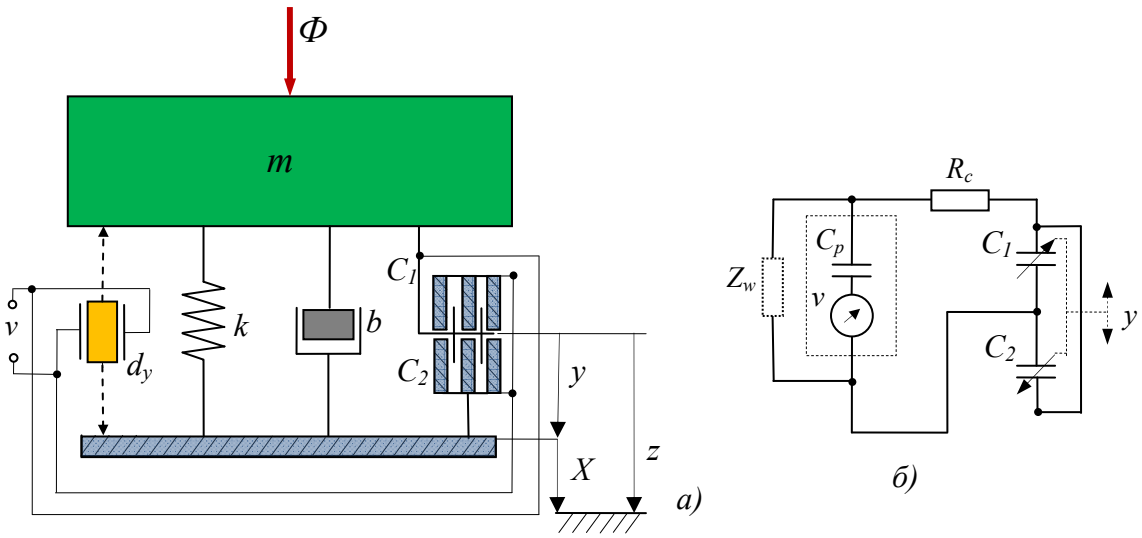
$$v = d_y.y \qquad (1)$$

където d_y е прието да се нарича коефициент на пиезонапрежение, зависещ от вида на окачването и структурата на пиезоелектричния слой [7, 8].

Това напрежение е енергоизточникът на системата и освен това служи за захранване на кондензатори, които се използват за коригиращ елемент на положителна обратна връзка.

Загубите на механичната част са отчетени чрез линеен демпфер с коефициент на вискозно демпфериране b.

В разглежданата структура кондензаторите са тип „гребен" (comb-finger) и са разположени между вибриращата маса и корпуса, където амплитудите на вибрациите са най-високи.



Фиг. 1. Обобщен динамичен модел на енерго-добиващата система с капацитивна обратна връзка: а) обща схема; б) схема на електрическата част

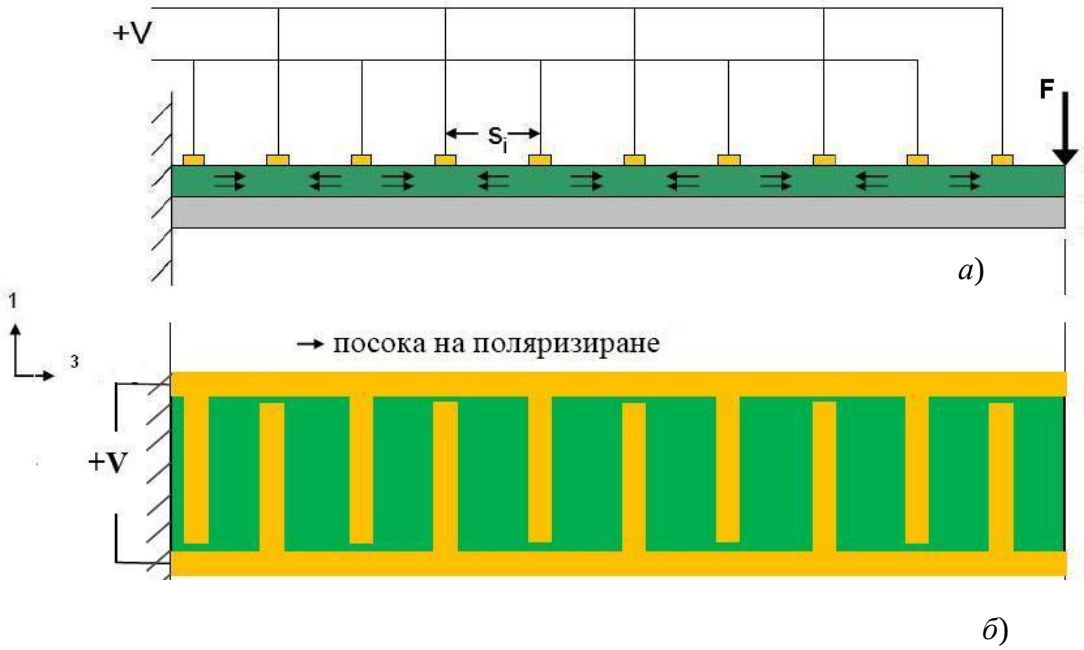
Конструкцията на кондензаторите е такава, че при нулева деформация на окачването, горният и долният ред са с равни капацитети, а при деформиране, припокриващите се площи на капацитетите се променят с равна големина, но с противоположен знак.

Схемата на електрическата част на устройството е показана на Фиг. 1*б*. Променливите кондензатори C_1 и C_2, които зависят от положението y на масата тук са свързани паралелно. Свързващите проводници на веригата на обратната връзка имат съпротивление R_c. Пиезоелектричният генератор е показан условно като източник на напрежение v и постоянен капацитет C_p. Товарът на консумиращата верига има импеданс Z_w.

Структурата на пиезоелектричния слой е показана на фиг. 2. Върху деформиращият се еластичен елемент е нанесен пиезоелектричен материал. Следващите технологични операции са нагряване на пиезоелектрика до температура близка до точката Кюри и подлагането му на

постояннотоково електрическо поле, което да създаде поляризация успоредна на надлъжните напрежения на гредата (Фиг. 2*а*). След това чрез фотолитографски технологии се нанасят електродите, които имат форма на сплетени пръсти (interdigitated electrodes - IDE) (Фиг. 2*б*).

IDE електродите и d_{33} режимът на работа са се наложили е в този тип устройства, за да се намали стойността C_p [9], която тук е пренебрегната. Резисторът R_c, отчитащ загубите в електрическата верига, също е приет за пренебрежимо малък.



Фиг. 2. Пиезоелектричен преобразовател с IDE в режим d_{33}: а) напречно сечение; б) поглед отгоре

На Фиг. 1 с координатата y се определя преместването на масата спрямо корпуса. Абсолютното преместване, или преместването на същата маса спрямо неподвижната координатна система е обозначено чрез z. Движението на масата при тази постановка се описва с диференциалното уравнение

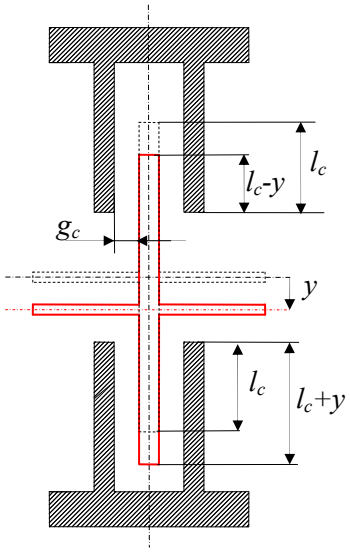
$$m\ddot{y} + b\dot{y} + ky = F_c - m\ddot{X} \qquad (2)$$

където с F_c е означена действащата върху масата сумарна сила на кондензаторите.

3. ОПРЕДЕЛЯНЕ НА КАПАЦИТИВНИТЕ СИЛИ

На фиг. 3 са показани два зъба от гребенните кондензатори на гредата, които взаимодействат с неподвижни гребенни структури изработени в корпуса. От тази схема е видно, че се формират по два плоско-паралелни кондензатора – единият действащ над, а другият под гредата. В начална позиция (показана на фигурата с пунктир), когато деформацията на гредата $y = 0$ двата срещуположни зъба се припокриват на дължина l_c. При вибриране, ако се приеме, че гредата се преместила на разстояние y, припокриващите се дължини на кондензаторите над гредата са $l_c - y$, а на тези под гредата ще бъдат $l_c + y$. Всички кондензатори имат постоянна въздушна междина g_c и ширина (размерът перпендикулярен на равнината на чертежа) w_c. При понататъшните изчисления се пренебрегват страничните потоци и влиянието на челните кондензатори.

Важна опростяваща предпоставка е пренебрегването на преходните процеси в електрическата част. Приема се, че системата има само една механична обобщена координата y.



Фиг. 3. Напречно сечение на един зъб от гребенния кондензатор на микросистемата

Силата на един кондензатор се пресмята чрез формулата

$$F_{c_i} = \frac{\partial E_c}{\partial y}. \tag{3}$$

Тук E_{c_i} е потенциалната енергия на кондензатора и се задава със зависимостта

$$E_{c_i} = \frac{1}{2} C v^2 \tag{4}$$

където C е капацитетът на кондензатора, v е напрежението между плочите.

Капацитетът на един кондензатор, разположен над гредата може да се представи във вида

$$C_1 = \frac{\varepsilon (l_c - y) w_c}{g_c}, \tag{5}$$

където ε е диелектричната константа на въздуха. Аналогично за капацитета на кондензатор от долните редове се получава

$$C_2 = \frac{\varepsilon (l_c + y) w_c}{g_c} \tag{6}$$

Като се вземе предвид, че един зъб образува два кондензатора (по един с лявата и дясната неподвижни стени) от формули (4) и (1) за потенциалната енергия на горния зъб следва

$$E_{C_1} = \frac{\varepsilon (l_c - y) w_c d_y^2 y^2}{g_c} \tag{7}$$

Зъбът под гредата е подложен съответно на потенциална енергия

$$E_{C_2} = \frac{\varepsilon (l_c + y) w_c d_y^2 y^2}{g_c} \tag{8}$$

В съответствие с формула (3) след диференциране на E_{c_1} спрямо y е получена силата

$$F_{C_1} = \frac{\varepsilon w_c d_y^2}{g_c}\left(2l_c y - y^2\right) \tag{9}$$

Аналогично след диференциране на потенциалната енергия E_{c_2} е получена силата

$$F_{C_2} = \frac{\varepsilon w_c d_y^2}{g_c}\left(2l_c y + y^2\right) \tag{10}$$

Силата действаща на един зъб е сума от силите, изразени чрез формули (9) и (10) т.е.

$$F_{C_\Sigma} = \left(F_{c_1} + F_{c_2}\right) = \frac{4\varepsilon w_c l_c d_y^2}{g_c} y \tag{11}$$

Ако върху еластичния елемент са оформени n броя зъби, за сумарната капацитивна сила следва формулата

$$F_C = \frac{4n\varepsilon w_c l_c d_y^2}{g_c} y\,. \tag{12}$$

Коефициентът пред първата степен на y

$$k_c = \frac{4n\varepsilon w_c l_c d_y^2}{g_c} \tag{13}$$

има физически смисъл на еластична константа, която е по-уместно да бъде наречена електростатична еластична константа. Като се вземе предвид формула (13) диференциалното уравнение (2) приема вида

$$m\ddot{y} + b\dot{y} + \left(k - k_c\right) y = -m\ddot{X} \tag{14}$$

Видно е, че така описаната обратна връзка води до омекотяване на еластичния елемент, защото механичната еластична константа е намалена с k_c. Освен това се оказва, че обратната връзка не внася нелинейност в диференциалното уравнение и не променя неговия вид.

За по-голяма яснота се приема, че външните вибрации се описват с простата хармонична функция

$$X = a_x \sin \Omega t \tag{15}$$

където a_x е амплитудата, а Ω е честотата на външните трептения. След двукратно диференциране на израза (15) спрямо времето t се получава

$$\dot{X} = \frac{dX}{dt} = a_x \Omega \cos \Omega t\,, \tag{16}$$

$$\ddot{X} = \frac{d^2 X}{dt^2} = -a_x \Omega^2 \sin \Omega t\,. \tag{17}$$

Последния резултат е заместен в диференциалното уравнение (14) и след почленно разделяне на m е намерено

$$\ddot{y} + 2\eta\dot{y} + \omega_s^2 y = a_x\Omega^2 \sin\Omega t \qquad (18)$$

където $\eta = \frac{b}{2m}$ се нарича коефициент на демпфериране, а $\omega_s^2 = \frac{k - k_c}{m}$ е квадратът на собствената честота на системата. Този квадрат на честота е съставен от два компонента $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ - механична собствена честота и $\omega_c = \sqrt{\frac{k_c}{m}}$ - електростатична собствена честота.

Условието за възникване на резонанс е изравняване на честотата на външните трептения с със собствената честота на системата, т.е.

$$\sqrt{\frac{k - k_c}{m}} = \Omega\,, \qquad (19)$$

от където

$$k_c = k - \Omega^2 m\,, \quad \text{или} \qquad 4n\varepsilon w_c l_c d_y^2 = \left(k - \Omega^2 m\right) g_c\,. \qquad (20)$$

Последното уравнение дава условието за извличане на максимална енергия на енергодобиващото устройство. В съответствие с направените допускания това условие трябва да бъде спазено при избор на параметрите на променливите кондензатори и пиезоелектричния генератор.

4. ОСНОВНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТРЕПТЯЩАТА СИСТЕМА

Свойствата на трептящата система зависят от вида на диференциалното уравнение (18), което е линейно, нехомогенно от втора степен. Дясната част на това уравнение е хармонична функция. Това е едно от най-простите уравнения от този тип, изучаващо се най-подробно още в уводните курсове по математика и механика [10, 11, 12]. Простотата на анализа на диференциалното уравнение е безспорно предимство, защото известните вече теоретични резултати може да се приложат лесно за конкретната система и да намерят своето ясно физическо тълкуване.

Решението на линейното диференциално уравнение има вида

$$y = A_y e^{-\eta t}\sin\left(\omega_1 t + \beta\right) + \frac{a_x\Omega^2}{\left(\omega^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\eta^2\Omega^2}\sin\left(\Omega t - \arctan\frac{2\eta}{\omega^2 - \Omega^2}\right) \qquad (21)$$

където A_y и β са амплитудата и фазовото отместване на затихващите свободни колебания. Те са изохронни интеграционни константи, зависещи от началните условия. Честотата на затихващите колебания е $\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - \eta^2}$.

Вторият член на решението (21) описва принудените колебания, които имат амплитуда

$$A_f = \frac{a_x\Omega^2}{\left(\omega^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\eta^2\Omega^2} \qquad (22)$$

и фазово отместване

$$\beta_f = \arctan\frac{2\eta}{\omega^2 - \Omega^2}\,. \qquad (23)$$

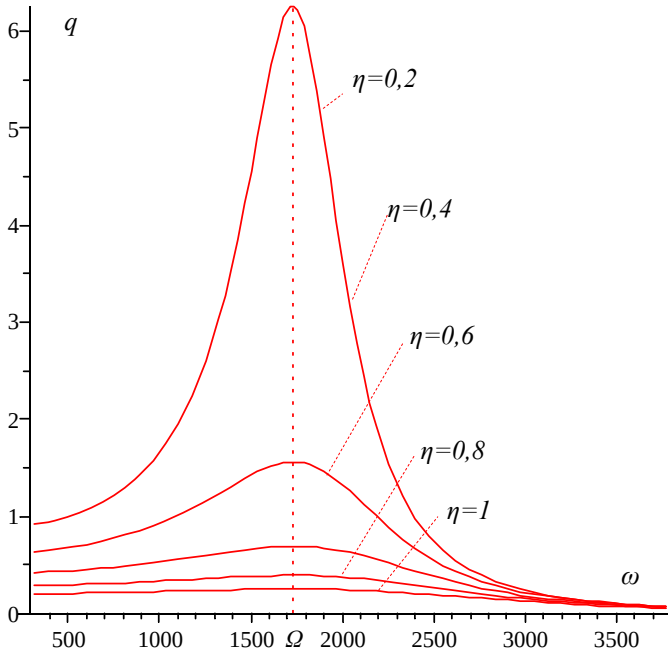
Както е известно [13] тези колебания са доминиращи, защото свободните колебания бързо затихват. Изразът за амплитудата на принудените колебания може да се преобразува във вида

$$A_f = \frac{a_x}{\left(\frac{\omega^2}{\Omega^2} - 1\right)^2 + 4\eta^2}. \tag{24}$$

От горната формула се извежда коефициента на усилване q на устройството, който е отношение на амплитудата на колебанията на системата към амплитудата на колебанията на външния източник на вибрации

$$q = \frac{A_f}{a_x} = \frac{1}{\left(\frac{\omega^2}{\Omega^2} - 1\right)^2 + 4\eta^2}. \tag{25}$$

Изменението на коефициента на усилване за диапазон на изменение на собствената честота $50 \le f \le 600$ Hz, което е равносилно на $\omega \in (314.15, 3769.91)$ s^{-1} при честота на външните трептения равни на средната за диапазона честота $\Omega = 1727,87$ s^{-1} е показано на фиг. 4.



Фиг. 4. Изменение на коефициента на усилване на системата в зависимост от собствената честотата при фиксирана средна честота на външните вибрации за стойности на коефициента на демпфериране от 0,2 до 1

Графиките са получени за коефициент на демпфериране η от 0,2 до 1. Тук се вижда, че относително високо усилване се получава в под-резонансните области. В над-резонансната зона усилването спада рязко под единица и клони към нула при високи стойности на ω независимо от демпферирането. Това показва, че средната стойност на интервала на честотите не е оптимална.

Максималната стойност на коефициента на усилване тук се получава точно при резонансната честота и може да се пресметне чрез формулата

$$q_{\max} = \frac{1}{4\eta^2}. \tag{26}$$

Коефициентът на усилване е параметър, който не съвпада с качествения фактор на системата. Например според King [14] отношението

$$Q = \frac{2\omega}{\eta} \tag{27}$$

е подходящ качествен критерии за енергийната ефективност на системата. Показаният на фиг. 4 коефициент q има смисъл подобен на този изложен от Тимошенко [10] въпреки, че в цитирания източник се използва друг вид система и съответно крайният извод е различен.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените изследвания се вижда, че описаната електромеханична система може да се настрои в нисък диапазон на честотите. Схемата дава възможност за бърза и ясна оценка на оптималните параметри на системата, защото динамичният модел е линеен и допуска да бъде изследван задълбочено.

Изследванията имат известни неточности, поради приемането на някои важни опростяващи предпоставки. Следваща стъпка в посока подобряване валидността и достоверността на модела може да се направи като се отчетат преходните процеси в електрическата част. Описаните тук параметри са достатъчни, за да се създаде нов модел с две обобщени координати - механична и електрическа. Така все още може да се запазят предимствата, характерни за моделите със съсредоточени параметри и да се състави по-ясно аналитично описание на процесите.

Получените резултати може да се приемат като добри начални данни за моделиране с разпределени параметри. По правило такъв вид модели се решават със специализиран софтуер и дават много добри крайни резултати, но имат основен недостатък - невъзможност за аналитична оценка на специфичните процеси и техните взаимодействия.

Важно е да се отбележи, че в основата на цялостната обосновка за изграждане на подобна хибридна енергосистема е анализът на енергийния баланс на отделните електрически кръгове. Това е предмет на други изследвания, които не са изложени тук.

БЛАГОДАРНОСТИ

Резултатите от научните изследвания, които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2010 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. James, J. A. *Micro electro mechanical system design*. Taylor & Francis Group, LLC, **2005,** pp. 118-120, **ISBN** 0-8247-5824-2.

2. Priya, S., D. Inman. *Energy Harvesting Technologies.* Springer Science+Business Media, LLC **2009**, pp 477-478, **ISBN** 978-0-387-76463-4.

3. Gianchandani, Y. B., O. Tabata, H. Zappe. *Comprehensive Microsystems,* Elsevier Ltd. **2008,** pp. 558-580

4. Howell, L. L. *Compliant mechanisms*. John Wiley & Sons, Inc, **2001**, pp 347-353, **ISBN 0-471-38478-X**.

5. Lobontiu, N. *Compliant mechanisms: design of flexure hinges*. **2002**, pp. 43-85, CRC Press, LCC, 2003, **ISBN 0-8493-1367-8.**

6. Stuart T. Smith. *Flexures: Elements of Elastic Mechanisms*. Taylor & Francis Group, **2003**, pp.45-51, **ISBN 90-5699-261-9**.

7. Jeon Y.B., R. Sood, J.-H. Jeong and S.-G. Kim. *MEMS power generator with transverse mode thin film PZT*. Sensors and Actuators A: Physical, Volume 122, Issue 1, Elsevier, **2005**, pp. 16-22.

8. Todorov T., G. Todorov, N. Nikolov, R. Yosifov. *Piezoelectric voltage evaluation of MEMS cantilever energy harvester with interdigitated electrodes*, **2010**, **ICCE**-18 Anchorage proceedings, pp.743-744.

9. Choi, W.J., Y. Jeon, J.-H. Jeong, R. Sood, S.G. Kim. *Energy harvesting MEMS device based on thin film piezoelectric*. J. Electroceram, Springer Science+Business Media, LLC, **2006**, pp. 543-548.

10. Weaver, W. Jr., S. Timoshenko, D H. Young. *Vibration problems in engineering*. 5th ed., John Wiley & Sons, Inc, **1990**, pp. 72-79, **ISBN 0-471-63228-7.**

11. Coddington E. A, R. Carlson. *Linear ordinary differential equations*. Society for Industrial and Applied Mathematics,**1997**,pp. 49-80, **ISBN 0-89871-388-9**.

12. Kishan, H. *Differential Equations*. Atlantic Publishers & Distributors (P) Ltd, **2006** pp. 43-56, **ISBN 8126905816.**

13. Thorby, D. *Structural Dynamics and vibration in practice*. Elsevier Ltd., **2008**, pp. 77-117, **ISBN: 978-0-7506-8002-8**.

14. King, G. *Vibrations and waves*. John Wiley & Sons Ltd, **2009**, pp. 33-74, **ISBN 978-0-470-01188-1**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Докторант Иван ИВАНОВ
катедра: Теория на механизмите и машините, МТФ
Технически университет - София
гр. София, България
i_e_ivanov@yahoo.de

Доц. д-р Тодор ТОДОРОВ
катедра: Теория на механизмите и машините, МТФ
Технически университет - София
гр. София, България
tst@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

MANUFACTURING TECHNOLOGIES FOR MICRO-ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS (MEMS) PART I

Marin HRISTOV Georgi TODOROV Nikolay NIKOLOV Vladimir GROZDANOV Dobromir GAIDADJIEV Konstantin KAMBEROV

Abstract: *MEMS world production for 2007 is evaluated at about 7.1 billion dollars. Next years forecasts show that it will be doubled till 2012 – up to 14 billion dollars and about 6.7 billion manufactured devices. A key factor for success in this growing area is the right choice of manufacturing technology. Sillicon micromachining technology is a milestone for the huge progress in MEMS. It helps forming of microscopic mechanical structures over or inside silica substrate.*

Keywords: *MEMS, technology, micromachining*.

ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА МИКРО-ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ СИСТЕМИ (МЕМС) ЧАСТ I

Марин ХРИСТОВ Георги ТОДОРОВ Николай НИКОЛОВ Владимир ГРОЗДАНОВ Добромир ГАЙДАДЖИЕВ Константин КАМБЕРОВ

Резюме: *През 2007 година световното производство на МЕМС на ниво чип е оценено на около 7.1 милиарда долара. Прогнозите сочат, че през 2012 година то ще се удвои до 14 милиарда долара и 6.7 милиарда произведени устройства. Ключов фактор за успех в тази бързоразвиваща се сфера е правилният избор на технология за производство. Силициевата микро-машинна технология е ключов фактор за големия прогрес на МЕМС. С нейна помощ микроскопични механични структури се формират върху или в силициева подложка.*

Ключови думи: *МЕМС технологии, микрообработка*.

1. МЕМС АНАЛИЗ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ ТЕХНОЛОГИИ

Микро-електро механичните системи, или МЕМС, представляват най-малките функционални устройства, които комбинират механични елементи с електронни елементи (най-често на една обща силициева пластина), имащи размери в порядъка на микрометри. В днешно време, тези системи имат сериозни приложения и перспективи. Според проучване на пазара от френската компания Yole Development [3], през 2004 година са били произведени 4 милиона МЕМС сензора за измерване на налягане в автомобилните гуми. През 2007 година производството на МЕМС устройства е достигнало 2 милиарда броя. Този ръст е предизвикан от влагането им в масови приложения с голяма степен на интеграция, като телефони и конзоли, съдържащи силициеви микрофони, жироскопи за управлението на игри и дигитални микрогледала за дисплеи.

Прогнозите сочат, че през 2012 година, броят на произвежданите устройства ще достигне 6.7 милиарда, като най-голям дял от тях ще заемат радио честотните устройства и силициевите микрофони. През 2007 година световното производство на МЕМС устройства на ниво чип е оценено на около 7.1 милиарда долара и се твърди, че през 2012 година ще се удвои и нарасне до около 14 милиарда долара. Средният годишен ръст на производство от 2007 до 2012 година се очаква да е около 14%.

През 2009 година, най-голям паричен дял от пазара на МЕМС имат микроогледалата и главите за мастилено струйни принтери. Акселерометрите, които имат среден ръст от 45% в годините от 2004 до 2012, се очаква да излязат на втора позиция с 22% от пазарния дял. Други устройства, които имат перспективи за разрастване са радио честотните и жироскопите.

На фигура 10 е показана прогноза за стойността на произведените МЕМС устройства, а на фигура 20 - прогноза за броя на произведените МЕМС устройства за периода 2007-2012 година. Интересен факт е, че въпреки големия ръст на произведени устройства от 2007/2008г. (25%), ръстът на печалбите е едва 9%. Този ефект се дължи на силния спад в цените на МЕМС устройствата.



Фиг.1. Прогноза за стойността на произведените MEMS, 2007-2012



Фиг.2. Прогноза за броя на произведените МЕМС, 2007-2012

1.1. Приложения

Условно, както и в други сфери на техниката, могат да бъдат разгледани два типа приложения на МЕМС – комерсиални и военни. По-долу са изброени, групирани в тези две категории, някои от най-разпространените приложения.

Комерсиални приложения:

- биомедицински сензори;
- миниатюрни инструменти за биомедицински анализ;
- системи управляващи сърцето (изкуствени водачи на сърцето, катетри);
- системи за прием на лекарства (инсулин, болкоуспокояващи);

- контрол на машини и двигатели;
- системи за автомобилна безопасност, спирачки и прекъсвачи;
- телекомуникационни компоненти за оптични кабели и превключватели;
- системи за съхранение на данни;
- RF и безжична електроника;
- сензори за определен вид поддръжка;
- сензори за наблюдение здравината на структури;
- контрол на аеродинамични и хидравлични системи.

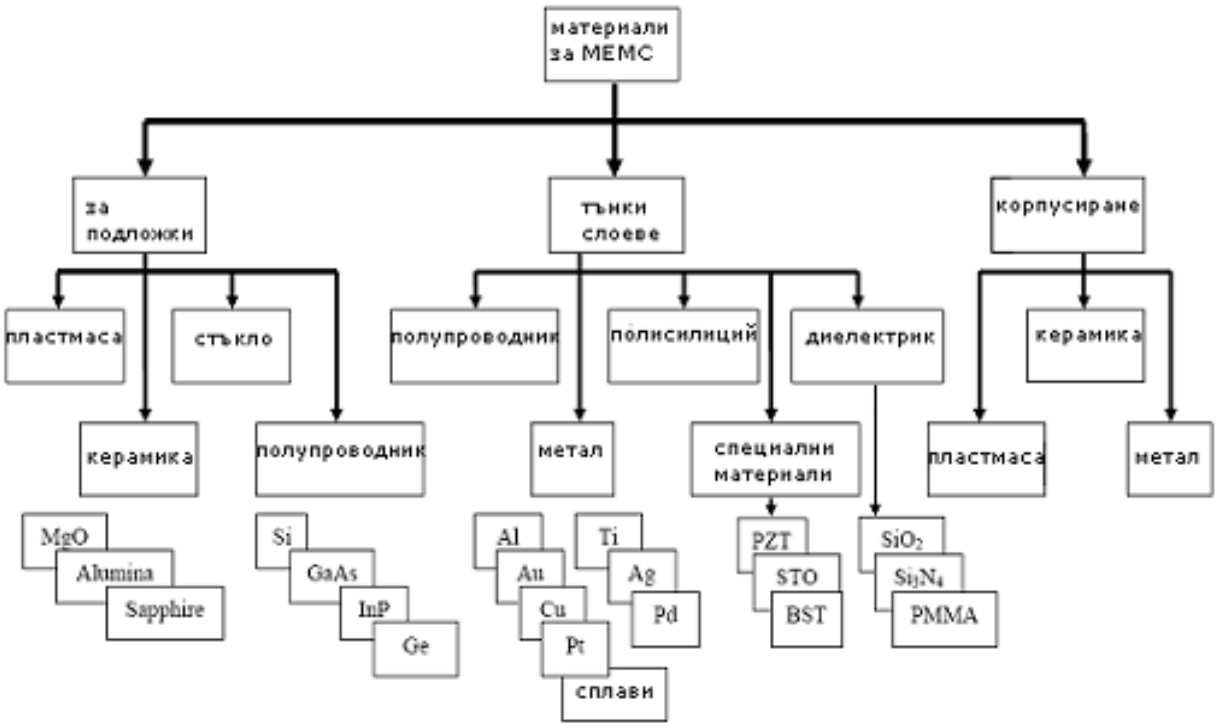
Военни приложения:

- системи за управление на боеприпаси и за индивидуална навигация;
- сензори за проследяване и наблюдение;
- вградени микромеханични компоненти за разпознаване на цели;
- устройства с голям обем и ниска консумация за събиране на информация;
- системи за далечно и нощно виждане;
- вградени сензори и превключватели за определени поддръжки;
- вградени флуидни системи за наблюдение на ракетно гориво и контрол при запалване;
- миниатюрни флуидни системи за откриване на заплахи от биологични и химични вещества;
- малки електромеханични устройства с ниска консумация за безжични комуникации;
- контрол на аеродинамиката в летателните машини.

1.2. Производствени технологии. Класификации

МЕМС могат да бъдат класифицирани според ползваните производствените технологии, които се явяват определящи за тяхната конструкция и функциониране. Основно те биват два типа – основани на силициеви технологии (отложени силициеви слоеве върху подложка) и несилициеви.

Силициевите МЕМС представляват комбиниране на механични елементи (като сензори и актуатори) с електронни елементи, на една обща силициева пластина, чрез микро-производствена технология. За създаването на електронната част се използват процеси за ИС (биполярни, CMOS или BiCMOS), а за реализирането на микро-механичните компоненти се използват съвместими микро-машинни процеси – като селективно ецване на части от силициевата пластина или добавяне на нови структурни слоеве за образуването на електромеханични устройства.



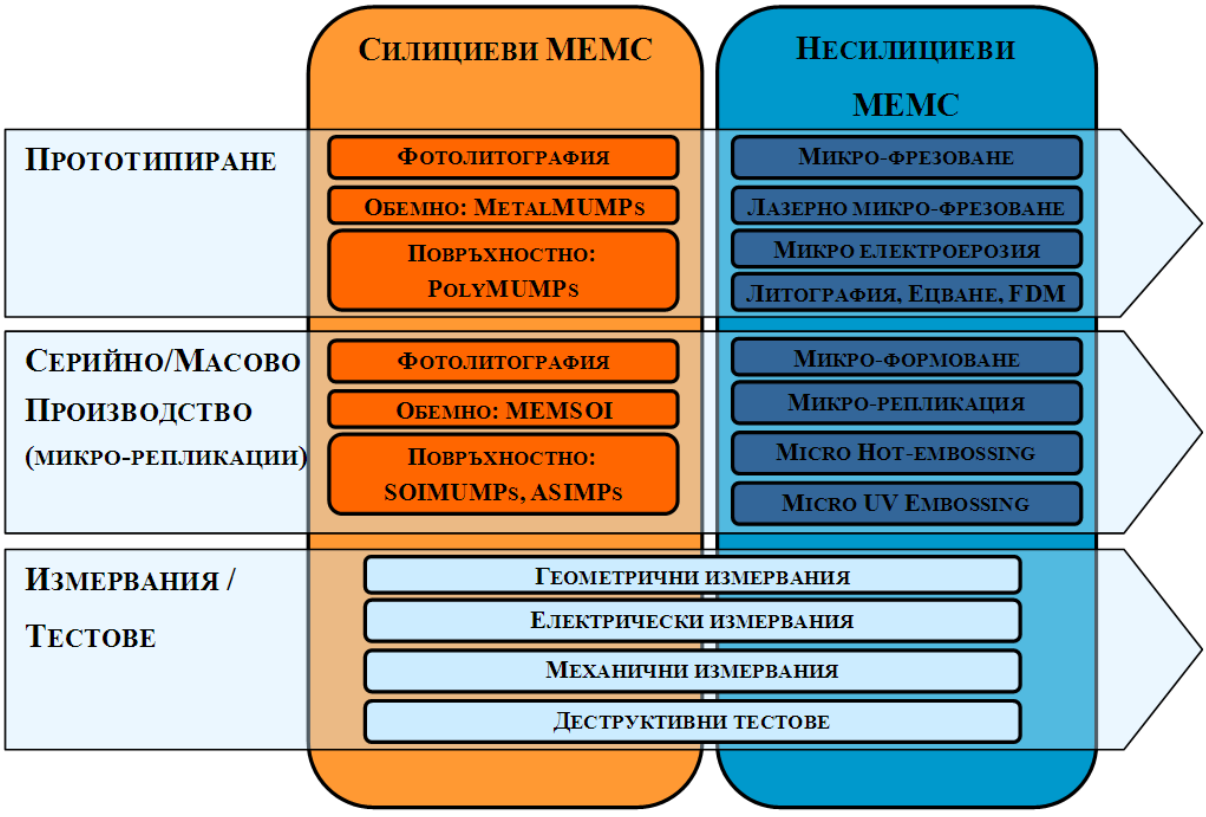
Фиг. 3. Структурни материали за производство на МЕМС

МЕМС технологията се базира на производството на интегрални схеми – обработка на силициева пластина, фото литография, ецване, отлагане на тънки слоеве (CVD, разпрашване, изпарение, галванизиране), анодизация и др. Размерите могат да бъдат от няколко микрометра до няколко милиметра. За производство на МЕМС се използва широк спектър от материали (фиг.3). За производство на МЕМС се използва широк спектър от материали0. Освен силиций се използват различни метали, метални сплави, керамика и полимери.

Несилициевите МЕМС отново използват комбиниране на механични и електронни компоненти, но произведени с несилициеви технологии. Технологиите за производство на несилициеви МЕМС могат да бъдат обобщени в три категории, за които по-долу са посочени някои от по-разпространените специфични технологии:

- Чрез отнемане на материал (микро-фрезоване, прецизно рязане, пробиване на отвори, ултразвукови обработки; лазерно микро-фрезоване; микро-електроерозийна обработка; литография);
- Чрез добавяне на материал: (микро-формоване; литография; електроформоване);
- Чрез съединяване от компоненти: (ултразвуково заваряване; лазерно заваряване/спояване; лепене).

Допълнително, разделянето може да бъде направено по категории според това дали се цели изработване на физически прототип (единични бройки) или серийно/масово производство, или пък е необходимо да се реализират измервания и тестове на произведени вече детайли. Такава класификация е показана на фигура 4.



Фиг. 4. Класификация на МЕМС производствени технологии

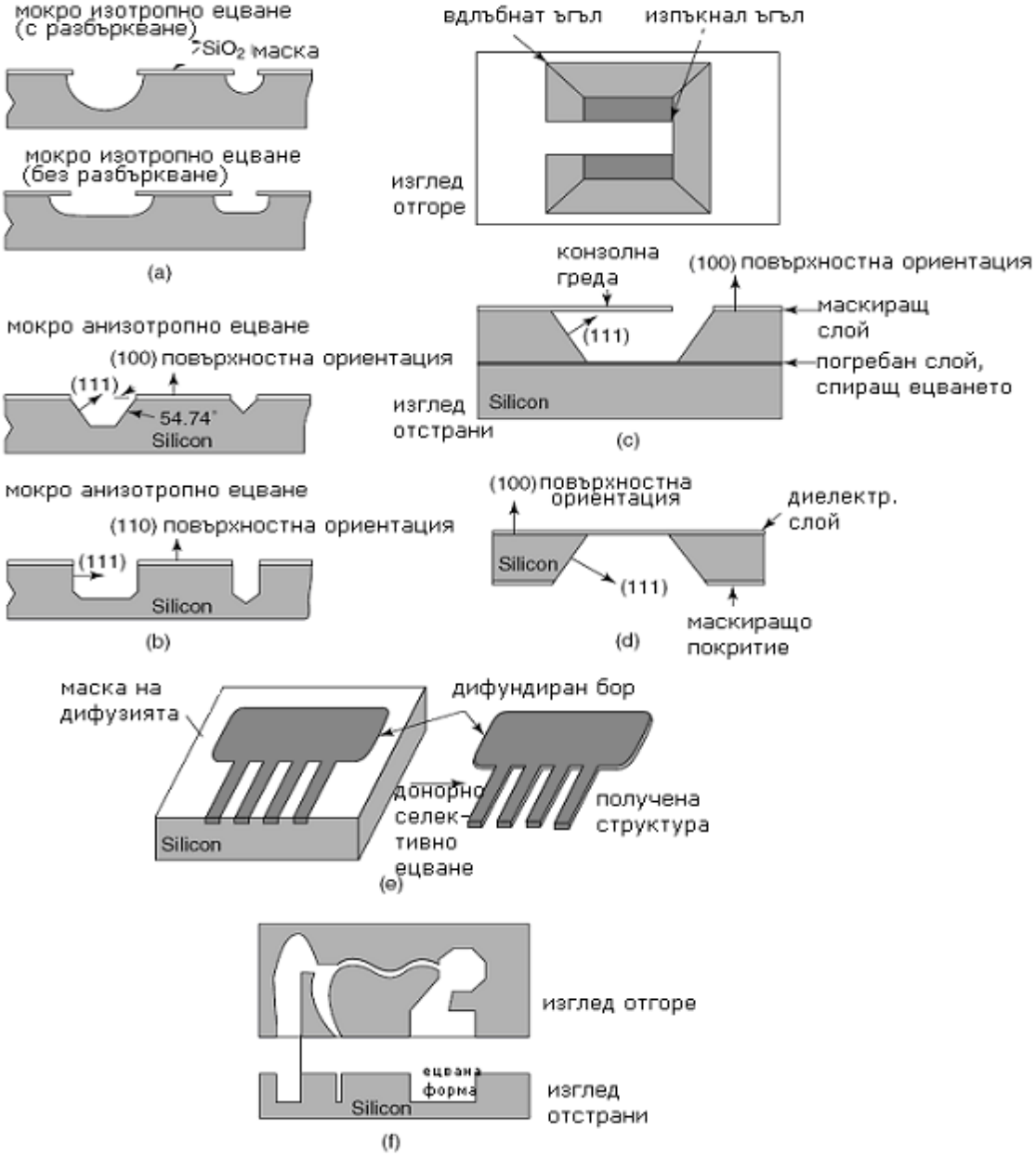
2. МИКРО-ПРОИЗВОДСТВО НА СИЛИЦИЕВИ МЕМС

Силициевата микро-машинна технология (silicon micromachining) е ключов фактор за големия прогрес на МЕМС [1]. Тази технология се отнася за оформянето на микроскопични механични части, които се намират върху или в силициевата подложка. Силициевата микро-машинна технология обединява две технологии: обемна микро-машинна технология (bulk micromachining), при която структурите се ецват вътре в обема на подложката и повърхностна микро-машинна технология (surface micromachining), при която микро-механичните структури са формирани от слоеве, отложени на повърхността [5].

Обемната микро-машинна технология и повърхностната микро-машинна технология са двата главни микро-машинни процеса за силиций. Слепването на силициеви пластини (silicon wafer bonding) обикновено е необходимо за силициевото микро-производство. LIGA (in German, litho-graphic, galvanoformung, abformung) и триизмерното (3D) микро-производство се използват за по-прецизно триизмерно изображение и производство на 3D микроструктури за МЕМС.

2.1.1. Обемна микро-машинна технология

Обемната микро-машинна технология (bulk micromachining) е изобретена през 1960 г. и позволява селективно премахване на значителни части силиций от пластината, за формирането на мембрани, бразди, дупки или други структури. Обемната микро-машинна технология може да се раздели на такава, получена чрез мокро ецване или чрез сухо ецване, в зависимост от фазата на реактива – фигура 5. Течните реактиви се основават на течни химикали и се отнасят за мокро ецване, докато плазмените и парните реактиви се отнасят към сухото ецване.

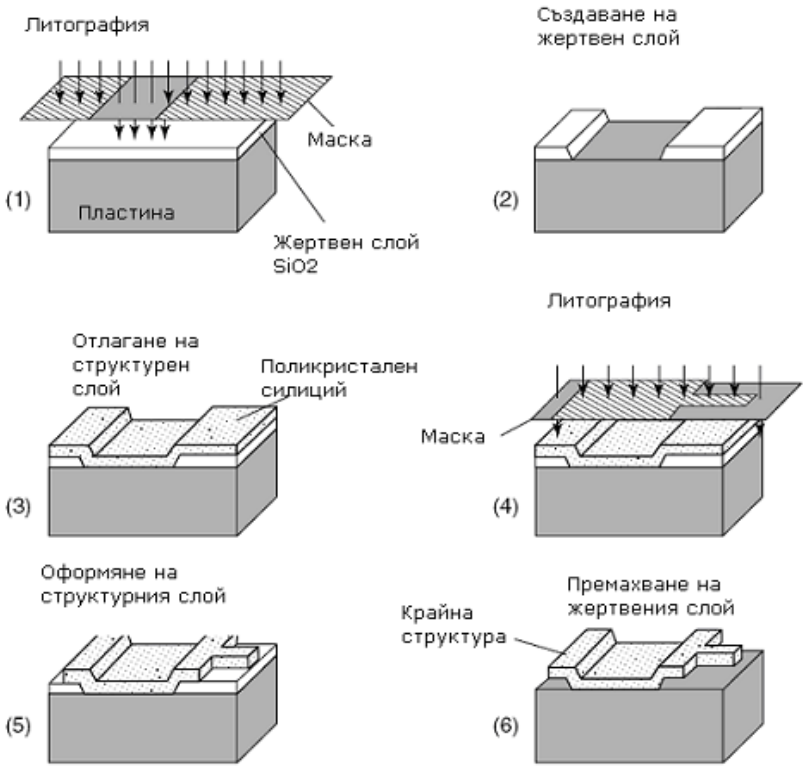


Фиг. 5. Селективно ецване, a) изотропно ецване, b) анизотропно ецване, c) анизотропно ецване със спиращ "погребан" слой, d) диелектрична мембрана, получена от задната страна на подложката, e) мокро ецване, зависещо от примесите, f) анизотропно сухо ецване [1]

Терминът обемна микро-машинна технология произлиза от създаването на микро-механична структура в обема на силициевата подложка чрез селективно ецване. Размерите на микроструктурите, изготвени по тази технология, могат да варират от стотици нанометри до стотици микрометри - от субмикронен размер до цялата дебелина на подложката. За ецването на такава голяма част от силициевата подложка се използва анизотропно мокро ецване, като за реактиви се използват калиев хидрооксид (KOH), етилен-диамин пирокатехин EDP, тетраметиламониев хидроксид TMAH и хидразин. Тези реактиви имат различна степен на ецване при различните ориентации на силиция. В повечето случаи, мокрото ецване се осъществява от задната страна на пластината, докато плазменото - от предната. През последните години навлиза нова обемна микро-машинна технология, известна като SCREAM (single-crystal reactive etching and metallization), която е комбинация от анизотропно и изотропно плазмено ецване. Ецващият процес може да се извърши селективно, с помощта на примеси - по-високолегираните области се ецват по-бавно, като ецването дори може да бъде спряно електрохимически (например ецването спира, когато достигне област с различен тип проводимост в поляризиран p-n преход). Съществуват няколко начина да се създаде забавящ или спиращ ецването слой, наречен “etch stop”: селективно ецване с помощта на легиращи примеси (doping-selective etching - DSE) и ецване, зависимо от проводимостта (bias-dependent DSE).

2.1.2. Повърхностна микро-машинна технология

Повърхностната микро-машинна технология (surface micromachining) не създава форми в обема на силиция, а вместо това изгражда структури на повърхността на силиция чрез отлагане на тънки слоеве. Те могат да бъдат “жертвени” слоеве и “структурни” слоеве (фигура 60). Чрез премахване на жертвения слой се освобождават структурните слоеве. Размерите на получените повърхностни микро-машинни структури могат да бъдат няколко порядъка по-малки от размерите на обемните. Едно от най-големите предимства на повърхностната микро-машинна технология е лесната й интеграция с останалите компоненти, на една и съща подложка в интегралната схема. Трябва да се има предвид, че значителното намаляване на размерите, при използване на повърхностна микро-машинна технология, води до по-малка маса на структурата, която може да е недостатъчна за някои приложения, но за други да бъде предимство.



Фиг. 6. Процедурни стъпки при повърхностната микро-машинна технология [2]

Повърхностната микро-машинна технология изисква набор от съвместими структурни материали, жертвени слоеве и химически реактиви. Структурните материали трябва да притежават физически и химически свойства, които са подходящи за желаното приложение. Те трябва да притежават и добри механически свойства, като еластичност и устойчивост на натиск/опън, минимална деформация и износване. Жертвените материали трябва да имат добри механични свойства, за да се избегне получаването на нежелани изкривявания и форми по време на производствения процес. Тези свойства включват добра адхезия и ниско остатъчно напрежение на материала, за да се избегне възможност от разслояване (разлепяне) или счупване на слоевете [1].

Реактивите, които премахват жертвените слоеве, трябва да имат отлична селективност, за да могат да премахват само необходимите материали, без това да повлияе на останалите. Също така, реактивите трябва да имат подходящ вискозитет и повърхностно напрежение [1].

3. ОБЗОР НА ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА МЕМС НА РАЗЛИЧНИ ПРОИЗВОДИТЕЛИ

Направен е обзор на технологичните процеси, предлагани от няколко водещи производители на микро-електромеханични системи. Разгледани са параметрите им, възможността за реализация на различни видове МЕМС, поддръжка на различни софтуерни продукти за проектиране, както и условията за достъп до технологията.

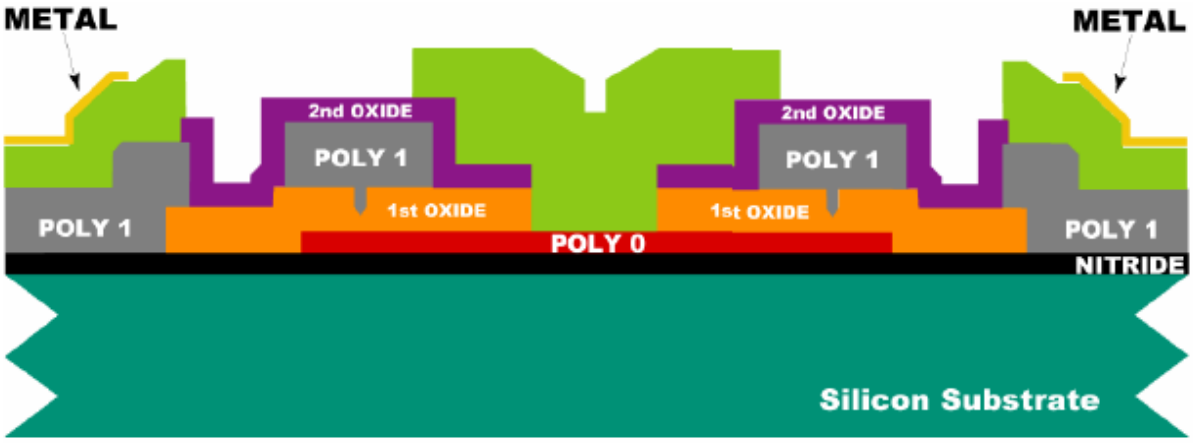
3.1. Технологии за производство на МЕМС на MEMSCAP

3.1.1. PolyMUMPS

Технологията PolyMUMPs е повърхностен микро-машинен процес, състоящ се от три поли-силициеви слоя (Poly0, Poly1, Poly2), два жертвени PSG слоя (Oxide1, Oxide2), един метален слой (Metal) и един изолиращ слой нитрат непосредствено над подложката (Nitride) (фигура 70). Минималният размер на структура е 2 um, а стъпката на процеса е 0.25 um.

Технологията е разработена в началото на 90-те години на миналия век и може да бъде използвана за проектиране и производство на различни видове сензори, акустични МЕМС, оптични МЕМС, флуидни МЕМС и други.

Фирмата производител описва PolyMUMPs като добре стандартизирана и същевремено “широкоспектърна” технология, използвана в редица университети като част от процеса на обучение в областта на проектирането и моделирането на различни видове микро-електромеханични системи. Тази технология често се използва и за извличане на параметри и верификация на софтуерни модели и статистически изследвания, при които данните от теоретични пресмятания се сравняват с информацията, получена от измервания на реално произведени структури.



Фиг. 7. Схематично представяне на различните слоеве, формирани по технология PolyMUMPs

Фирма MEMSCap поддържа технологични библиотеки за проектиране с CoventorWare и SoftMEMS за технологията PolyMUMPs. Библиотеките включват и параметрични топологични клетки и Verilog-A модели на различни видове сензори и актуатори. Те значително улесняват

процеса на проектиране. Технологията е достъпна за членове на Europractice и MOSIS на редуцирани цени и предлага MPW (Multi Project Wafer) програма [9]0.

Таблица 1 Цени за членове на Europractice за производство на МЕМС по технология MEMSCap PolyMUMPs

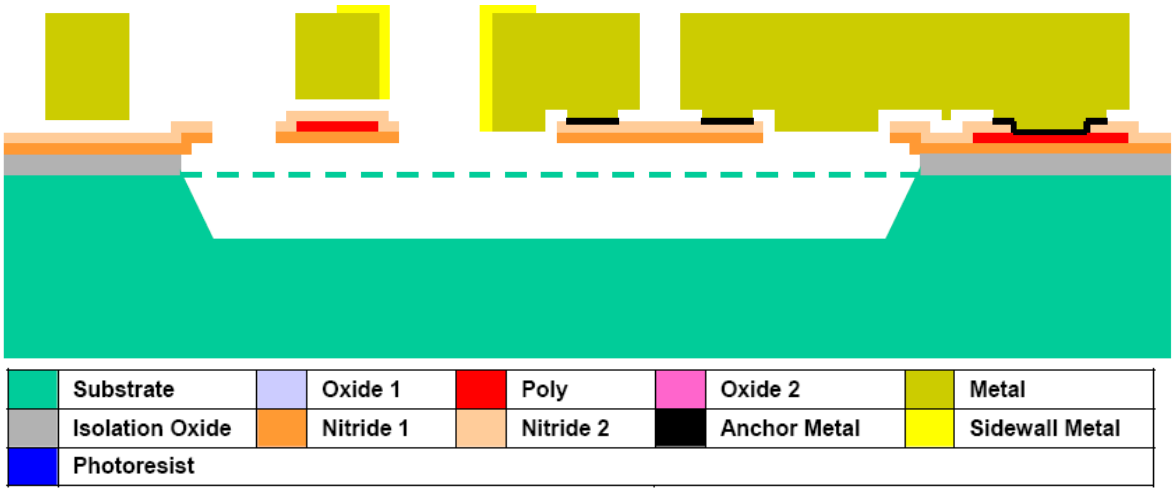
Размер на пластината	10 x 10 mm
Активна площ	9.8 x 9.8 mm
Брой произведени пластини	15
Стандартна цена	2950 EUR
Цена за организации от страни членки на ЕС	1650 EUR
Допълнителна обработка	
Допълнително скрайбиране (на срез за 15 пластини)	140 EUR
HF освобождаване (до 60 пластини)	550 EUR
$C0_2$ изсушаване + HF освобождаване (до 60 пластини)	1200 EUR

3.1.2. MetalMUMPs

MetalMUMPs комбинира три основни процеса: LIGA, галванопластика (electroplating) както и обемно и повърхностно микро-структуриране [6].

По тази технология могат да бъдат формирани структури от никел с дебелина между 18 и 22 um, разположени върху полисилициев слой и/или нитриден слой, като под тях може да бъде оформена дълбока кухина чрез ецване с KOH. Никел се използва както като структурен слой, така и за осъществяване на електрически връзки. Легирания полисилициев слой може да бъде използван за формиране на резистори, допълнителни механични структури или опроводяване. Нитридните слоеве се използват за електрическа изолация. Под механичните компоненти може да бъде формирана кухина за допълнителна електрическа и термична изолация (фигура 8). Минималният размер на структура е 5 um0.

Тази технология позволява изграждането на различни видове механични ключове, флуидни МЕМС и други.



Фиг. 8. Схематично представяне на различните слоеве, формирани по технология MetalMUMPs

Фирма MEMSCap поддържа технологични библиотеки за проектиране с CoventorWare и SoftMEMS за технологията MetalMUMPs. Библиотеките не включват параметрични топологични клетки и Verilog-A модели.

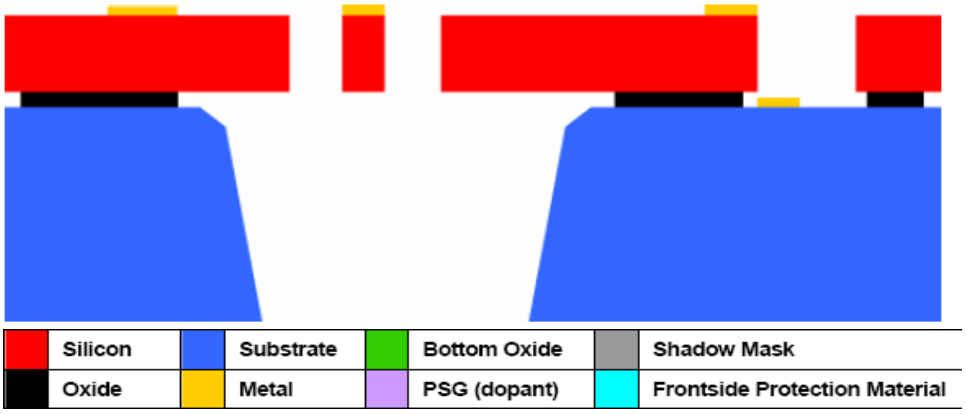
Технологията е достъпна за членове на Europractice и MOSIS на редуцирани цени и предлага MPW програма 0[9].

Таблица 2 Цени за членове на Europractice за производство на MEMC по технология MEMSCap MetalMUMPs

Размер на пластината	10 x 10 mm
Активна площ	9.8 x 9.8 mm
Брой произведени пластини	15
Стандартна цена	2950 EUR
Цена за организации от страни членки на ЕС	1650 EUR
Допълнителна обработка	
Допълнително скрайбиране (на срез за 15 пластини)	140 EUR

3.1.3. SOIMUMPs

SOIMUMPs използва SOI (Silicon-On-Insulator) подложка, която се състои от два силициеви слоя - поддържащ и структурен, отделени от слой силициев диоксид [7], както схематично е показано на фигура 9. Поддържащият слой е с дебелина 400um, а структурният може да е с дебелина 10um или 25um. Технологията се предлага и по MPW програма, като и двете опции за структурния слой са достъпни за потребителите във всеки MPW цикъл. При SOIMUMPs се използва фотолитография и от двете страни на подложката, което позволява формирането на отвори през цялата подложка. Технологичният процес включва и отлагане на два метала - единият се използва за опроводяване, а с другия могат да бъдат изградени микро-огледала.



Фиг. 9. Схематично представяне на различните слоеве, формирани по технология SOIMUMPs

Тази технология позволява изграждането на различни видове сензори на ъглова скорост, оптични МЕМС и други.

Фирма MEMSCap поддържа технологични библиотеки за проектиране с CoventorWare и SoftMEMS за технологията SOIMUMPs. Библиотеките не включват параметрични топологични клетки и Verilog-A модели. Технологията е достъпна за членове на Europractice и MOSIS на редуцирани цени и предлага MPW програма 0[9].

Таблица 3. Цени за членове на Europractice за производство на MEMC по технология MEMSCap SOIMUMPs

Размер на пластината	10 x 10 mm
Активна площ	9 x 9 mm
Брой произведени пластини	15
Стандартна цена	2950 EUR
Цена за организации от страни членки на ЕС	1650 EUR
Допълнителна обработка	
Допълнително скрайбиране (на срез за 15 пластини)	140 EUR

3.1.4. ASIMPS

ASIMUMPS е комбиниран CMOS-MEMS процес предлаган по MPW програмата на MEMSCap в сътрудничество с Jazz Semiconductor, Carnegie Mellon University и SoftMEMS [8]. В ASIMPS микро-структурите се формират по стандартен CMOS процес последван от две безмаскови процесни стъпки. Горния метален слой се използва и като защитен слой. В резултат се получават микроструктури с ниски паразитни капацитети, добре изолирани проводящи слоеве и възможност за формиране на пиезорезонатори. Тази технология намира приложение за производство на сензори на ускорение, радиочестотни МЕМС, IR сензори и други.
По данни на производителя, към момента успешно са завършени 10 MWP цикъла.

Таблица 4. Цени за производство на МЕМС по технология ASIMPS

Размер на пластината	5 x 5 mm
Брой произведени пластини	5 освободени + 45 неосвободени
Цена	~16 000 USD

Фирма MEMSCap поддържа технологични библиотеки за проектиране със SoftMEMS за технологията ASIMPS. Библиотеките не включват параметрични топологични клетки и Verilog-A модели. Технологията не е достъпна за членове на Europractice [9] и MOSIS.

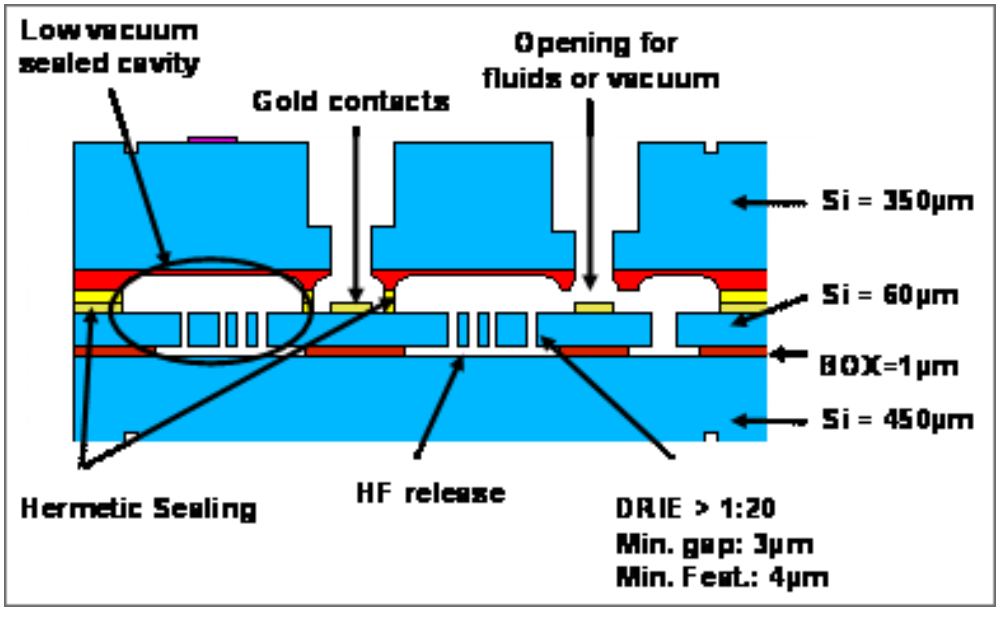
3.2. Технологии за производство на МЕМС на Tronics

3.2.1. MEMSOI

MEMSOI е 60um HARM (High Aspect Ratio Micromachining) процес позволяващ формиране на херметизирани структури [10]. Тази технология позволява изграждането на:

- капацитивни сензори;
- електростатични актуатори
- резонатори с висок качествен фактор;
- електро-оптични структури;
- микрофлуидни структури.

Фирмата производител описва MEMSOI като добре стандартизирана технология използвана в редица университети, изследователски институти и фирми като част от процеса на обучение в областта на проектирането и моделирането на различни видове микро-електромеханични системи.



Фиг. 10. Схематично представяне на различните слоеве, формирани по технология MEMSOI

Фирма Tronics поддържа технологична библиотека за проектиране с CoventorWare. Не се поддържа технологична библиотека за SoftMEMS. Технологията е достъпна за членове на Europractice на редуцирани цени и предлага MPW (Multi Project Wafer) програма [9].

Таблица 5 Цени за членове на Europractice за производство на МЕМС по технология Tronics MEMSOI

Размер на пластина, mm^2	4x4	4x8	8x8
Активна площ, mm^2	3.5x3.5	3.5x7.5	7.5x7.5
Брой контактни площадки	до 12	до 18	до 24
SOI	SOI = 60 μm	BOX = 2 μm	Bulk = 450 μm
Стандартна цена	2500 EUR	3500 EUR	5000 EUR
Цена за организации от страни членки на ЕС	1500 EUR	2000 EUR	3000 EUR
Брой произведени пластини	20	20	20

3.3. Технологии за производство на МЕМС на X-FAB

X-FAB предлага повърхностни и обемни технологии за производство на МЕМС, съвместими със стандартен CMOS процес [11]. Фирмата поддържа технологични библиотеки за проектиране с CoventorWare за част от технологичните процеси. Технологиите на X-FAB не се предлагат от Europractice [9] или MOSIS и нямат MPW програма.

Обемната МЕМС технология най-често се използва за сензори на налягане и IR сензори.

Повърхностните МЕМС технологии са подходящи сензори на ускорение или налягане.

4. ИЗБОР И ТЕСТВАНЕ НА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА МЕМС

4.1. Критерии за избор на технология

При избор на технология подходяща за обучителна и академична дейност трябва да бъдат взети под внимание няколко различни параметъра:

- *универсалност* - възможност за реализиране на различни типове структури (сензори на ускорение, жироскопи, RF-MEMS, глави за мастиленоструйни принтери и т.н.)
- *стабилност на процеса* – избрания процес е добре да бъде стабилен, с достатъчно успешно завършени проекти и добра обратна връзка от потребителите.
- *ниска цена* – добра алтернатива за постигане на ниска цена е използване на MPW програма.
- *поддръжка на системи за автоматизация на проектирането* – наличието на технологични библиотеки значително улеснява процеса на проектиране.
- *съвместимост с CMOS* – позволява интегриране на механични и електронни компоненти в една интегрална схема

При разработване на прототипи и системи с цел обучение е добре да се използват възможностите за съвместяване на множество проекти на една пластина (Multi-project wafer - MPW). По този начин значително се намаляват разходите необходими за производство на прототипи. Друго важно условие е наличието на технологични библиотеки за по-разпространените системи за проектиране на микроелектромеханични устройства като Coventor и SoftMEMS.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интердисциплинарността на МЕМС технологиите е довела до огромно разнообразие на приложения в много и съвсем различни области. Произведените компоненти трябва да са с много добри параметри и висока надеждност, в комбинация с много малки физически размери, маса и цена. В зависимост от спецификите на конкретното приложение се избира дали използваната технология да бъде повърхностна, обемна или комбинация от двете.

Основните критерии за оценка на МЕМС технологиите са: *универсалност*, *стабилност на процеса, ниска цена*, *поддръжка на системи за автоматизация на проектирането* и *съвместимост с CMOS.* Друг важен фактор, който улеснява процеса на проектиране е поддръжката на технологични библиотеки и методи за проверка за спазване на правилата за проектиране.

С цел оптимизиране на разходите, когато задачата е за прототипиране, добра практика е търсене на възможност за съвместяване на множество проекти на една пластина (Multi-project wafer - MPW).

БЛАГОДАРНОСТИ

Тази работа се извършва в рамките на договори “DDOKF02/1 от 13.01.2010 на Технически Университет – София” и “102ni197-3 NIS TUS”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Elwenspoek, M., H.V. Jansen, *“Silicon Micromachining”*.
2. Фатикови, С., У. Ремболд. *„Мокросистемни технологии и микроробoтика”*. Шпрингер, Берлин, **1997**.
3. Mounier, E. *“Global MEMS market forecast 2007 – 2012”*. Yole Development, **2008**.
4. Carter, J., All. Cowen, B. Hardy, R. Mahadevan, M. Stonefield and St. Wilcenski. *“PolyMUMPs Design Handbook (Revision 11)”*. MEMSCAP Inc., **2005**.
5. Maluf, N., Williams K. *“An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering”*. Second edition, Artech House, **2004**.
6. Cowen, All., Br. Dudley, Ed Hill, M. Walters, R. Wood, St. Johnson, H. Wynands and B. Hardy. “*MetalMUMPs Design Handbook*“. MEMSCAP, Revision 1.0.
7. Miller, K., All. Cowen, G. Hames and B. Hardy. *“SOIMUMPs Design Handbook”.* MEMSCAP, Revision 4.0.
8. http://www.memscap.com/en_mumps.html
9. http://www.europractice-ic.com
10. http://www.tronicsmems.com/
11. http://www.xfab.com/en/technology/mems.html

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

проф. д-р Марин ХРИСТОВ
ТУ-София, бл.1, ет.3, каб. 1332
e-mail: mhristov@ecad.tu-sofia.bg

Доц. д-р Георги ТОДОРОВ
ТУ-София, бл.3, ет.5, каб. 3516
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

доц. д-р Николай НИКОЛОВ
ТУ-София, бл.4, ет.5, каб. 4536
e-mail: nickn@tu-sofia.bg

маг.инж. Владимир ГРОЗДАНОВ
ТУ-София, бл.1, ет.1, каб. 1113
e-mail: vladimirgrozdanov@gmail.com

маг.инж. Добромир ГАЙДАЖИЕВ
ТУ-София, бл.1, ет.1, каб. 1113
e-mail: dobri@ecad.tu-sofia.bg

маг. инж. Константин КАМБЕРОВ
ТУ-София, бл.3, ет.2, каб. 3221
e-mail: kkamberov@3clab.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

MANUFACTURING TECHNOLOGIES FOR MICRO-ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS (MEMS) PART II

Marin HRISTOV Georgi TODOROV Nikolay NIKOLOV Vladimir GROZDANOV Dobromir GAIDADJIEV Konstantin KAMBEROV

Abstract: *MEMS world production for 2007 is evaluated at abut 7.1 billion dollars. Next years forecasts show that it will be doubled till 2012 – up to 14 billion dollars and about 6.7 billion manufactured devices. A key factor for success in this growing area is the right choice of manufacturing technology. Sillicon micromachining technology is a milestone for the huge progress in MEMS. It helps forming of microscopic mechanical structures over or inside silica substrate.*

Keywords: *MEMS, technology, micromachining*.

ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА МИКРО-ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНИ СИСТЕМИ (МЕМС) ЧАСТ II

Марин ХРИСТОВ Георги ТОДОРОВ Николай НИКОЛОВ Владимир ГРОЗДАНОВ Добромир ГАЙДАДЖИЕВ Константин КАМБЕРОВ

Резюме: *През 2007 година световното производство на МЕМС на ниво чип е оценено на около 7.1 милиарда долара. Прогнозите сочат, че през 2012 година то ще се удвои до 14 милиарда долара и 6.7 милиарда произведени устройства. Ключов фактор за успех в тази бързоразвиваща се сфера е правилният избор на технология за производство. Силициевата микро-машинна технология е ключов фактор за големия прогрес на МЕМС. С нейна помощ микроскопични механични структури се формират върху или в силициева подложка.*

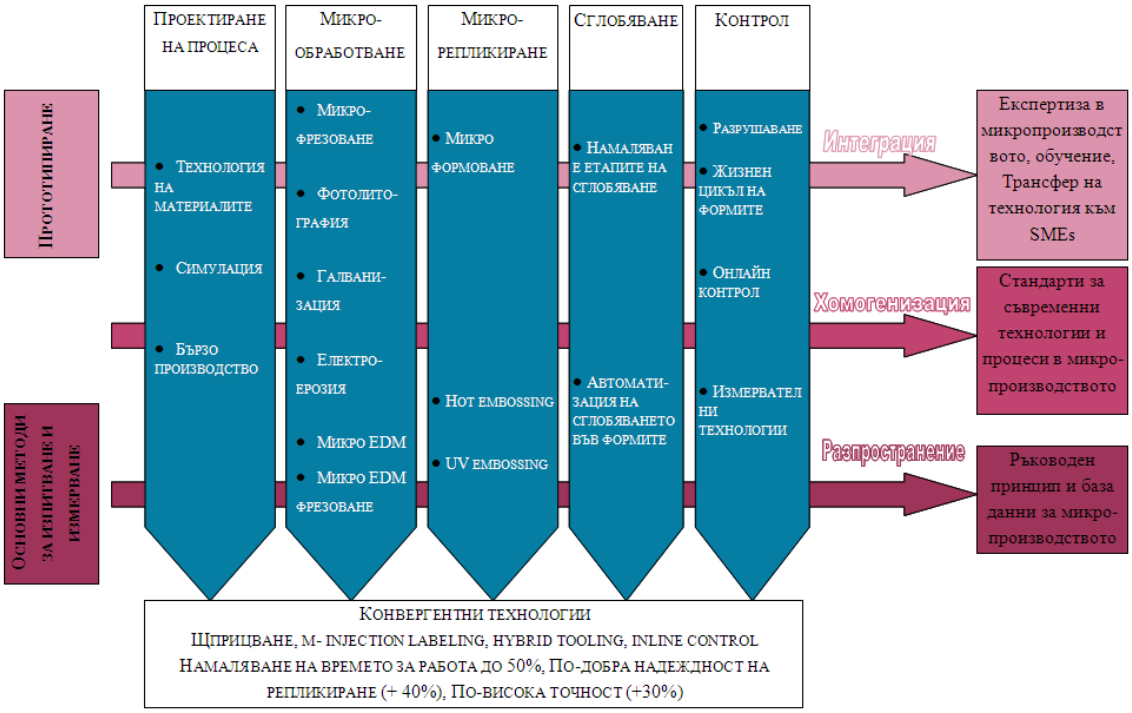
Ключови думи: *МЕМС технологии, микрообработка*.

1. МИКРО-ПРОИЗВОДСТВО НА НЕСИЛИЦИЕВИ МЕМС

Настоящият материал се явява продължение на предходен, с идентично заглавие, като в него се разглеждат технологиите за производство на несилициеви микро-електромеханични системи (МЕМС). Несилициевите МЕМС, както бе разгледано в първата част, използват комбиниране на механични и електронни компоненти, но произведени с несилициеви технологии. Главно, технологиите за производство на несилициеви МЕМС се делят на три категории: чрез отнемане на материал (микро-фрезоване, прецизно рязане, пробиване на отвори, ултразвукови обработки; лазерно микро-фрезоване; микро-електроерозийна обработка; литография); чрез добавяне на материал: (микро-формоване; литография; електроформоване); чрез съединяване от компоненти: (ултразвуково заваряване; лазерно заваряване/сплавяване; лепене).

Конструкцията на МЕМС се влияят силно от избраната технология за производство. Независимо от това, значение при избора на технология има и етапа от жизнения цикъл на изделието, на който ще се реализира производството. Така например, друга класификация може да бъде извършена според това дали се цели изработване на прототип или технологията се отнася до серийно и масово производство. Класифицирането на методите в това отношение

е показано на фиг. 1, която включва както елементи на сглобяване и контрол, така и отчита етапите от жизнения цикъл на изделието. Основен критерии е оптимизиране на разходите за производство, като по този начин подходящите методи да бързо прототипиране се различават от тези при масово производство. Като основен извод може да се посочи, че методите за микрорепликиране са основно подходящи за масово производство, докато тези за микрообработка – за прототипиране – във фазите на разработка на изделието.



Фиг. 1. Технологии за производство на несилициеви МЕМС според серийността на производство

Повечето от гореизброените технологии са познати (Електроерозия, ултразвук и др.), други познати са претърпели развитие за целите на производството на МЕМС. Настоящият материал разглежда подробно технологиите за изработване на МЕМС чрез лазерно микрообработване (основно за прототипиране) и чрез микроформоване – широко разпространена при серийно производство.

2. АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИИТЕ ЗА ЛАЗЕРНО МИКРООБРАБОТВАНЕ

2.1. Същност

Микро- и нанотехнологии могат да се разглеждат като следващото революционно ниво в индустрията. Това налага разработването и осъвършенстването на методи и технологии, които да революционизират начина, по който се изработват миниатюрните изделия. Микро- и нанообработването (Microfabrication, Nanomanufacturing) са насочени освен върху технологията на производство и към разработването и производството на нови материали, подходящи за тези нива на обработване.

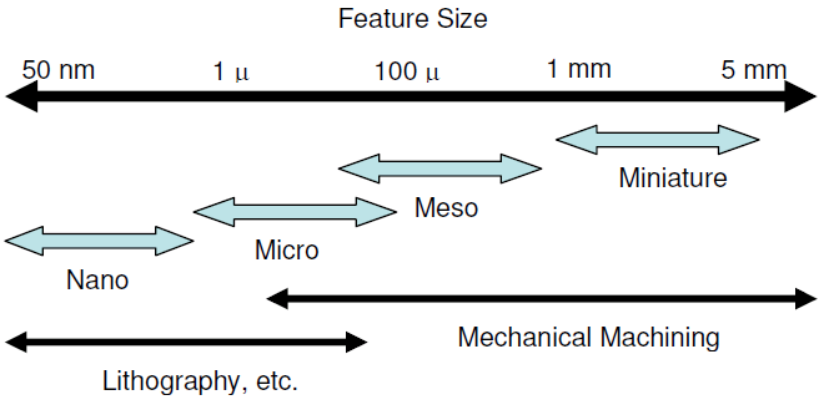
Потребностите на различни отрасли от промишлеността като електрониката (изработване на МЕМС и НЕМС, печатни платки и др.) и прецизната механика изискват развитието на съвременни методи за обработване на материалите. Едно от най-перспективните направления в тази посока е лазерното микро- и нанообработване.

Какво е микрообработването? Съществуват много определения даващи отговор на този въпрос. Производство на детайли, чийто функционални елементи или най-малки размери са в микрометри или създаване на детайли с висока точност, на основата на разнообразни материали и съдържащи елементи с размери в микрони (фиг. 2).

При лазерното микрообработване се използва енергията на лазерен лъч за отстраняване на материал чрез прогаряне и изпаряване на материала слой по слой. Управляващата траектория на движение на лазерния лъч се генерира директно от 3D CAD модела на детайла.

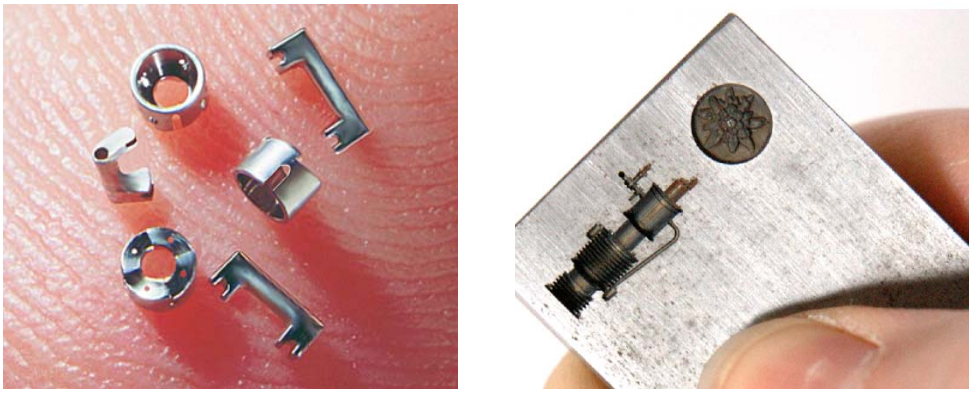
Машините за лазерно микрообработване са по-бързи от машините произвеждащи детайли чрез добавяне на материал, но като цяло работят по идентичен начин с останалите производствени технологии, работещи слой по слой.

Отстраняването на материала при лазерното микрообработване се осъществява като вазимодействие между лазерния лъч (импулсен) и заготовката. Възможни са различни механизми за отстраняване на материал в зависимост от параметрите на процеса, съобразени с лазерния лъч и материала на заготовката.



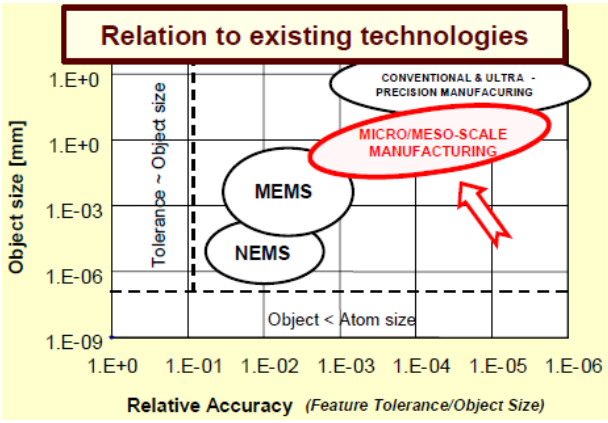
Фиг. 2. Област на използване на микрообработването

Лазерното микрообработване се прилага за изработването на прецизни детайли с размери, вариращи от няколко микрона до няколко милиметра (фиг. 3).



Фиг. 3. Детайли, получени с микрообработване

Възможностите на микрообработването по отношение на размерите на изгражданите детайли и точността им могат да се видят на фиг. 4.



Фиг. 4. Област на използване на микрообработването

2.2. Приложения

Приложенията на детайлите изработени чрез лазерно микрообработване са много и разнообразни. Такива приложения са:

- Преносими електрнни устройства и камери
- Безжични устройства
- Микро горивни клетки
- Оптични компоненти
- Медицински импланти
- Сърдечно-съдови катетери за отстраняване на съсиреци
- Сърдечно-съдови диагностични устройства
- Микрохимични реактори
- Микрофлуидни системи
- Микропомпи, клапани, смесителни устройства
- Изработване на екипировка за микролеене
- Изработване на микроплаки
- Изработване на микролещи и др.

2.3. Принцип на обработване

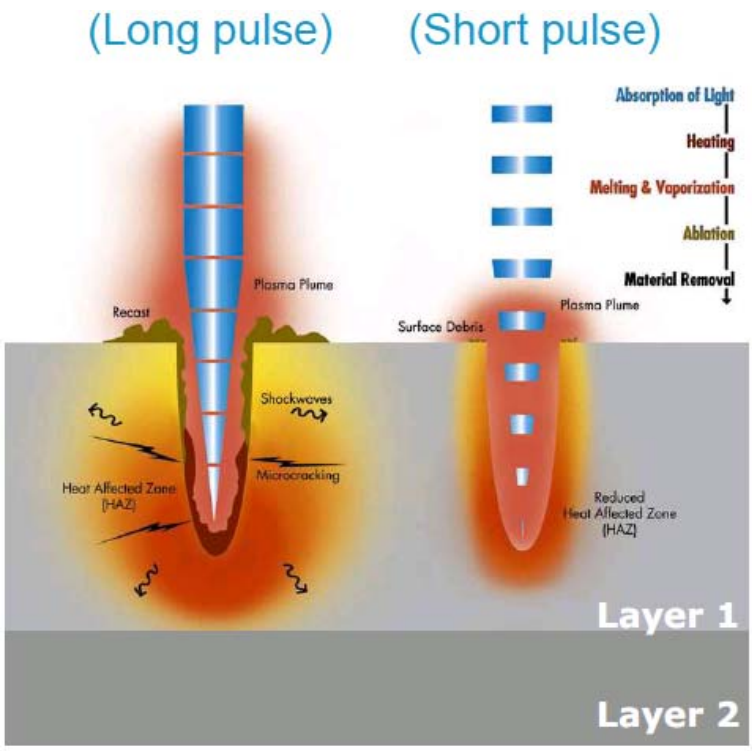
Изработването на микродетайли може да се извърши на базата но няколко различни физически принципа (фиг. 5).

Physical principle	*Process/material Interaction*			
	subtractive	*additive*	*mass conserving*	*joining*
mechanical	Milling Turning Drilling Grinding Ultrasonic machining		Rolling Forging Deep Drawing Bending Blanking Embossing	Ultrasonic welding
melting vaporization ablation	EDM Laser machining	CVD PVD		Resistance welding/soldering Laser welding/soldering Bonding
dissolution	ECM Lithography & etching			
solidification			Casting Injection moulding	
electrochemical deposition		Electroforming Electroplating		
LIGA	Combination of x-ray lithography and electroforming (+/- moulding)			

Фиг. 5. Принципи на изработване на микродетайли

Вниманието ще бъде насочено към механичното микрообработване с отнемане на материал. В различните машини (фрезоване, струговане, пробиване и т.н.) се използват различни системи за управление. Така например в машините за микроструговане и микрофрезоване се използва система за управление AIST (Япония), за микрообработване на отвори и микрорязане IPT-Aachen Univ. (Германия), в машините работещи като нанопринтери – ITRI (Тайван), а в ROBOnano микромашините – системата FANUC (Япония). Производителите на микромашини използват системите за управление на дадена фирма или опционално, в зависимост от изискванията на клиента. Някои машини имат възможност за използване на собствен софтуер за обработване и на конвенционални CAM модули.

Използват се лазери с дълъг и къс пулс (фиг. 6).



Фиг. 6. Ефект от дължината на имулса на лазера

Различните видове лазери използвани в машините за микрообработване са Microsecond pulse laser и Picosecond ultra-short pulse laser. Ясно се открояват предимствата на Picosecond ultra-short pulse лазера по отношение на качеството на обработените повърхнини. По отношение на производителност Microsecond pulse лазера е по-производителен.

2.4. Обработвани материали

Според начина на изработване на микродетайлите е възможно използването на различни материали. На фиг. 7 може да се види кой метод за какви материали е приложим.

Physical principle	Process/material Interaction			
	subtractive	*additive*	*mass conserving*	*joining*
mechanical	Milling Turning Drilling Grinding Ultrasonic machining	All materials	Rolling Forging Deep Drawing Bending Blanking Embossing	Ultrasonic welding
Metals melting vaporization ablation	EDM Laser machining	CVD PVD		Resistance welding/soldering Laser welding/soldering Bonding
dissolution	ECM Lithography & etching			
solidification	Some metals		Casting Injection moulding	
electrochemical deposition		Electroforming Electroplating		
LIGA	Mainly Ni	Combination of x-ray lithography and electroforming (+/- moulding)		

Фиг. 7. Принципи на изработване на микродетайли

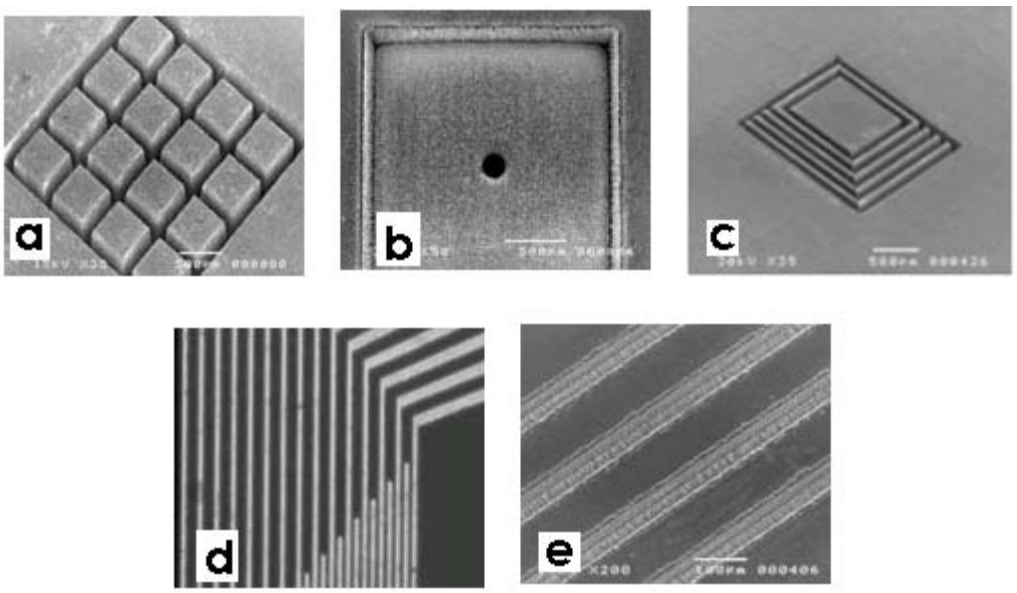
Основните материали, използвани при прилагане на този тип технология за производство на несицилиеви МЕМС са:

- **Метали:** Металите, които могат да се обработват чрез лазерно микрообработване са алуминий, стомана, нераждаема стомана, молибден, мед, титан, платина, злато, никел паладийй, манган, тантал, хром, сребро, волфрам, индиев оксид, цинков оксид и др.;
- **Полимери:** Възможност за обработване чрез лазерно микрообразботване имат голяма част от полимерите. Такива са различни полиамиди, поликарбонат, полиестер, полиетилен, полипропилен, полистирол, ABS, PVC, найлон, плексиглас, флуоропласти, кетони, полиуретани, епоксидни смоли, силиконови смоли, биополимери, проводящи полимери и др.;
- **Керамика:** Керамичните материали, които са приложими за лазерно микрообработване са алуминиев оксид (Al_2O_3), силициеви нитриди, силициев карбид, литий-ниобий, цирконий, метализирани керамика и др.;
- **Диелектрици:** Използват се различни стъкла, боросиликати, bulk fused silica, crown, soda lime, doped glasses, SiO_2, синтетичен диамант, сапфир, фибри, метализирани диалектрици и др.;
- **Полупроводникови елементи:** Използваните полуповодници са следните: wafers, silicon, germanium. Gallium arsenide, gallium nitride и др.;
- **Други:** Използват се и други материали като sol-gel, carbon composites, биоматериали.

2.5. Видове микрообработки

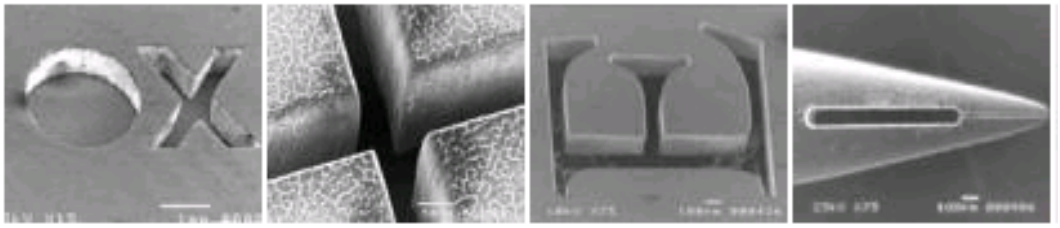
В зависимост от осите по които става обработването и по аналогия с класическите технологии за обработване микрообработването се разделя на:

- **Фрезоване:** Микрофрезоването се използва за създаване на различни елементи върху дадена повърхност с размери до 2.5 пъти диаметъра на лазерното петно. Възможно е използването на различни материали, споменати по горе. При подходящ избор на процес е възможно постигането на грапавост на повърхнините под 1 микрон. Лазерното микрофрезоване е подходящо за изработване на екипировка за микроформоване и леене, инструменти за микроотпечатване и микрофлуидни елементи. На фиг. 8 са показани различни елементи: a – блокчета с размери 500x500 микрона в алуминиев блок, b – фрезоване в мед с дебелина 0.3 mm, c, d – еквидистантни елементи и e – канали с ширина 0.05 mm в стъкло. Концепцията на лазерното микрофрезоване е сравнително проста. Всеки лазерен импулс прогаря малко количество материал от заготовката. Лазерът сканира обработваната повърхност, като в зависимост от дълбочината на обработване броя на импулсите е различен. На практика получаването на качествен краен резултат е следствие от системата за сканиране и приетата стратегия на обхождане. Важна е и морфологията на изходния материал.

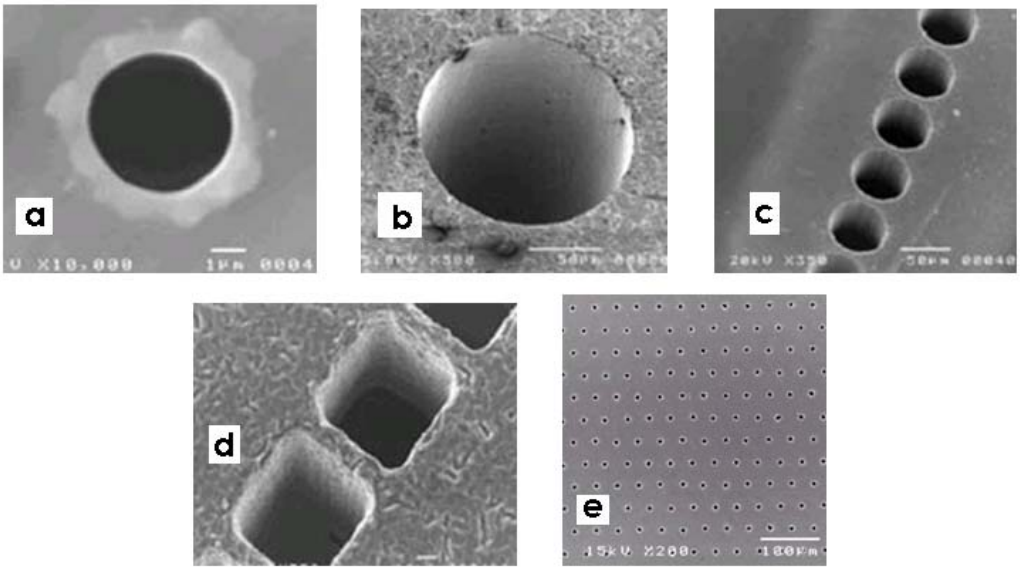


Фиг. 8. Лазерно микрофрезоване

- **Прецизно рязане:** Лазерното прецизно рязане е технология за микрообработване на разнообразни материали с големина на отделните компоненти под 1 микрон ширина и до 2 mm дълбочина (фиг. 9а);
- **Пробиване:** Лазерното пробиване се използва за изработване на микроотвори в почти всякакви материали, като може да се постигне много висока точност на позициониране и точност на диаметрите (по-малка от 1 микрон). На фиг. 9б е показан отвор с диаметър по-голям от 0.001 mm. Възможно е изработване в метали, керамики и полимери.



а) Лазерно микрорязане



б) Микроотвори

Фиг. 9. Лазерно микрорязане и микропробиване

На фиг. 9б “b" е отвор изработен в неръждаема стомана с диаметър 150 микрона, на “c” - отвори с диаметър 50 микрона, на “d” – квадратни отвори 60x60 микрона в силикон и на фигура “e” – група отвори в нераждаема стомана с диаметър 5 микрона.

3. ТЕХНОЛОГИИ ЗА ИЗРАБОТВАНЕ НА КОМПОНЕНТИ ЧРЕЗ МИКРО ФОРМОВАНЕ

3.1. Същност

Първоначално е важно да се отбележи че, микро-формоването и формоването на малки елементи са две различни неща. При микро формоването, теглото на елементите е 0.001g или по-малко, а размерът на елемента е с диаметър 0,1905 cm или по-малък. Тези елемнти изискват специални машини за формоване, специални инструменти, специална система за изваждане на детайлите и уплътняването им.

Един малък детайл може да има тегло от 0.1 до 1.5g или диаметър от 0,635 cm или по-голям. Те се произвеждат чрез конвенционални шприц машини и според стандартните инструментални технологии с обикновено избутване на детайла от формата и регулиране.

Съществува спор в промишлеността, какво точно е микро формоването. Всъщност няма промишлен стандарт, според който да може да се каже „Това е микро формоване”. Независимо от това, в промишлеността всеки детайл по-малък от 1 mg се смята, че спада към микро-формоването. От техническа гледна точка, микро формовъчни могат да се нарекат самите миниатюрни елементи или по-големи детайли, които притежават елементи с много малки

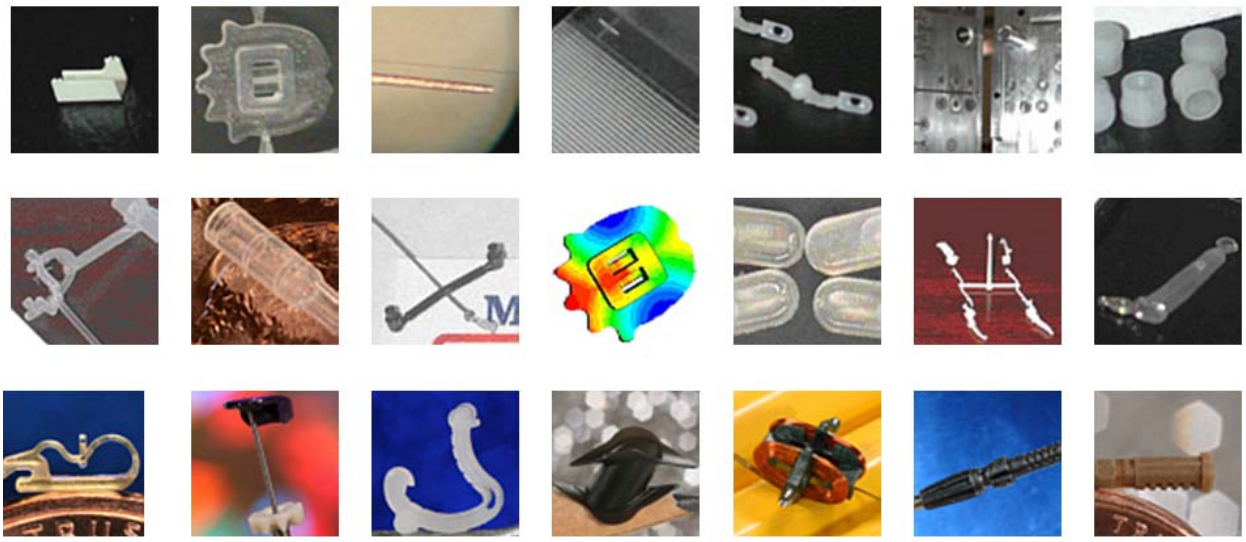
размери. Например, един детайл с тегло по-голямо от 2-3 g и притежаващ елемент, по-малък от 0.0002g също принадлежи към микроформоването.

Истинските микро детайли са малки частици от гранулата, с тегло малка частица от грама, имат допуски от 0.002-0.005 mm, и формата им може да бъде видяна само през микроскоп. Всъщност, най-малкият формован елемент на света е произведен от компанията MTD и размерът му представлява 520 елемента от единична пластмасова гранула. Постижението на MTD се простира отвъд микро измеренията достигайки нано ниво. Тук са посочени само някои размери на формовани микроелементи:

Микро флуидни канали до 0,5 μm

- Обща дължина на детайла от 1,5 μm
- Диаметър на питател от 0.05μm
- Стена с дебелина 0.04 μm
- Поансон и матрица по-малки от 0.003 μm
- Общо тегло на детайла от 0.00012 g

Формованите детайли може да са с микро размери, но също така могат да бъдат микро елементи част от по-големи детайли, които изискват същите нива на допуск на размерите на инструмента за съответните допуски използвани в микро формоването. Тези микроскопични детайли се използват за медицински уреди, като например части за катетър, микро сензори и импланти. Новопоявилите се отрасли, като биомедицина, микро електромеханични системи (MEMS), електроника, микро флуидика, нано технология, са разрастващи пазари за микро формоването. Примери за микроформовани детайли са показани на фиг. 10 по-долу.



Фиг. 10. Примери за микроформовани детайли

Микро формоването е неконвенционален метод, който носи и своите предизвикателства, като например:

- Как да се информират създателите на продукти относно новите възможности предоставени от микро формоването.
- Определяне на граници за това, кое е възможно да бъде формовано. Какви са границите за характеристики, като например дебелина на стените и размери на питателите.
- Как да се гарантира баланса на потока към формата по време на микро формоването. Какво трябва да се вземе под внимание от гледна точка на динамиката на потока, когато формованите детайли са частици от гранулата. Това е изключително важно, когато са включени няколко гнезда на формата.
- Намиране на най-добрия начин за анализиране на потока при детайли с микро размери.
- Определяне на приемливи допуски. Понякога някои допуски са приемливи при обикновеното формоване, но не и при микро формоването.
- Как да се определи оптимален начин за работа с детайли с микро размери.

Ако внимателно се обмислят свойствата на материалите и се създаде оптимална технология, може да се осъществи и оптимална стратегия за микро формоване. Това може да се стане независимо дали продуктът е нов или утвърден.

Формоването на няколко детайла от една пластмасова гранула е предизвикателство, което привлича все повече производители на микроелементи. Това предизвикателство подтиква

развитието на нови технологии при инжекционните машини, инструментите, измерването и др. Формоването на детайли с маса частица от грама се превръща във възможност за производители, които формоват детайли за пазара на електрониката, медицината, телекомуникациите, транспорта и др.

Нови приложения разширяват границите на това какво може да се формова като ги свеждат почти до прашинки – детайли с маса не повече от 0,0003 g., стени с дебелина 0,010 mm, и размери на допуските от ± 0.012 mm. Всичко това може да се постигне с машината CpK's 1.3 или дори по-добър резултат, което означава не повече от 6 дефекта на 100,000 детайла.

Някои от новите детайли, които започват да се формоват, с размери на маково семе, включват зъбни колела, слухови апаратчета, бобини, прекъсвачи, сензори, лещи, катетри, уплътнители, ролки и фиброоптични компоненти. Тези миниатюрни детайли притежават дори по-малки компоненти като отвори с много малък диаметър, канали и др. Някои от тези компоненти изискват втулка или двукомпонентно формоване.

Микро формоването представлява множество от предизвикателства пред традиционните формовъчни концепции. Конструкциите включват дори леяков канал и разпределителна леякова система с размери 75% от шприцваната маса. Като допълнение, пресите използват по-високи скорости на инжектиране и налягания, поради миниатюрните дюзи и канали. По-високите скорости на шприцване спомагат за намаляване на вискозитета и гарантират, че материалът ще запълни формата преди да се охлади.

Формоването на микро детайли обикновено не се препоръчва да се извършва на машини по-големи от 20 тона, тъй като става все по-трудно да се контролира толкова малък размер на шприцоване. Също така, продължителното време на престой и деградация на материала биха възникнали при цилиндри с нормални размери.

Използването на лабораторни машини, въпреки малките им размери, не се считат за подходящи кандидати за микро формоване, тъй като те не са проектирани за масово производство. От първостепенна важност е стабилността на процеса, защото в противен случай материалът може да предизвика дефекти в детайлите. От съществено значение са точно конструираният шнек и цилиндър, както и контрола на инжектирането. Когато се формова дори грам от материала трябва да се внимава да не прелее формата или да се получи недозапълване. Поради тези причини конструкторите на машини започват да разработват специализирани системи за микро формоване. В допълнение на предизвикателствата, тези миниатюрни детайли често изискват машиностроителни материали като полиамид-амид, течен кристален полимер, полиетеримид, PEEK, PPS, PET и новият циклоолефинова смола (COC) като допълнение към стандартните ABS, найлон, ацетал и TP полиестер.

Много промишлености използват и пълнители като PTFE, Kevlar, въглеродни нишки, стъклени нишки и др.

3.2. Предимства при използване на микроформоване

Следните няколко основни предимства могат да се изтъкнат при приложението на този тип технология за производство на несилициеви MEMC:

- По-ниски разходи за инструмента – обикновено една микро инжекционна формовъчна машина използва от 2 до 4 гнезда в сравнение със стандартната формовъчна машина, която има 16 гнезда. По-малкото гнезда означават по-малки разходи за изработване на инструмента и по-високо качество;
- По-малки размери на инструментите – инструментите използвани за микро формоване са значително по-малки от тези използвани за стандартното инжекционно формоване, например един инструмент за микро формоване с 3 или 4 гнезда може да се съревновава с един стандартен инструмент за инжекционно формоване с 16 гнезда. Това означава, че разходите за производството за тези инструменти са много по-ниски, а и по този начин времето необходимо за смяна на инструмента е сведено до минимум. Това означава, че разходите, както за настройване на машината, така и тези за експлоатация могат да се сведат до минимум;
- Намалени разходи за детайла – поради малкия си размер машините за микро формоване изискват значително по-малко енергия от съответстващите им машини със стандартен размер. Това в съчетание с намаления разход на обработката при производството означава, че разходът на продукта може да се намали и да осигурят цени, които могат да бъдат конкурентоспособни спрямо стандартното инжекционно формоване;
- Подчертани цветове – когато за формоване се използват микро формовъчни машини времето, в което разтопеният полимер стои в резервоара на машината е много по-кратко отколкото при стандартните инжекционни формовъчни машини. Когато материалът не се

прегрява, цветът на полимера не се губи и произведените детайли имат по-ярко и по-точно възпроизвеждане на цветовете;

- По-точни детайли – понеже процесът е предназначен за малки детайли и се използват малко на брой гнезда на пресформата, точността и надеждността при процеса на микро формоване далеч надхвърля конвенционалното формоване. Точността и надеждността означават детайли с по-високо качество и с незначителни проблеми;
- Много бързи цикли – по-малката продължителност на цикъла означава по-нисък разход. Цикълът обикновено продължават по-малко от 6 секунди, и често по 3 и 4 sec;
- Процес създаден за миниатюрни части – микроформовъчните машини имат малък капацитет (цилиндри от 3-6 g. и затягащи приспособления от 2-5 тона). Пластмасата има много краткотрайна топлинна обработка, и така по-малка вероятност да влоши качествата си в цилиндъра, което е дългогодишен проблем при конвенционалните формовъчни машини;
- Допустими са нестандартни форми на детайла – възможно е да бъдат направени много тънки стени с вградени вложки от друг материал. Нови приложения се появяват непрекъснато.

3.3. Използване на репликации чрез микро формообразуване – технологии за създаване на мастер инструмента

Според начина на изработване на микро форми е възможно използването на различни материали. На фиг. 7 е показана приложимостта на различните методи според материалите.

Някои от разгледаните технологии за получаване на микрорепликации са описани по-подробно в следващите части, с цел да се даде основа за техният анализ и да се обхване максимално съществуващото разнообразие от технологии.

Високата цена на рентгенолитографията е наложила да се търсят алтернативни методи за производството на метали с качествена структура или полимерни микровложки. Микровложките могат да бъдат произведени чрез редица методи като обработка на машина с ЦПУ, микрообработка чрез отлагане на силиций, прецизно електроерозийно обработване, DRIE (deep reactive ion etching – разновидност ецване), изрязване по слоеве и др. Използването на литографията при метално формоване е сравнена с други методи за производство в таблица 1.

Таблица 1 Сравнение на технологии за производство на микроформи

Параметър	Лазерна микрообработка	CNC фрезоване	Електроерозийна обработка	Рентгено-литография	Ецване
Качество на материала	< 10μm	14μm	< 100μm	100μm	10-25μm
Грапавост	100nm - 1μm	3-5μm	0.3- lμm	<20nm	2μm
Точност	3-5 μm	3-5μm	1-3μm	< lμm	<1μm
Максимална височина	300μm	Без ограничение	3-5mm	<10mm	300μm
Необходимост от маска	Не	Не	Не	Да	Да

Ясно е, че литографията за масово производство в микроелектрониката е на ниво нанотехнологии и ще се развива още в следващото десетилетие. Освен методите, които се използват или са в съревнование за масово производство на интегрални схеми, през миналото десетилетие са разработени и методи основаващи се на литографията. Не всички от тях обаче предлагат нанометрична разделителна способност която е необходима при производството на IC в идните години. Въпреки това те биха били от полза за създаването на някои МЕМС както и други структури и устроиства. Тези методи са кратко описани накратко по-долу.

Много разпространен и известен процес е т.нар. LIGA – изграден от три фази, включващ значително използване на литография, електролитно отлагане и щприцване – от чийто акроним идва и самото съкращение. Стъпките на процеса на LIGA са показани на фиг. 11.

Следващия литографичен метод е както наскоро открит така и най–неконвенционален в сравнение с комерсиалните способи. Наречен е литография чрез самоизграждане (LISC), при което има и разновидност, наречена литография чрез сглобяване (LISA). В двата случая шаблонната маска покрита с повърхностноактивно вещество е поставена в непосредствена близост до покритието на подложката, с тънък слой термопластичен полимер (фиг. 12).

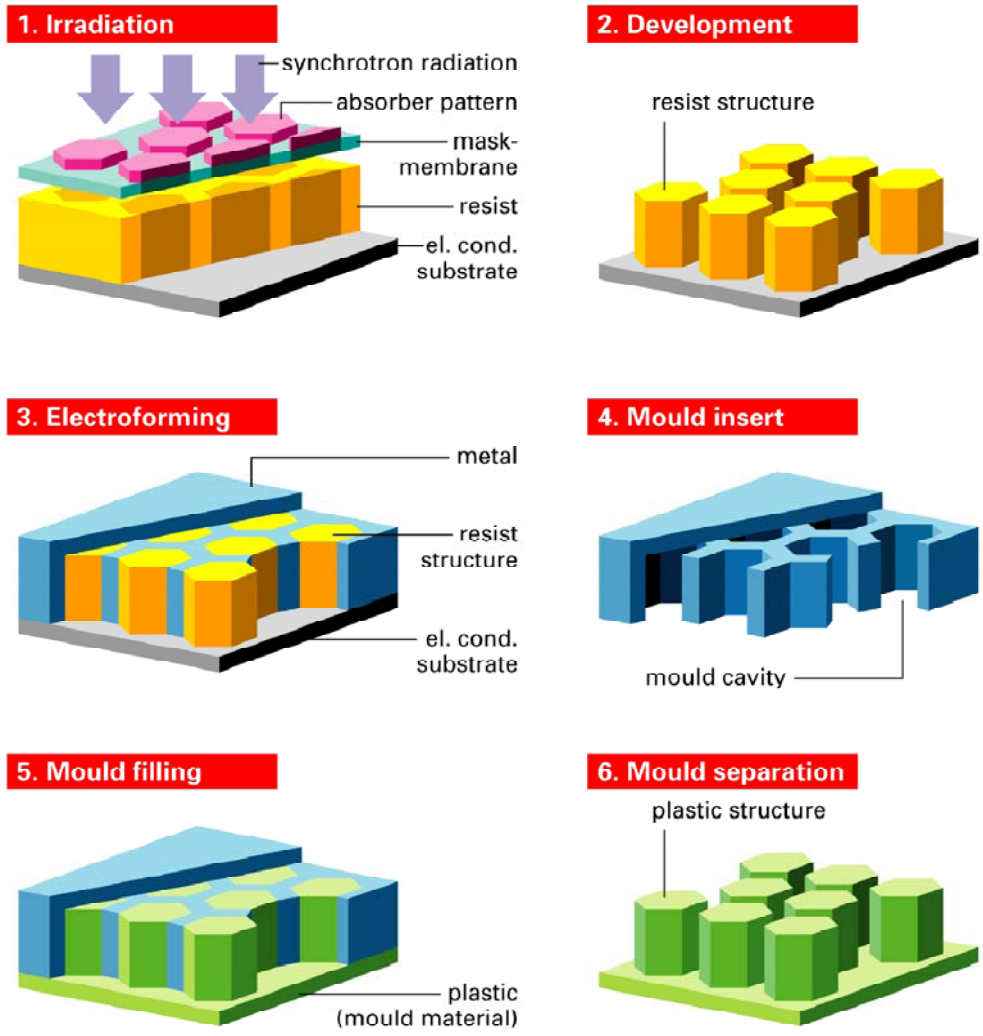
Полимерът може да е химично идентичен до фоточувствителен лак – например полиметил метакрилат (PMMA), но не фукционира като нормален фоточувствителен лак. Техниките LISC и

LISA са хибридно контактни. В LISC резултатния шаблон е обусловен единствено от използвания шаблон. При LISA произведения шаблон има габаритна форма, наложена от маската, но с възможност за откроряване на детайли от нея.

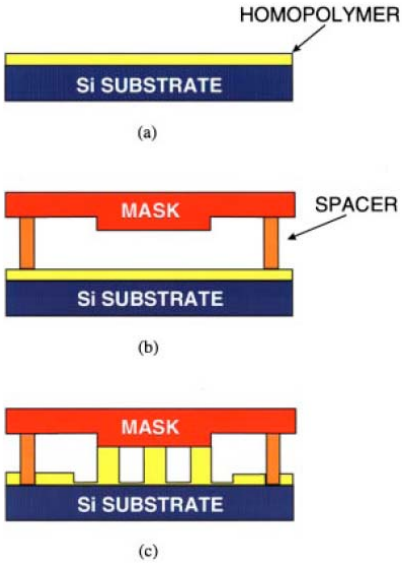
Щамповането (embossing) е една от старите технологии, която е развита до микрометрично ниво през последните години. Горещото щамповане се прилага производството на микроскопични и дори наноскопични отличителни черти и структури. Шаблони със структури с големина 10 микрометра широчина и дълбочина могат да бъдат щамповани в PMMA. Наскоро бе използвана модифицирана система за напластяване, за щамповането на структури с големина 400 нанометра през целия 10 сантиметров диаметър на пластината.

Вариант на щамповането, наречен наноотпечатваща литография (NIL), включва отпечатък на форма върху повърхнината на подложката, покрита с фоторезистивен лак. В този случай, шаблона/формата е прехвърлен върху повърхностният слой, най-често PMMA, механично, а не по химичен път. Следваща обработка на слоя, с цел отваряне на изтънените участъци към подложката, позволяват конвенционална употреба на отлагане или ецване на подложката. Щприцформите за NIL могат да бъдат подготвени посредством широк диапазон от наложени и развиващи се литографични процеси

Техника наречена стъпково-скоростна отпечатваща литография в основата си нанася релефен течен слой върху повърхността на подложката, който след това бива втвърден чрез употребата на фотохимични процеси. Тази техника избягва високите температури и налягания, необходими за щамповането. Пластинатата първоначално е покрита с обменен слой от твърд органичен материал. След това се поставя стъклен образец със желания шаблон близо до покрития пласт. Образеца може да бъде микрообработен чрез редица методи. Стъпково-скоростната отпечатваща литография произвежда 60 нанометрови конструктивни елементи.



Фиг. 11. Последователни стъпки при процеса LIGA (литография, отлагане и шприцване)



Фиг. 12. Последователни стъпки при процеса LISA: (a) – нанасяне на тънко покритие от PMMA (полимер) върху подложката; (b) – разполагане на маската на разстояние от подложката; (c) – микроформоване на PMMA покритието от пътечките на маската при контролиран цикъл загряване / охлаждане

Друга технология за репликации при микро-формообразуването ползва добре познатите гумените щампи. През последните години се използват удължени щампи за репликиране на шаблони с геометрия до микрометър чрез употребата на полидиментилсилоксан (PDMS) и други еластомери. Тази технология се нарича „мека литография" заради характера на щампата. Един от обикновените литографични методи се използва с цел да копира тънък филм върху силициев или някакъв друг субстракт за направата на форма. След като повърхността на формата се ецва, течното PDMS покритие се излива над шаблона и се полимеризира. След това еластомера се вади от формата и се поставя на подложка за последващи манипулации. Следваща стъпка е по нанасянето върху PDMS щампата на най-различни флуиди и суспенсии, което се прави непосредствено преди щамповането. Като цяло дебелината на шаблона е между 0.2 и 20 микрометра, като е ограничение се явява устойчивостта на PDMS структурата. Широчината и разстоянието между контактните площи са между 0.5 и 200 микрометра. Меката литография може да се приложи и при валцоване, ако PDMS щампата се прикрепи към цилиндър.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледаните технологии за производство на несилициеви МЕМС се явяват като отделен допълнителен раздел, увеличаващ възможностите и многообразието на този тип продукти. Направените анализи показват голямата свързаност на избираните конструктивни решения с използваната технология за производство, което често пъти е решаващ фактор при проектното развитие. Допълнително, технологиите на производство влияят и върху методите и подходите при проектиране на изделията. Тези разглеждания също така имат за цел да дадат някои насоки при избора на технолгия и според етапа от жизнеият цикъл на изделието – прототипиране или серийно/масово производство.

В заключение може да се отбележи че съществуващото многообразие от производствени технологии ще се развива и увеличава, в тясна връзка с растящото приложение и пазар за МЕМС.

БЛАГОДАРНОСТИ

Това изследване е осъществено във връзка и с помощта на Фонд „Научни изследвания" при МОМН, в изпълнение на проект „Иновационен център за върхови научни постижения, за развитие и трансфер на технологии", с насоченост в областта на микроелектромеханични системи (МЕМС) и рекуперирането на енергия, с договор № Д002-106/15.12.2008 г., както и на двустранният Българо-Китайски проект D002-11/05, Фонд „Научни изследвания", при МОМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Elwenspoek, M., H.V. Jansen. *"Silicon Micromachining"*.
2. Фатикови, С., У. Ремболд. *„Мокросистемни технологии и микроробoтика"*. Шпрингер, Берлин **1997**.
3. Mounier, E. *"Global MEMS market forecast 2007 – 2012"*. Yole Development, **2008**.
4. Carter, J., All. Cowen, B. Hardy, R. Mahadevan, M. Stonefield and St. Wilcenski. *"PolyMUMPs Design Handbook (Revision 11)"*, MEMSCAP Inc., **2005**.
5. Maluf, N., Williams K. *"An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering"*. Second edition, Artech House, **2004**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

проф. д-р Марин ХРИСТОВ
ТУ-София, бл.1, ет.3, каб. 1332
e-mail: mhristov@ecad.tu-sofia.bg

Доц. д-р Георги ТОДОРОВ
ТУ-София, бл.3, ет.5, каб. 3516
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

доц. д-р Николай НИКОЛОВ
ТУ-София, бл.4, ет.5, каб. 4536
e-mail: nickn@tu-sofia.bg

маг.инж. Владимир ГРОЗДАНОВ
ТУ-София, бл.1, ет.1, каб. 1113
e-mail: vladimirgrozdanov@gmail.com

маг.инж. Добромир ГАЙДАЖИЕВ
ТУ-София, бл.1, ет.1, каб. 1113
e-mail: dobri@ecad.tu-sofia.bg

маг. инж. Константин КАМБЕРОВ
ТУ-София, бл.3, ет.2, каб. 3221
e-mail: kkamberov@3clab.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

CAPABILITIES OF THE LASER TECHNOLOGY FOR MANUFACTURING AND SMOOTHING THE ROUGHNESS OF DIFFERENT MATERIALS IN ENGINEERING PRACTICE

Georgi TODOROV **Yavor SOFRONOV** **Nikolay NIKOLOV**
Stefan DIMOV **Todor DOBREV** **Petko PETKOV**

Abstract: *The paper is aimed to experimental study and analysis of the micro milling laser technology capabilities for manufacturing and follow surfaces roughness improvement by cleaning and smoothing. The study was worked out of the cases of different materials popular in engineering practice.*

Key Words: *Laser Technology, Laser Polishing.*

ВЪЗМОЖНОСТИ НА ЛАЗЕРНАТА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОБРАБОТВАНЕ И ПОНИЖАВАНЕ НА ГРАПАВОСТТА НА РАЗЛИЧНИ МАТЕРИАЛИ ОТ ИНЖЕНЕРНАТА ПРАКТИКА

Георги ТОДОРОВ **Явор СОФРОНОВ** **Николай НИКОЛОВ**
Стефан ДИМОВ **Тодор ДОБРЕВ** **Петко ПЕТКОВ**

Резюме: *С това изследване се цели да се покажат възможностите на лазерната технология за микро обработване с последващо почистване и понижаване на грапавостта на повърхнини на различни характерни материали от инженерната практика.*

Ключови думи: *микро лазерни технологии, лазерно полиране.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Лазерното микро фрезоване е нова и бързо развиваща се технология. Тя се базира на явлението лазерно изпаряване, където заготовката е изложена на съсредоточена импулсна лазерна радиация. Поради високата си енергийна плътност, попадащото лъчение загрява до висока температура микрообеми от материала на заготовката и те мигновено се изпаряват. Премахването с лазерния лъч на материал чрез сканиране върху повърхност от заготовката е много подобно на конвенционалното фрезоване.

Основна приложна област на лазерното фрезоване е изработването на микроинструменти, където нуждите от точни и относителни малки форми нарастват чрез увеличаването на изискванията за миниатюризация на продуктите и особено в създаване на структури от типа микро електромеханични системи.

Едно такова предизвикателство е грапавостта на микроструктурите (микроформите). Лазерното фрезоване на метални субстрати може да постигне от средна до висока грапавост на повърхнината, които обикновено изискват последващи обработки за направата на формите, подходящи за микроотпечатъци. Техниките за подобряване на лазерно фрезована повърхнина могат да бъдат групирани в две основни категории. Първата група включва техники за последваща обработка почистване, например ултразвуково почистване и деоксидация чрез байцване или електрохимично полиране. Техниките за машинно подобряване на повърхнината формират втората група. В настоящия доклад се изследват почистващите техники, принадлежащи на втората група. Лазерното почистване, също познато като лазерно полиране, е процес много подобен на лазерното фрезоване и обикновено може да се извършва със същите настройки на машината.

Лазерното полиране привлича вниманието на полупроводниковата индустрия, където се използва за премахването на микрочастици от повърхността на силициеви пластини [2-5]. Механизмът на премахване на частици от метален субстрат е разгледано от Hsu и Lin [2]. Като основен механизъм за премахване на частиците при лазерното почистване те се фокусират върху създаването на вълни по повърхността и предлагат модел, където в почистващия процес доминират вълните на термично напрежение. Curran и др. [3] прилагат лазерния лъч под ъгъл на отражение и отчитат подобряване на ефективността на почистващия процес.

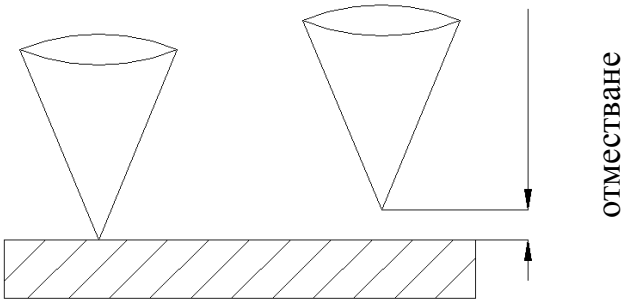
Лазерното почистване на остатъци е изследвано от Coupland и др. [4]. Те използват CO_2 лазер за почистване на остатъците около лазерно пробити отвори в гъвкава платка, базирана на полиамид. За съжаление, процесът отнема твърде дълго време в сравнение с пробиването на отворите.

Лазерното полиране на метални субстрати е разгледано от Shao и др. [6]. Изследваните материали са Fe, Al и Ti с размери на неравностите в субмикронната област. Изследван е механизмът на полиране на неравности с различна големина. Разтопяването и/или изпаряването е водещо при подобряване на грапавостта на повърхността чрез директно премахване и отрязване на техните върхове.

2. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТ

Лазерното почистване/полиране е вид лазерно изпаряване, извършващо се върху система за лазерно фрезоване, където вместо лазерния лъч да е фокусиран върху заготовката, той се отмества с цел да се намали влиянието му [2]. В резултат на това субстратът се загрява до температура близка до точката на разтопяване на частици на материала и по този начин се изравняват всякакви неравности по повърхността [2].

На фиг. 1 е показано настройката за нормална операция на лазерно фрезоване, където лазерният лъч е фокусиран върху горната повърхност на субстрата. По този начин може да бъде постигната максимална плътност на енергията, необходима за достигане до точката на кипене на материала. Всяко разсейване от точното фокусно разстояние обикновено дава като резултат намаляване на обема отнет материал от заготовката и от това следва промяна на характеристиките на процеса. В нормални условия това е нежелан ефект, който трябва да се избягва. Следователно, в машината е интегрирана оптична сензорна система, която да измерва разстоянието до повърхността на заготовката и ако е необходимо да променя изходната мощност на лазера, така че да се поддържа постоянно количество на отнетия материал.



Фиг. 1. фокусиране върху заготовката

За лазерно почистване системата трябва да работи в точно такова дефокусирано състояние (вж. фиг.1). В резултат на отместването лазерният лъч не достига плътността на енергия, необходима да предизвика отнемането на материал, но е достатъчна да разтопи най-горния слой на повърхността и всякакви неравности, останали от процеса на обработка.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ЧАСТ

За изследване на възможностите на процеса лазерно микро почистване/полиране са извършени серия от експерименти с цел да се установи неговото влияние върху резултантното качество на повърхността. В частност се изследва получената грапавост на равна повърхност от обработените форми. Финишрането на странични и наклонени повърхнини се влияе от други фактори, които са извън целта на настоящия доклад.

Използваният материал за това изследване е неръждаема стомана ST 304, характеризираща се с физически термични свойства, показани в табл.1. Този материал е избран, поради добрата си обработваемост. С цел да се избегне наследствеността от

топографията на първоначалната повърхност, пробата бе шлифована до $Ra_{изх}$ = 0,167 ± 0,035 μm и за да се намалят негативните ефекти върху грапавостта на крайната повърхност получени от интензивното окисляване при досега с въздух на нагрети микрообеми от метала, преди измерване заготовката се почиства в ултразвукова баня.

Променливата, която влияе върху качеството на процеса лазерно почистване, е отместването на фокуса спрямо най-горната повърхност на материала. В това експериментално изследване отместването на фокуса варира от -2 mm до 2 mm. За да се оцени подобряването на финишираната повърхност, са обработени джобове върху заготовката с нулево отместване на фокуса, което е нормална обработка на лазерно фрезоване. За да се намери оптимума на процеса за обработване на материала, се извършват серия от експерименти. На всеки 8 слоя се измерва дълбочината след обработка и се изчислява средната дебелина на слоя отнет материал. Чрез тази итеративна процедура е настроен процесът за лазерно фрезоване на слой с дебелина 1 μm. Настройките на процеса са представени в табл.2.

Експериментите са направени с лазерна машина DML Lasertec 40 с микросекунден Nd:YAG лазер.

Таблица 1 Характеристики на материал ST 304

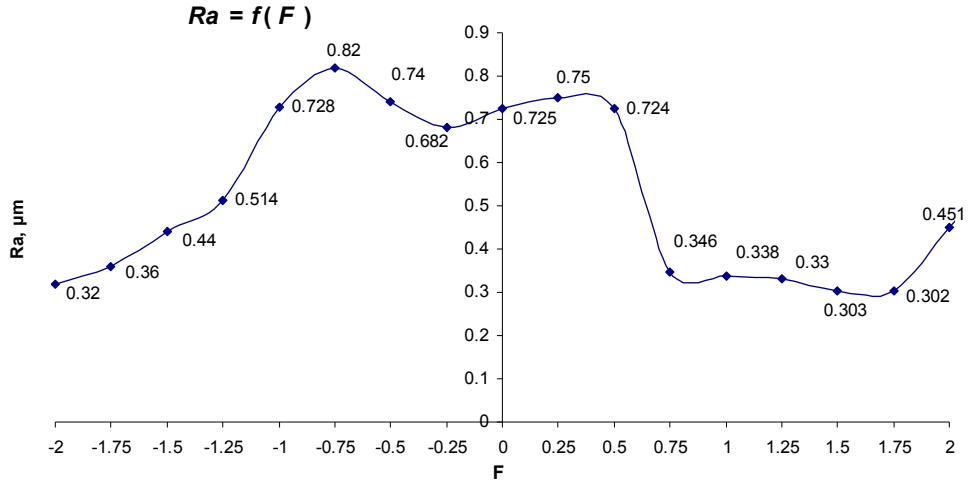
Свойства на материала	ST 304
Плътност при 21°C, [kg/m^3]	8238
Топлопроводност, [W/m.K]	13.4
Специфичен топлинен капацитет, [J/kg.K]	468
Точка на топене, [K]	1670
Точка на кипене, [K]	3173

Таблица 2 Режим за обработка на материал ST 304

Параметри	ST 304
Големина на тока на лазерния излъчвател, I [%]	21,5
Честота, f [kHz]	30
Скорост на сканиране, V [mm/s]	300
Продължителност на импулса, [μs]	10
Стъпка на щриховане, [μm]	8
Размер на джоба, [mm]	10x10

4. РЕЗУЛТАТИ

След измерване на грапавостта е построена графика отразяваща зависимостта от получената стойност спрямо изместването на фокусното разстояние показана на фиг. 2. Забелязва се, че за стомана ST304 графиката е относително симетрична спрямо нулата, която представлява процесът на самата обработка. Получените грапавости в средата на интервала са със стойности близки до тези на обработката, тъй като отместването е незначително и интензивността на лазерния лъч е достатъчна, за да бъде извършен процеса лазерно фрезоване и от повърхността реално продължават да бъдат отнемани слоеве с дебелина близка до 1μm. Оптимума на ефекта лазерно полиране за материал стомана ST304 се проява в интервала 2÷1,75mm над- и подфокусно разстояние, където се получава едновременно отрязване на върховете на грапавините и стопяване на части от тях, който се разливат в по-ниските участъци.



Фиг. 2. Връзка между отместване на фокуса и измерена грапавост

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия доклад е представена техника за микро почистване/полиране на предварително лазерно фрезована повърхнина. Техниката използва дефокусиран лазерен лъч, който сканира повърхността по същия начин както при обикновено лазерно фрезоване. Така концентрираната мощност върху обработената повърхност е драстично намалена. Като резултат лъчът не отнема материал от субстрата и мощността на лазера успява само да разтопи и изглади неравностите на повърхността. При всички случаи на лазерна обработка резултатът зависи от специфичното взаимодействие лазерен лъч-материал и затова ефектът на лазерно микро почистване/полиране варира в зависимост от различните материали.

Обработен с нулево отместване джоб бе използван като отправна точка за подобряване грапавостта на повърхнината. Избрани са настройки за материала чрез приложена итеративна процедура, нормално използвана за осигуряване на стабилен и равномерен процес на лазерно фрезоване.

Получените резултати представят поведението на процеса чрез промяна на фокуса на лазера.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията, отразени в настоящата статия, са финансирани по договор №Д00-106-5/12.2008 *„Иновационен център за върхови научни постижения, развитие и трансфер на технологии" с насоченост в областта на микро електромеханични системи (МЕМС) и рекуперране на енергия* между НИС при ТУ-София и ФОНД "НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ", МОМН на РБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dobrev, T. *Investigation of laser milling process characteristics for micro tooling applications*. PhD thesis, University of Wales, Cardiff, Dec **2005.**

2. Hsu, H.T. J. Lin. *Thermal-mechanical analysis of the surface waves in laser cleaning*. Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45, **2005**, pp.979-985.

3. Curran, C., K.G. Watkins, and J.M. Lee. *Effect of wavelength and incident angle in the laser removal of particles from silicon wafers.* 20th International Congress on applications of laser and electro-optics **ICALEO**, Jacksonville, Oct 2-5, **2001.**

4. Coupland K., P.R. Herman, and Bo Gu. *Laser cleaning of ablation debris from CO_2 – laser – etched vias in polyiamide. App. Surface Science, Vol.127-129, **1998**, pp.731-737.*

5. Shao T.M., M. Hua, H.Y. Tam, E.H.M. Cheung. *An approach to modeling of laser polishing of metals.* Surface and Coatings Tech., Vol. 197, Issue 1, **2005**, pp.77-84.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Георги ТОДОРОВ
кат. ТММ, МТФ, ТУ-София, бул. „Кл. Охридски" 8, 1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

маг. инж. Явор СОФРОНОВ
кат. ТММ, МТФ, ТУ-София, бул. „Кл. Охридски" 8, 1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: engineer@dir.bg

доц. д-р инж. мат. Николай НИКОЛОВ
кат. ТММ, МТФ, ТУ-София, бул. „Кл. Охридски" 8, 1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: nickn@tu-sofia.bg

проф. д-р Стефан ДИМОВ
MEC, Cardiff University, UK, Cardiff, Newport Road, CF24 3AA
e-mail: dimov@cf.ac.uk

д-р инж. Тодор ДОБРЕВ
MEC, Cardiff University, UK, Cardiff, Newport Road, CF24 3AA
e-mail: dobrevt@cf.ac.uk

маг. инж. Петко ПЕТКОВ
MEC, Cardiff University, UK, Cardiff, Newport Road, CF24 3AA
e-mail: petkovpv@cf.ac.uk

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria
65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

PROCESS PLAN ANALYSIS AND FREE PRODUCTION CAPACITY ESTIMATION

Ilario ASTINOV **Yordanka PETROVA**

Abstract: The paper presents the prototype of a conceptual model of a process plan. The aim the development is to create the fundamental background of a methodology for modeling and analysis of process plans, typical from small and medium enterprises with small and medium batches of production using discrete event simulation.

Key Words: *modeling, simulation, methodology, technology, analysis.*

АНАЛИЗ НА МАРШРУТНА ТЕХНОЛОГИЯ И ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РЕЗЕРВИТЕ ОТ ПРОИЗВОДСТВЕНИ МОЩНОСТИ

Иларио АСТИНОВ **Йорданка ПЕТРОВА**

Резюме: *Докладът представя прототип на концептуален модел на маршрутна технология от производствен процес. Целта на разработката бе да се създаде принципна основа за изграждането на методика за моделиране и анализ на маршрутни технологии в условията на малки и средни фирми с единично или средносерийно производство със средствата на дискретна симулация.*

Ключови думи: *моделиране, симулация, методика, технология, анализ.*

1. ДЕФИНИРАНЕ НА ПРОБЛЕМА

Поръчките, които малките и средни фирми получават, пристигат в различни итнервали от време, с различни обеми и срокове. Фирмите трябва да реализират тези поръчки, за да обезпечат своята нормална работа и приходи. Ефективното решаване на този проблем е свързано с текущото натоварване на производствените мощности на фирмата и прецизното извличане на технологичните им резерви.

Един подход в такива случаи е приложението на Enterprise Resource Planning (ERP) системи. Затрудненото им приложение в условията на малки фирми произтича от редица обстоятелства, свързани с цената на тези системи, изискванията за изчислителна мощност и квалификацията на крайните потребители.

Алтернативен подход е разработването на методика, със сравнително прост потребителски интерфейс, която да е реализирана в програмно осигуряване, изискващо не голям изчислителен ресурс. Средството за една такава методика е дискретната симулация [4, 5, 6]. Като първа стъпка при нейното разработване е изграждането на концепция за обобщен подход при моделиране на маршрутни технологии с цел анализ на състоянието и резервите на производствените мощности. Тази първа стъпка е и проблема, чието решение е представено в настоящия доклад.

2. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

2.1. Обобщени характеристики на подходящ обект за изследване

Обектът на изследването, предвид на спецификата на проблема, следва да е фирма, отговаряща на следните условия:

- малка или средна фирма;
- предметът на дейност на фирмата да е материално производство (т.е. не услуги или търговия);
- да има модерни, автоматизирани производствени мощности;
- параметрите на заявките (интервал на пристигане и обем) да имат стохастичен характер;

- обемът на производство да е единичен или дребносериен.

2.2. Данни за избрания обект на изследване

Избраният обект за изследване е подговителен цех във фирма Софкао ЕООД. Параметрите на фирмата са както следва:

- Софкао ЕООД е малка фирма
- предметът на дейност е производство на шоколадови изделия – бонбони, вафли и междинни продукти за сладкарската индустрия
- фирмата разполага с модерни, автоматизирани производствени мощности
- заявките имат сравнително стохастичен интервал на пристигане и обем
- обемът на производство е предимно дребносериен, като се реализира и единично производство, но това не е типичен случай.

3. МЕТОДИКА ЗА МОДЕЛИРАНЕ

3.1. Системен анализ на производствената мощност

Предвид на спецификата на дефинирания проблем, системният анализ [4, 5] бе насочен не към конкретните особености на производствената система, а към проверка и уточняване на обобщените параметри на подобни такива. Предварително дефинираните системни параметри бяха както следва:

- брой крайни изделия и техните маршрути
- брой производствени мощности
- за всяка единица производствена мощност:
  - номенклатура от възможни операции;
  - времетраене (единично време) за операция;
  - интервали за планови ремонти и времетраене на ремонт;
  - интервали на аварии и времетраене на ремонти.

За целите на настоящия етап от разработката в системния анализ бяха изключени последните два параметъра с цел опростяване на модела, като това изключване беше част от презумпциите към модела. В основата на по-нататъшната работа бяха използвани подходите, реализирани в [1, 2, 3]. В този контекст, резултатите от системния анализ, формулирани в прав текст бяха както следва:

3.1.1. Какво прави системата

Системата произвежда краен брой продукти, необходими за последващите операции в производството.

3.1.2. От какво се състои системата

Системата се състои от краен брой производствени мощности, наричани за краткост машини. В системата има краен брой оператори, обслужващи машините. В системата има входен склад за съхранение на нужните изходни материали, както и изходен склад за съхранение на готовата продукция. В системата има елементи на вътрешно-заводски транспорт.

3.1.3. Как работи системата

- В системата в началния момент се обработват определен брой продукти. Този брой продукти в общият случай е по-малък от максималния такъв.
- Всеки продукт преминава последователно през машините по реда на маршрутната си технология.
- В зависимост от състоянието на машините (работещо или неработещо), маршрута на продуктите може да се пренасочва към машина, способна да извърши поредната операция от маршрутната технология.
- В случаен момент от времето пристига заявка за обработване на нов продукт. Маршрутът на този продукт се вмества в свободния капацитет на системата на принципа на най-ранно възможното завършване на заявката.

Презумпции

- Машините в системата работят безотказно
- операторите са винаги редовни по отношение на работното си време и изпълняват точно своите задължения;

- всеки конкретен оператор е квалифициран да обслужва определен брой машини. Този брой за всеки оператор е минимум една и максимум всички машини в системата;
- складовите стопанства имат достатъчен капацитет и съдържание;
- всички заявки са с еднакъв приоритет, като принципа на ангажиране на машините по заявка е FIFO (Fisrt-In-First-Out);
- на този етап се приема, че елементите на вътрешно-заводският транспорт са достатъчни за обезпечаване на нуждите от такъв и по тази причина не се разглеждат.

Причината за дефиниране на горните презумпции е опростяване на начина на работа на системата, при нейното формализиране и моделиране в начален етап. При следващите етапи се предвижда ограничителните презумпции последователно да отпаднат. На базата на така направения системен анализ бе извършена и формализация на системата и нейните параметри. На първа итерация тази формализация има следният вид:

$$N_{\text{изд}},\ N_{\text{м}}, N_{\text{оп}} \qquad (1), (2), (3)$$

$$M = \begin{pmatrix} PR_{1,1} & PR_{1,2} & \cdots & PR_{1,i} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ PR_{N,1} & PR_{N,2} & \cdots & PR_{N,k} \end{pmatrix} \qquad (4)$$

$$TPR = \begin{pmatrix} T_{1,1} & T_{1,2} & \cdots & T_{1,i} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ T_{N,1} & T_{N,2} & \cdots & T_{N,k} \end{pmatrix} \qquad (5)$$

$$OPM = \begin{pmatrix} O_{1,1} & O_{1,2} & \cdots & O_{1,p} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ O_{N,1} & O_{N,2} & \cdots & O_{N,r} \end{pmatrix} \qquad (6)$$

$$OPR = \begin{pmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & \cdots & M_{1,p} \\ \vdots & & \ddots & \vdots \\ M_{N,1} & M_{N,2} & \cdots & M_{N,r} \end{pmatrix} \qquad (7)$$

където:

$N_{\text{изд}}$	брой крайни изделия
$N_{\text{м}}$	брой машини в системата
$N_{\text{оп}}$	брой оператори
M	матрица на маршрутните технологии
$PR_{i,j}$	j-тата поредна операция от маршрутната технология на i-тия продукт
TPR	матрица на единичните времена за операциите на всяка маршрутна технология
$T_{i,j}$	j-тото поредно единично време за операция от маршрутната технология на i-тия продукт
OPM	матрица на операциите, които всяка машина може да изпълни
$O_{p,q}$	q-тата операция, която r-тата машина може да осъществи
OPR	матрица на машините, които даден оператор е квалифициран да обслужи
$M_{p,q}$	q-тата машина, която r-тия оператор е квалифицаиран да обслужи

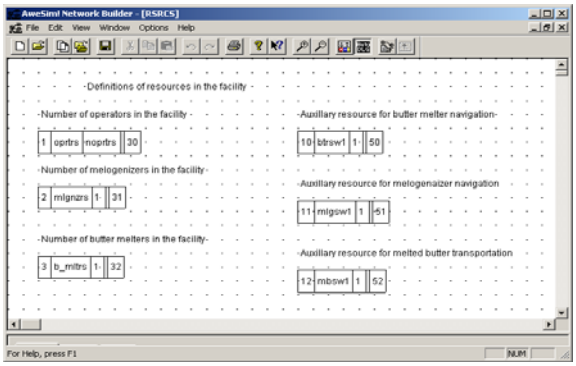
При съставяне на формализацията, основна предпоставка беше обезпечаване на гъвкавост за формализиране и моделиране на системи с произволна конфигурация, обезпечаващи обработването на произволен брой изделия.

3.2. Разработване на симулационен модел

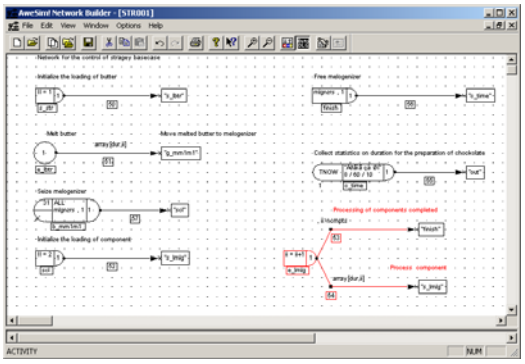
При избор на програмните средства за разработване на симулационния модел бяха взети следните решения [4, 6]:

- програмният продукт за симулационно моделиране е система AweSim! 3.01 [5, 6];
- програмният продукт, ползван за осъществяване на диалога потребител-програмна система е Excel – базов пакет от програмното осигуряване за делови нужди [5];
- AweSim! има вградени средства за обмен на информация с Excel [5], което позволява изграждане на диалог с термини и средства, познати на потенциалния краен потребител;
- и двата пакета работят на компютри с широко разпространени технически параметри.

Ползвайки формализацията, изведена при системния анализ бяха разработени мрежите на производствената система в средата на AweSim!. За пример, на фиг. 1 е показана мрежата, съответстваща на изрази (2) и (6) а на фиг. 2 – мрежата за изрази (4) и (5).

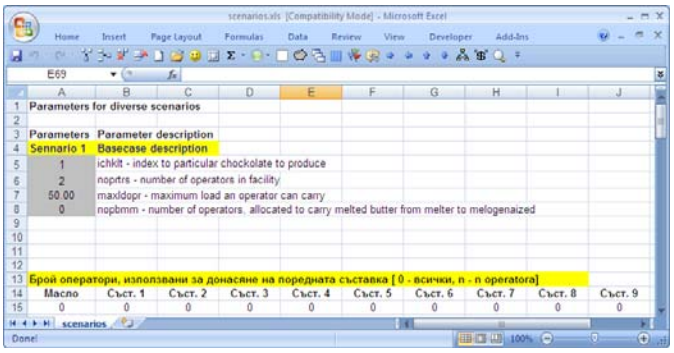


Фиг. 1. Мрежа на ресурсите



Фиг. 2. Мрежа на маршрутите

Описанието на сценариите за всяко едно решение за начина на работата на производствената система, както и нейното текущо състояние бе структурирано в параметризирани таблици в средата на Excel на съответния професионален жаргон, ползван в бранша. На фиг. 3 е даден пример за такова описание.

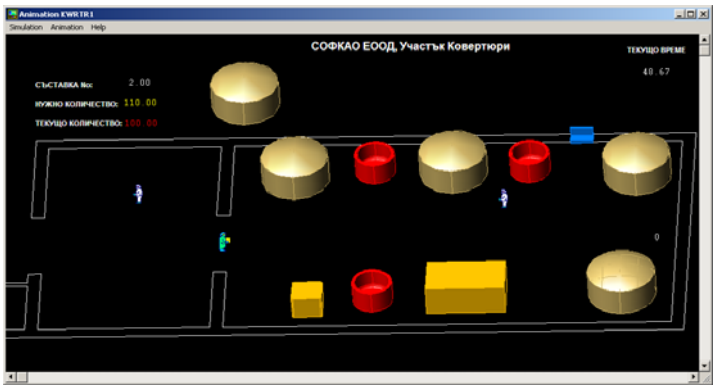


Фиг. 3. Параметри на системата

3.3. Верификация и валидация

За верификация на разработвания модел бяха приложени следните методи [4, 5, 6]:

- Структуриране на системата на подсистеми на базата принципа за проектиране отгоре - надолу (top-down design). Този подход позволява ефективно структуриране на модела, на отделни прости подсистеми.
- Детерминирано поведение, комбинирано с динамична трасировка (interactive debug), както за всяка подсистема, така и за модела като цяло. Този подход позволява прецизна верификация, базирана на прякото следене на начина на работа на модела.
- Опростена компютърна анимация на работата на модела. Този подход позволява бърза визуална локализация на евентуални неточности в модела. Фиг. 4 е кадър от опростената анимация на работата на модела като цяло.



Фиг. 4. Опростена анимация на системата

За валидация на разработвания модел, бяха приложени следните методи:

- Експертна оценка, комбинирана с опростена компютърна анимация на работата на системата. Този подход валидира модела директно на базата на експертна оценка, което като ниво на валидация е напълно достатъчно за настоящия етап на разработката.
- Сравнение на резултатите от модела с резултатите от реалната система. За сравнение бе ползван показателя производителност, предвид важността на този показател.

3.4. Експерименти

- Проведени бяха две основни групи експерименти. Първата група експерименти бе свързана с валидацията на работата на модела по показателя за производителност, както следва [6, 7]: изчислена бе средната производителност на модела и стандартното й отклонение за извадка с големина 30 елемента;
- с цел получаване на стойност за производителността, максимално близка до тази на популацията, броят на допълнителните проигравания на модела бяха изчислени на базата на израз (8)

$$n^* = \sqrt{\frac{z.S_{PR}}{a}} \tag{8}$$

където:

n^* брой допълнителни проигравания на модела;

a търсено отклонение от средната стойност на популацията за *PR;*

z z-число, взето от таблицата на нормализираното Гаусово разпределение за 99% ниво на достоверност.

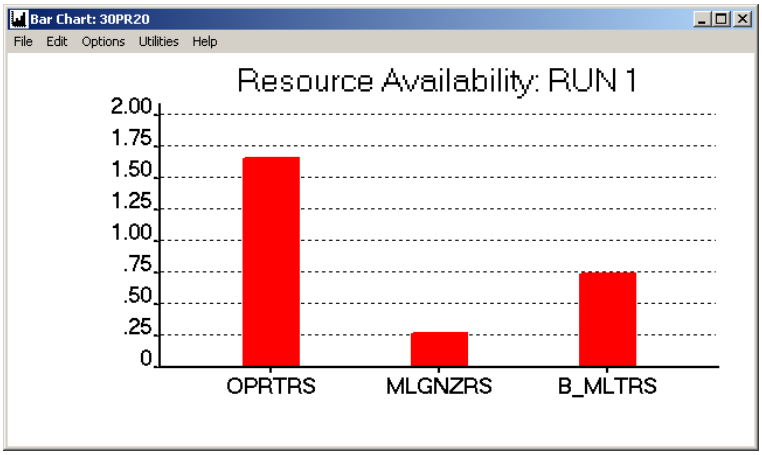
Втората, по-съществена група експерименти, насочена към тематиката на научната разработка в контекста на проблема включва следното [1, 2, 3]:

- до колко удачно е възприетото решение за реализация на формализацята на производствената система, на базата на изрази (1) – (7);
- до каква степен възприетата формализация позволява гъвкаво и лесно изменение на маршрута на изделията през системата;
- до каква степен възприетата формализация позволява гъвкаво и лесно изменение на ангажираността на операторите в системата по отношение на тяхната квалификация да обслужват повече от една машина.

4. РЕЗУЛТАТИ

Резултатите, по отношение на първата група експерименти показаха следното:

- получената от модела производителност бе оценена като адекватна в сравнение с тази на реалната система ;
- вградените в програмното осигуряване средства дават една отлична картина за визуализация на резервите от производствени мощности – инструмент от съществено значение за крайното приложение на настоящата разработка. На фиг. 5 е показана получената графика за цитираните резерви.



Фиг. 5. Графика на резерви от производствени мощности

Резултатите, по отношение на втората група експерименти показаха следното:

- възприетото решение за реализация на формализацията на производствената система, на базата на изрази (1) – (7) чрез таблица в Excel се осъществява цялостно;
- възприетата формализация позволява гъвкаво и лесно изменение на маршрута на изделията през системата, без да се налагат промени в мрежите на модела;
- същото е вярно и при изменение на ангажираността на операторите в системата по отношение на тяхната квалификация да обслужват повече от една машина.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на получените резултати могат да се направят и следните по-важни заключения:

- разработената формализация на производствената система е удачна като концепция за обобщен подход при маршрутни технологии с цел анализ на състоянието и резервите на производствените мощности;
- ползваният подход за валидация осигурява достатъчна точност за изчисляване на основния показател за производствената система – нейната производителност. В този смисъл подходът ще се използва като критерий в следващите етапи на настоящата разработка;
- избраните програмни средства напълно задоволяват нуждите и целите на настоящата разработка.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите изказват балгодарност на изпълнителния директор на фирма Софкао ЕООД – г-жа Христина Джундрекова за оказаното от нея съдействие и времето, което тя посвети като консултант и експерт в представената тук разработка.

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2010 в рамките на договор No. 102НИ170-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нгуен, Н. *Подобряване на производителността на индустрията за производство на транспоертна техника чрез изследване и прилагане на съвременни моделиращи технологии, базирани на дисскретна симулация.* Дисертация за получаване на ОНС «доктор», научен ръководител доц. д-р Ил. Астинов, ТУ-София, София, **2009**

2. Нгуен, Н., Астинов, И., Ковачев, К., Нгуен, Л. *Приложение на симулационното моделиране за нуждите на производствените процеси в заводите за коли, мотопеди и поддържащите ги поделения на територията на СР Виетнам*. Журнал на Виетнамското машиностроене, бр. 139,Ханой, **2009**

3. Нгуен, Н.,Астинов, И.,Ковачев, К.,Нгуен, Л. *Приложение на SLAM II и AWESIM в системи за сглобяване на фарове за мотопеди*. Научен журнал на технологичните университети във Виетнам, бр. 67, Ханой, **2008**, pp. 86-90, **ISSN** 0868-3980

4. Banks, J. *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. John Wiley & Sons, **1998**, **ISBN** 0-471-13403-1.

5. Pritsker, A.A., O'Reilly, J. *Simulation with Visual SLAM and AweSim.* John Wiley & Sons*,* **1999**

6. Law, A., Kelton, D. *Simulation Modeling and Analisys.* McGraw Hill*,* **2000, ISBN** 0-07-059292-6.

7. Bratley, P., Fox, B., Schrage, L. *A guide to Simulation*. Springer*,* **1987, ISBN** 978-0387964676.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Иларио АСТИНОВ
Лаборатория СМИ, каб. 10406, МТФ
ТУ-София, бул. Кл. Охридски No. 8
1000 София
e-mail: ila@tu-sofia.bg

доц. д-р инж. Йорданка ПЕТРОВА
катедра ТММИ, каб. 3512, МТФ
ТУ-София, бул. Кл. Охридски No. 8
1000 София
e-mail: jtp@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE



13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

SYSTEM ANALYSIS AND DEFINITION OF BASIC CROSSROAD CONFIGURATIONS

Ilario ASTINOV **Simeon STOYADINOV**

Abstract: *The paper presents the results of the analysis of urban crossroad varieties. The configurations of crossroads are presented by a common element-approach. The latter will be used as the basis for the subsequent development of the related simulation software. As a result of a conducted system analysis, system variables and parameters are defined for the subsequent simulation modeling.*

Key Words: *traffic, simulation, throughout put, traffic lights timing.*

СИСТЕМЕН АНАЛИЗ И ДЕФИНИРАНЕ НА ТИПОВИ КРЪСТОВИЩА

Иларио АСТИНОВ **Симеон СТОЯДИНОВ**

Резюме: *Докладът представя резултатите от анализа на различните конфигурации на кръстовища в населени места. Конфигурациите са дефинирани на базата на еднотипен елемент. Последният ще е в основата на разработка на софтуер за симулиране на работата на кръстовища. Проведен е системен анализ и са дефинирани системните параметри и променливи за последващо симулационно моделиране.*

Ключови думи: *симулация, пропусквателна способност, циклограми, светофари.*

1. ДЕФИНИРАНЕ НА ПРОБЛЕМА

Изходна точка за научно-изледователския проект на тема „Разработка на интердисциплинарна, алтернативна методика за анализ и подобряване на пропусквателната способност на светофарно регулирани кръстовища в населени места" е дефиниране на типови светофарно-регулирани кръстовища в населени места (наричани по-нататък кръстовища) и провеждане на системен анализ, с цел последващо симулационно моделиране.

Кръстовищата от една страна имат своя специфика, но от друга – общи белези, влияещи пряко на тяхната пропусквателна способност. Извличането на тези именно общи белези, на базата на които да се дефинира множество от типови кръстовища е първата стъпка в разработката на методиката, обект на цитирания проект.

2. СИСТЕМЕН АНАЛИЗ

Предвид спецификата на дефинирания проблем, системният анализ [6, 7] бе насочен не към особеностите на конкретно кръстовище (както по принцип се подхожда), а по-скоро в насока към дефиниране на едно достатъчно пълно описание на абстрактно кръстовище, отразяващо всички необходими за целите на настоящия проект характеристики и особености. Такова кръстовище, в рамките на разработката ще бъде наричано за яснота „обобщено кръстовище". В доклада по-долу се представят резултатите от системния анализ на обобщено кръстовище в контекста на дискретната симулация. В този смисъл то (обобщеното кръстовище) се разглежда като система.

2.1. Какво прави системата

Регулира преминаването и обезпечава максимална безопасност на потоците от участници в движението, при тяхното преминаване през кръстовището, посредством светлинни сигнали.

2.2. От какво се състои системата

2.2.1. Преглед на кръстовища и техните специфични белези

С помощта на GoogleEarth бяха извлечени спътникови снимки на гъсто населени градове – столици и/или големи градове. Този източник на изходна информация дава една точна представа за разнообразието от кръстовища у нас и в чужбина. Разгледани бяха сателитните снимки на всички Европейски столици. Фиг. 1 показва три от тях – София, Москва и Брюксел. В резултат на този преглед бе установено следното:

- на пръв поглед преобладава впечатлението, че кръстовищата имат немалко специфични белези, които биха затруднили изграждането на тяхното еднотипно представяне;
- при по-внимателен анализ се установи, че разнообразието се обуславя основно от геометричните особености на пътищата, вливащи се в кръстовищата;
- по-нататъшният анализ бе насочен към търсене на общи белези и/или елементи на кръстовищата, пряко свързани с тяхната пропусквателна способност – естеството на разработваната проблематика в проекта.



Фиг. 1. Кръстовища в централните части на София, Москва и Брюксел

2.2.2. Общи белези и елементи на кръстовищата

Абстрахирайки се от геометричната форма на направленията, вливащи се в кръстовището, вземайки пред вид [1, 2, 3, 4, 5], бяха дефинирани следните общи белези и елементи, имащи пряко отношение към пропусквателната способност:

- брой направления, вливащи се в кръстовището;
- за всяко направление – брой ленти в двете посоки на движение;
- вид на светофарната секция над всяка лента за движение;
- наличие на пешеходни пътеки на всеки един от пътищата.

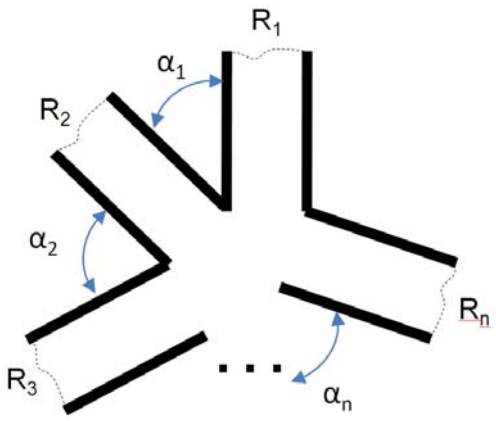
Така дефинирани, общите белези създават удобни предпоставки за извеждане на абстрактно описание на обобщено кръстовище, удобно за целите на симулационното моделиране [6, 7].

2.2.3. Абстрактно описание на обобщеното кръстовище - първо ниво

Стъпвайки на първия общ белег на кръстовищата – броят направления, вливащи се в кръстовището, следва логичния извод, че всяко кръстовище може да се представи като:

- набор от вливащи се направления;
- геометрично разположение на направленията едно спрямо друго. Това разположение, на първа итерация се представя с ъгъла между отделните направления.

Казаното до тук е илюстрирано на фиг. 2.



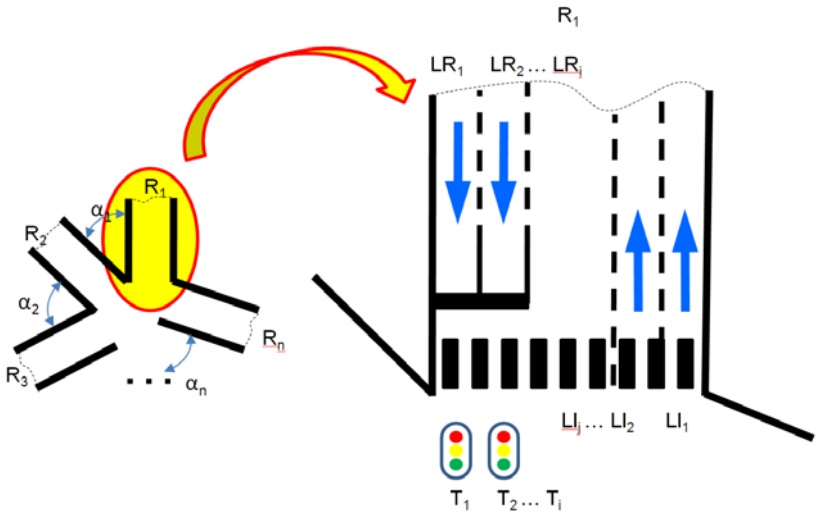
Фиг. 2. Обобщено кръстовище – първо ниво

2.2.4. Абстрактно описание на обобщеното кръстовище - второ ниво

Преминавайки на едно по-подробно, второ ниво на обобщаване, следва да се включат белезите на направлението, вливащо се в кръстовището. Особеностите за изброените вече такива в предишния раздел са:

- броя на лентите в едната посока може да е равен или различен от броя на лентите в другата посока;
- при някои кръстовища посоката на движение на лентата се сменя динамично със специална светлинна сигнализация. Това е практика в случаите, когато потокът от автомобили се сменя рязко в часовете пик, в едната или другата посока;
- светофарни секции може да има или за всяка лента поотделно, или за няколко ленти едновременно;
- отделни светофарни секции може да има както за пешеходци, така и за превозни средства от обществения транспорт – главно трамваи;
- наличието на пешеходна пътека, на един от пътищата не означава, че ще има пешеходни пътеки на всички пътища (т.е. някъде може и да няма, защото има подлез например).

Казаното до тук е илюстрирано на фиг. 3.



Фиг. 3. Обобщено кръстовище – второ ниво

2.2.5. Формализирано описание на обобщено кръстовище

С цел по-нататъшен анализ и моделиране, бе пристъпено към формализиране на описанието на така дефинираното обобщено кръстовище. На базата на проведения анализ, съставеното абстрактно описание е както следва:

$$N_R \tag{1}$$

$$A = (\alpha_1 \quad \alpha_2 \quad \cdots \quad \alpha_{N_R}) \tag{2}$$

$$L = \begin{pmatrix} LR_{1,1} & LI_{1,2} \\ \vdots & \vdots \\ LR_{N_R,1} & LI_{N_R,2} \end{pmatrix} \tag{3}$$

$$NTL \tag{4}$$

$$TL = (T_1 \quad T_2 \quad \cdots \quad T_{NTL}) \tag{5}$$

$$TTL = (TLL_1 \quad TLL_2 \quad \cdots \quad TLL_{N_R}) \tag{6}$$

където:

N_R	брой направления, вливащи се в кръстовището
A	матрица на ъглите между направленията
L	матрица на лентите във всяко направление
$LR_{i,j}, LI_{i,j}$	брой ленти в посока от пътя и брой ленти в посока от кръстовището
NTL	брой светофарни секции
TL	матрица на циклограмите за всяка секция
TLL	матрица на връзките между лента за движение и светофарна секция

2.3. Как работи системата

- превозните средства пристигат на кръстовището по някои от направленията в случайни интервали от време;
- при навлизане в участъка от направлението, близък до кръстовището, те вече са заели нужната им лента;
- нареждат се на опашка в лентата и в зависимост от сигнала на светофарната секция или изчакват зелен сигнал, или спират до явяването на такъв;
- светофарните секции се управляват на базата на предварително дефинирана циклограма за превключване на светлинните сигнали.

Така дефинираният начин на работа на системата е общ и ще е обект на последващо прецизиране.

Презумпции

- превозните средства не сменят лентите си при наближаване на кръстовища;
- приема се, че се спазва изцяло правилника за движение;
- приема се, че не възникват аварии или катастрофи;
- приема се, че се моделира определен часови пояс от деня, а не целия ден;
- приема се, че светофарните секции работят безотказно.

Така дефинираните презумпции са общи и са обект на последващо прецизиране.

3. ДЕФНИРАНЕ НА ТИПОВИ КРЪСТОВИЩА

3.1. Извеждане на конфигурации за типови кръстовища

Ползвайки формализираното описание на обобщеното кръстовище бе дефинирано и условието за съществуване на кръстовище, а именно:

$$2 \leq N_R \leq n, n \ \rightarrow \text{цяло число} \tag{7}$$

Ползвайки израз (7) и анализираните сателитни снимки на Европейските столици бяха изведени следните условия за типови, често срещани кръстовища:

$$2 \leq N_R \leq 4 \tag{8}$$

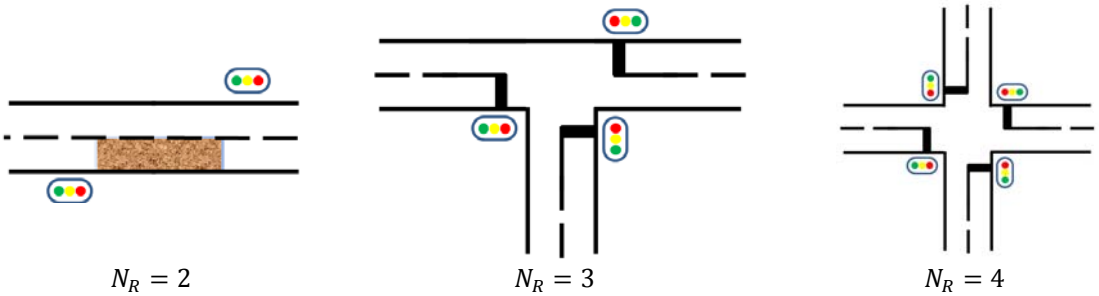
$$\forall \alpha_i = 90^{\text{o}} \tag{9}$$

$$\forall LR_{i,j} = 1, \forall LI_{i,j} = 1 \tag{10}$$

$$NTL = N_R \tag{11}$$

Тълкуването на изрази (8) – (10) е както следва:

- израз (8) определя типовото кръстовище, като кръстовище, в което се вливат минимум 2 и максимум 4 направления. Това на практика са най-често срещаните кръстовища;
- израз (9) постулира, че направленията в кръстовището са взаимно перпендикулярни. Реално това не е винаги така, но е също един типичен случай на геометричната конфигурация на кръстовища в градски условия;
- израз (10) фиксира броя на лентите в направленията, по една за всяко. Тази дефиниция опростява значително конфигурацията на кръстовищата, което на този етап е съществено изискване за последваща ефективна разработка на програмното осигуряване. Независимо, че такава конфигурация не е често срещана, приемайки я като параметър на модела, се гарантира неговото облекчено надграждане с повече от една лента във всяко направление;



Фиг. 4. Конфигурации на типови кръстовища

• израз (10) указва, че за всяка лента има отделна светофарна секция. Този случай е често срещан, дори и когато броя на светофарните секции не е равен на броя на лентите. В практиката една светофарна секция много често регулира движението в няколко паралелни ленти на кръстовището.

Въпреки някои опростявания, така подбраните стойности на формалното описание на обобщено кръстовище водят до дефиниране на типични, често срещани конфигурации на кръстовища. Този факт дава основание така дефинираните конфигурации да се приемат за типови конфигурации на кръстовища в населени места. Те имат вида, показан на фиг. 4.

4. РЕЗУЛТАТИ

Основните резултати, представени в настоящия доклад и свързани с плана на работите по цитираният в началото проект са:

• проведен системен анализ на видовете кръстовища в гъсто-населени градове в Европа;
• дефинирано формално описание и графичен модел на обобщено кръстовище;
• изведено формално описание и графични модели на типови кръстовища на базата на дефинираното формално описание на типово кръстовище.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базата на получените резултати могат да се наравят и следните по-важни заключения:

• проведеният системен анализ доведе до дефинирането на концепция за обобщено кръстовище, описваща достатъчно пълно и точно спецификата на произволно кръстовище;
• разработените формализация и графичен модел на обобщено кръстовище са удачни като концепция за обобщен подход, за целите на последващо симулационно моделиране;
• изведените и дефинирани формални и графични модели на типови кръстовища, макар и с известни опростявания, са коректна основа за начало на разработката на програмното осигуряване за симулационно моделиране.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2010 в рамките на договор No. 102НИ172-5.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нгуен, Н., *Подобряване на производителността на индустрията за производство на транспоертна техника чрез изследване и прилагане на съвременни моделиращи технологии, базирани на дисскретна симулация*. **Дисертация за получаване на ОНС «доктор»**, научен ръководител доц. д-р Ил. Астинов, ТУ-София, София, **2009.**
2. Нгуен, Н., И. Астинов, К. Ковачев, Л. Нгуен. *Приложение на симулационното моделиране за нуждите на производствените процеси в заводите за коли, мотопеди и поддържащите ги поделения на територията на СР Виетнам.* Журнал на Виетнамското машиностроене,бр. 139, Ханой, **2009.**
3. Нгуен, Н., И. Астинов, К. Ковачев, Л. Нгуен. *Приложение на SLAM II и AWESIM в системи за сглобяване на фарове за мотопеди.* Научен журнал на технологичните университети във Виетнам,бр. 67, Ханой, **2008.**
4. Mayer Kurtz. *Handbook Of Transportation Engineering*. McGraw-Hill**, 2004**, **ISBN** 0-07-139122-3.
5. Маджарски, Е., Г. Младенов, Д. Салиев, Д. Драганов. *"Изследване и анализ на транспортните потоци на сложно кръгово кръстовище"*. **Trans&MOTAUTO'09 -** сб. докл. Сл. бряг,**09-2009**
6. Banks, J., *Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice*. John Wiley & Sons, **1998**, **ISBN** 0-471-13403-1
7. Law, A., D. Kelton. *Simulation Modeling and Analisys*. McGraw Hill, **2000, ISBN** 0-07-059292-6.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Иларио АСТИНОВ
Лаборатория СМИ, каб. 10406, МТФ, ТУ-София
бул, Кл. Охридки No. 8, 100 София
e-mail: ila@tu-sofia.bg

доц. д-р инж. Симеон СТОЯДИНОВ
кат. Железопътна Техника, ФТ, ТУ-София
бул, Кл. Охридки No. 8, 100 София
e-mail: simeons@tu-sofia.bg

НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛИ

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

INVESTIGATION OF THE EFFECT FROM AlSi7Mg ALLOY MODIFICATION WITH NANOPOWDERS BY THERMAL AND METALLOGRAPHIC ANALYSES

Sergei STANEV Rumiana LAZAROVA Slaveika KONSTANTINOVA Valentin MANOLOV

Abstract: *Results from thermal and metallographic analyses of AlSi7Mg alloy before and after modifying with two kinds of nanopowders – nanodiamond and TiN are presented. The changes of thermal effects during primary and eutectic crystallization are evidence that modifying effect takes place. The metallographic analyses show that this leads to altering of the shape and refinement of the α-grains as well as of silicon and intermetal crystals, to decreasing of DAS and to increasing of the microhardness.*

Key Words: *nanomodified AlSi7Mg alloy, thermal analyses, structure.*

ИЗСЛЕДВАНЕ ЕФЕКТА ОТ МОДИФИЦИРАНЕ НА СПЛАВ AlSi7Mg С НАНОПРАХОВЕ ЧРЕЗ ТЕРМИЧЕН И МЕТАЛОГРАФСКИ АНАЛИЗИ

Сергей СТАНЕВ Румяна ЛАЗАРОВА Славейка КОНСТАНТИНОВА Валентин МАНОЛОВ

Резюме: *Представени са резултати от термичен и металографски анализи на сплав AlSi7Mg преди и след модифициране с два вида нанопрахове - нанодиамант и TiN. Измененията на термичните ефекти при първична и евтектична кристализация свидетелстват за наличие на модифициращ ефект. Металографският анализ показва, че това води до промяна на формата и издребняване на α-зърната, както и на силициевите и интерметални кристали, намаляване на DAS и нарарастване на микротвърдостта.*

Ключови думи: *наномодифицирана AlSi7Mg сплав, термичен анализ, структура*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В последно време за повишаване качеството на летия материал в Института по металознание „ Акад. А. Балевски” при БАН се провеждат изследвания [1, 2] по прилагане на специално обработени с плакиращи метали наномодификатори (НМ). Това са нанопрахове с размер на частиците 4-100 nm от труднотопими съединения (нитриди, карбиди, бориди и др.), получавани чрез плазмохимически синтез [3] и от нанодиаманти, получавани чрез взривна технология [4]. Въведени в стопилката, те хомогенно се разпределят в обема на метала и служат като хетерогенни зародиши за образуване на кристалната фаза.

В работата чрез термичен и металографски анализи е изследван модифициращият ефект при внасяне в стопилка от сплав AlSi7Mg на два вида нанопрахове - нанодиамант с покритие от Ag и TiN с покритие от Al.

2. МЕТОДИКА НА ПРОВЕЖДАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТИТЕ

Прилагана е обработка на сплав AlSi7Mg с два вида НМ:

- ND+Ag - нанопрах от нанодиамант (ND), плакиран с Ag; концентрация на ND - 0.1 тегл. %;
- TiN+Al - нанопрах от TiN, плакиран с Al; концентрация на TiN - 0.03, 0.15 и 0.3 тегл. %.

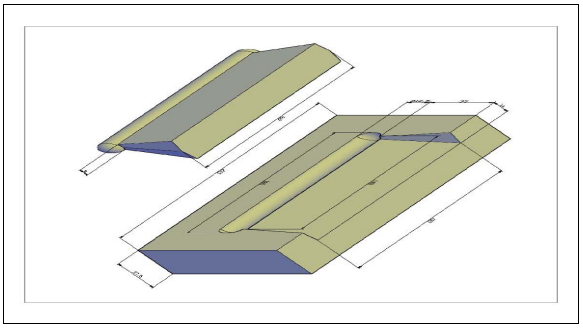
Сплавта е стопявана в електросъпротивителна пещ с вместимост на тигела 0.500 kg за алуминий. Химическият състав на плавките, определян чрез спектрален анализ, варира в границите: Si - 7.00-7.20 %, Mg - 0.3-0.4 %, Ti –0.02 %, Fe - 0.3-0.4 %. Извършвано е дегазиране чрез продухване с аргон 5 min. НМ, завити в алуминиево фолио и капсуловани в алуминиев патрон, са внасяни в стопилката при температура 720°C с помощта на титанова бъркалка и механично разбъркване в продължение на 3-5 min. Преди и след модифициране порции от

стопилката са заливани в тигли с вместимост 60 g на използвания апарат за термоанализ (фиг. 1) и в метална форма за получаване на опитни отливки с тегло ~ 250 g при температура на метала 720°C и на формата - 200°C (фиг. 2).

Термичният анализ е провеждан със специализиран апарат “Thermatest” на фирма Пешине (фиг. 1), като за всяка сплав е разработена индивидуална програма [5]. Уредът дава дигитална разпечатка на температурите през различните стадии на кристализация, стойностите и продължителността на преохлаждане. Паралелно са правени и компютърни записи на кривите на кристализация, като сигналът от термодвойката (тип К) на уреда постъпва чрез дигитален термометър TMD90, RS232 и софтуерен пакет TM-SW на фирма “Meterman” в PC.



Фиг. 1. Апарат “Thermatest” на фирма Пешине



Фиг. 2. Схема на метална форма и опитна отливка

В случай на подевтектични Al-Si сплави, каквато е AlSi7Mg, големината на зърната зависи от степента на преохлаждане и неговата продължителност по време на образуване на първичните кристали. “Thermatest” дава следните стойности за ликвидуса (фиг. 3):

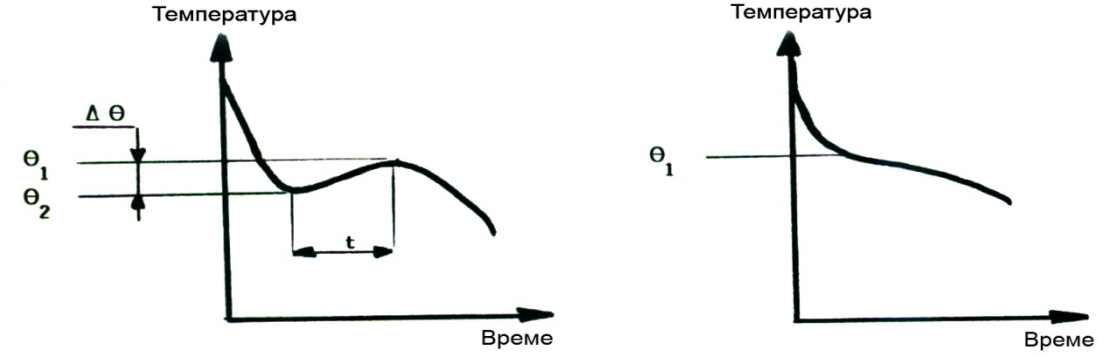
θ_1 - температура, при която започва кристализацията, ^{o}C;

θ_2 - достигната в края на преохлаждането максимална температура, ^{o}C;

$\Delta\theta$ - преохлаждане, ^{o}C;

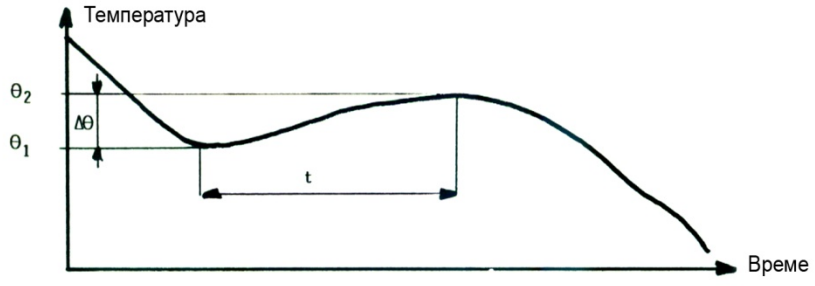
t – продължителност на преохлаждане при първична кристализация, s.

При силно и продължително преохлаждане (фиг. 3 - а) зърната са много едри. За фини *α*-зърна свидетелстват нулеви или много ниски стойности на $\Delta\theta$ и t (фиг. 3 - б).



а) ***б)***

Фиг. 3. Стойности за ликвидуса при термичен анализ с “Thermatest”



Фиг. 4. Стойности за евтектиката при термичен анализ с “Thermatest”

При евтектична кристализация (фиг. 4) се контролират:

θ_1 - температура, при която започва евтектичната кристализцията, ^{o}C;

θ_2 - максималната евтектична температура, ^{o}C;

$\Delta\theta$ - преохлаждане, ^{o}C;

t - продължителност на преохлаждане, s.

Структурата на евтектиката (*α + Si*) за сплав с определен състав зависи от температурата на евтектичното превръщане (θ_1). Колкото тя е по-висока, толкова по-едрозърнеста е евтектиката. Когато няма преохлаждане, структурата е изцяло с иглообразна форма. С увеличаване степента ($\Delta\theta$) и продължителността (t) на преохлаждане, например при модифициране, формата на евтектиката се изменя от скелетообразна до фино ламелообразна.

Металографският анализ е извършван с микроскопи Reichert MeF2 и PolyvarMet при увеличение до 1000х върху образци, изрязвани от цилиндричната част на отливките (фиг. 2). Количествена металография е провеждана с помощта на автоматична система Olympus MicroImage. Определяни са средният диаметър на зърната и DAS. Микротвърдостта HV е измервана с апарат MicroDuromat 4000 при натоварване 10 g за 10 s.

3. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

Резултатите от термичен анализ с апарат "Thermatest" са представени в табл. 1. Изменението на термичните ефекти в сравнение с тези на изходната сплав (1) - намаляване на $\Delta\theta$ и t при първична кристализация и увеличаването им при евтектична свидетелстват за наличие на модифициращ ефект от добавката на НМ с издребняване както на *α*-зърната, така и на евтектиката. По-благоприятни са измененията при модифициране с 0.1 и 0.15% TiN+Al (сплави 4 и 5). Споменатите термични ефекти ясно са регистрирани и при записа на време-температурните криви на кристализация (фиг. 5). Наблюдава се също така тенденция за понижаване на температурата θ_1 на начало на първична и евтектична кристализация, най-силно изразена (спадане с 8-10 ^oC) в случай на добавка 0.1% ND+Ag (табл.1). Подобни изменения с преместване на ликвидуса и евтектичната точка надолу спрямо равновесните са характерни за модифициране на Al-Si сплави с класически модификатор натрий [6].

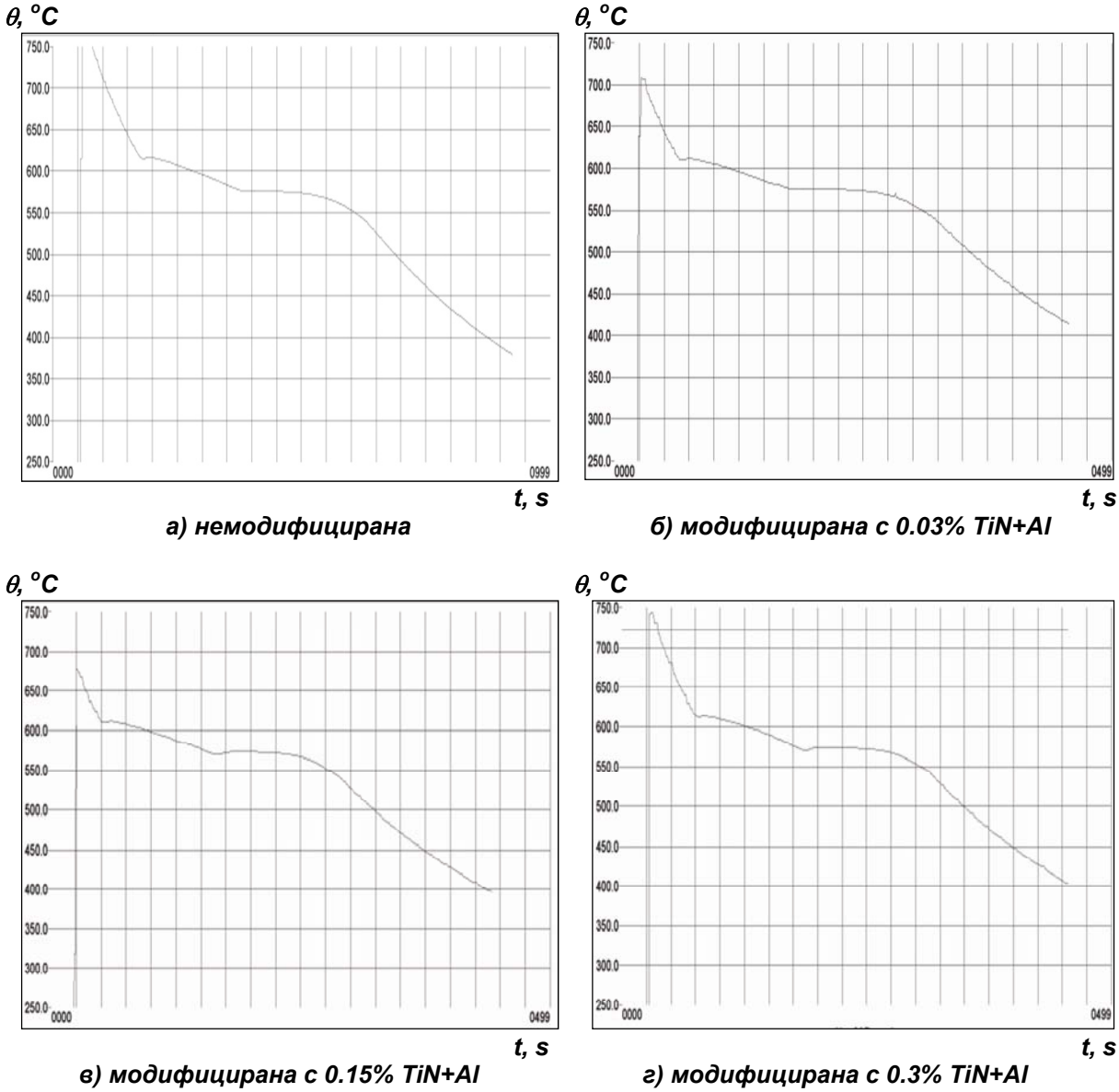
Таблица 1. Резултати от термичен анализ с апарат "Thermatest"

Сплав AlSi7Mg №	Вид и концентрация на модификатора	Първична кристализация				Евтектична кристализация			
		θ_1 [^oC]	θ_2 [^oC]	$\Delta\theta$ [^oC]	t [s]	θ_1 [^oC]	θ_2 [^oC]	$\Delta\theta$ [^oC]	t [s]
1	Немодифицирана	619.1	616.8	2.3	12	578.0	578.0	0	0
2	ND+Ag – 0.1 %	608.3	606.7	1.6	11	570.8	571.9	1.1	17
3	TiN+Al – 0.03 %	616.5	614.4	2.1	7	577.7	578.5	0.8	19
4	TiN+Al – 0.15 %	616.0	614.6	1.4	7	574.1	577.6	3.5	32
5	TiN+Al – 0.3 %	617.8	616.5	1.3	7	574.6	578.2	3.6	24

Наблюдаваните при термичния анализ ефекти от въздействие на НМ върху процеса на кристализация кореспондират с резултатите от металографския анализ на отлетите образци, представени по-долу в табл. 2 и на фиг. 6 и 7. Добавките и на двата вида нанопрахове води до промяна на формата на *α*-зърната от дендритна в клетъчна, като обемната част на сферичните *α*-зърна в модифицирани отливки нараства почти два пъти (фиг. 6). Средният диаметър на клетката намалява с 26-27 %, стойностите на DAS – с до 13 %, а микротвърдостта нараства с до 14-15 % (табл. 2). От визуалното изследване на микроструктурата се установява и издребняване на силициевите и интерметални кристали, в това число Fe-съдържащите (фиг. 7*).*

Таблица 2. Микроструктурни параметри на немодифицирана и модифицирани с ND+Ag и TiN+Al сплав AlSi7Mg

Сплав AlSi7Mg №	Вид и концентрация на модификатора	Среден диаметър на клетката, [μm]	DAS [μm]	HV [kg/mm^2]
1	Немодифицирана	17.93	13.74	58.2
2	ND+Ag – 0.1 %	13.15	12.84	67.1
	Изменение в %	- 26.7	- 6.6	15.3
3	TiN+Al – 0.03 %	13.15	12.03	62.8
	Изменение в %	- 26.7	- 12.4	7.9
4	TiN+Al – 0.15 %	13.20	12.78	62.4
	Изменение в %	- 26.4	- 7.0	7.2
5	TiN+Al – 0.3 %	13.20	11.95	66.5
	Изменение в %	- 26.4	- 13.0	14.3



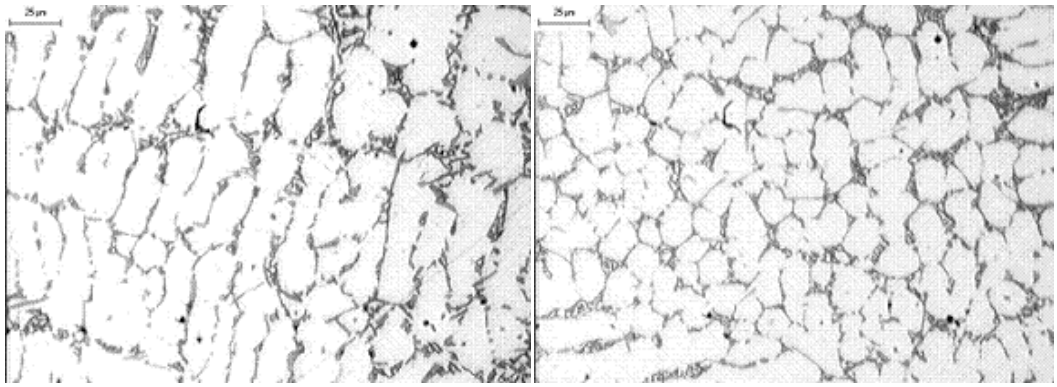
а) немодифицирана *б) модифицирана с 0.03% TiN+Al*

в) модифицирана с 0.15% TiN+Al *г) модифицирана с 0.3% TiN+Al*

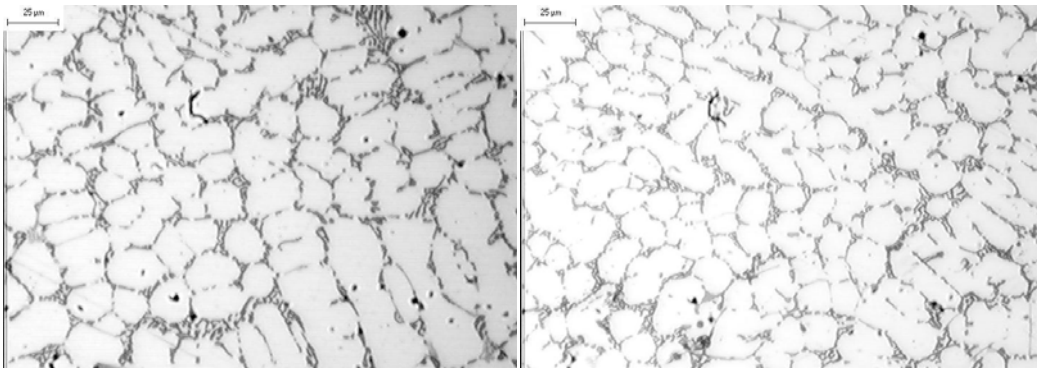
Фиг. 5. Време-температурни криви на кристализация на немодифицирана (а) и модифицирана с TiN+Al (б, в, г) сплав AlSi7Mg

Очевидно споменатите структурни промени се дължат на добавката на НМ в стопилката. Едно от необходимите условия за тяхната роля като центрове на кристализация е наличие на структурно и размерно сходство на параметрите на кристалните решетки с тези на кристализиращото вещество. Докато въздействието на TiN може да се обясни с ниския процент (4.7 %) несъответствие на параметрите на кристалната решетка на TiN (кубична; a = 0.424 nm) и на Al (кубична; a = 0.4049 nm), такова обяснение за диаманта (кубична; a = 0.357 nm) е неприемливо. Издребняването на евтектичния Si (кубична; a = 0.543 nm) също не може да бъде свързано с принципа за размерно съответствие. И при двата модификатора, обаче, издребняването на *α*-зърната, както и на евтектиката е факт, който вероятно се дължи на общ фактор – тяхната наноразмерност (под 100 nm). При въвеждане в стопилката плакиращият слой (Al, Ag) се разтваря и способства омокрянето, а активираната повърхност на наночастиците служи като подложка за зараждане на първичните *α*-зърна при кристализация. По-фината структура на силициевите и интерметални кристали е свързана с това, че те кристализират по-бързо в малки междудендритни и междуклетъчни обеми, за което свидетелстват намалените стойности на DAS (табл. 2).

Установената възможност за комплексно модифициране едновременно на първичните *α*-зърна и евтектиката в подевтектични силумини с НМ представлява преимущество пред използваните понастоящем методи за двойна обработка: с лигатури Al-Ti или Al-Ti-B за издребняване на първичните зърна и с Al-Sr – на евтектиката.

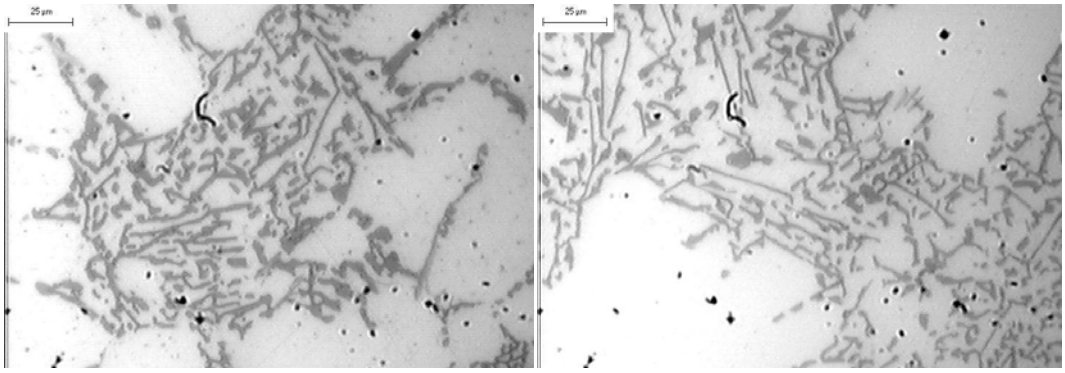


а) немодифицирана *б) модифицирана с 0.1% ND+Ag*

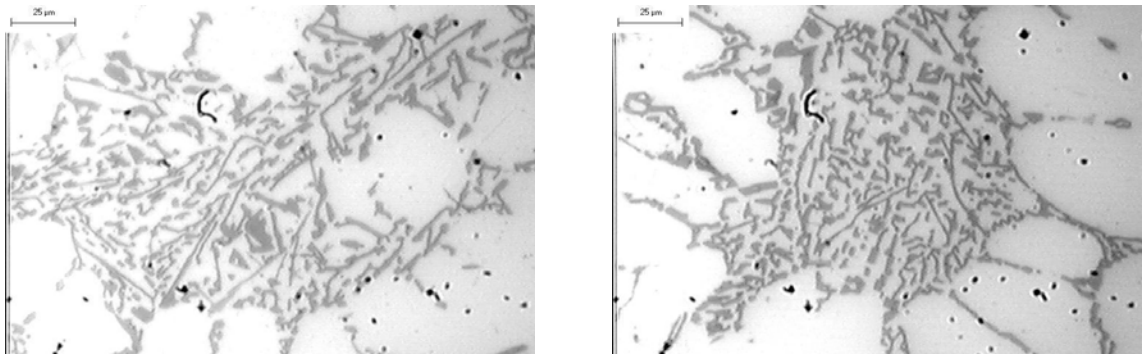


в) модифицирана с 0.15% TiN+Al *г) модифицирана с 0.3% TiN+Al*

Фиг. 6. Микроструктура на изходна и модифицирана с ND+Ag и TiN+Al сплав AlSi7Mg



а) немодифицирана *б) модифицирана с 0.03% TiN+Al*



в) модифицирана с 0.15% TiN+Al *г) модифицирана с 0.3% TiN+Al*

Фиг. 7. Структура на евтектиката в изходна и в модифицирана с TiN+Al сплав AlSi7Mg

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Чрез термичен анализ са регистрирани изменения на температурите през различните стадии на кристализация, стойностите и продължителността на преохлаждане след обработка на стопилки от сплав AlSi7Mg с нанопрахове ND+Ag (0.1%) и TiN+Al (0.03-0.3%), които свидетелстват за наличие на модифициращ ефект.

2. Чрез металографски анализ е установено, че модифицирането на сплав AlSi7Mg с нанопрахове ND+Ag и TiN+Al води до значително присъствие на малки по размер *α*-зърна с клетъчна структура и издребняване на силициевите и интерметални кристали. Средният диаметър на зърната намалява с 26-28 %, стойностите на DAS - с до 13 %, а микротвърдостта се увеличава с до 15 %.

3. Възможността за комплексно модифициране на първичните *α*-зърна и евтектиката в подевтектични силумини с наномодификатори представлява преимущество пред класическите методи, включващи двойна обработка с различни лигатури за издребняване на зърната и за модифициране на евтектиката.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията са финансирани от Национален фонд „Научни изследвания”, България - проект ТК01/076, за което авторите изказват благодарност.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lazarova, R., V.Gaidarova, V.Manolov, M.Manchev, S.Konstantinova, A.Cherepanov. *Investigation of the influence of modifying nanopowders on the characteristics of metal alloys.* Proceedings of the VII International Scientific-Technical Congress “**Machines, Technologies, Materials**” – “**MTM’2010”**, Sofia, Bulgaria, May 26-27, **2010**, pp. 48-51.

2. Gaidarova, V.N., R.L. Lazarova, S.V. Vaseva, V.K. Manolov, and S.G. Konstantinova. *Microstructure and Mechanical Properties of AlSi7Mg Alloy: Effect of Added Nanodiamond.* In: Explosive Production of New Materials: Science, Technology, Business, and Innovations. Edited by A.A. Deribas and Yu.B. Scheck, Moscow, TORUS PRESS, **2010**, **ISBN** 978-5-94588-073-3, p. 25 (Proceedings of the X International Symposium “**EPNM-2010”**, Bechichi, Montenegro, June 07-11, **2010**).

3. Saburov, V., A.Cherepanov, M.Zhukov at el. *Plasmachemical syntesis of ultrafine powders and their application for modificaion of metals and alloys*. –Novosibirsk, Nauka, **1995**, 334 p. (in Russian).

4. Patent US005353708A, Oct. 11, **1994**. *Method for production of ultradispersed diamond,* Stavrev, S. et al.

5. Thermatest – проспект на Pechiney, Франция.

6. Строганов, Г., В.Ротенберг, Г.Гершман. *Сплавы алюминия с кремнием.* М., Металлургия, **1977**, 271с.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Н.с. I ст. Сергей СТАНЕВ
Институт по металознание “Акад.А.Балевски” БАН,
Шипченски проход 67,1574 София, България
e-mail: geo131@gmail.com

Ст.н.с. II ст. д-р Румяна ЛАЗАРОВА
Институт по металознание “Акад.А.Балевски” БАН,
Шипченски проход 67,1574 София, България
e-mail: lazarovarumiana@abv.bg

Ст.н.с. II ст. д-р Славейка КОНСТАНТИНОВА
Институт по металознание “Акад.А.Балевски” БАН,
Шипченски проход 67,1574 София, България
e-mail: skonst@abv.bg

Ст.н.с. II ст. д-р Валентин МАНОЛОВ
Институт по металознание “Акад.А.Балевски” БАН,
Шипченски проход 67,1574 София, България
e-mail: v.man.1943@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

ELECTRIC FIELD INFLUENCE ON THE ELECTRONIC STATES IN SOME NANOSTRUCTURES

Adelina MITEVA

Abstract: *The tremendous interest in the semiconductor nanostructures is due mainly to their actual and potential applications in various electro-optical devices. The aim of this study is to conduct numerical calculations within the framework of a realistic tight-binding model for the electron states of some semiconductor nanostructures, namely in rectangular quantum wells with different depths and in the presence of a constant electric field. The paper shows part of these results.*

Key Words: *rectangular quantum wells, electric field influence, Stark effect, tight-binding method, AlGaAs.*

1. INTRODUCTION

The tremendous interest in the semiconductor nanostructures is due mainly to their actual and potential applications in various electro-optical devices. Modern electronic and optoelectronic devices are approaching nanometric dimensions and employ semiconductor nanostructures. Atomistic approaches become necessary for modeling structural, electronic and optical properties of such nanostructures and nanostructured devices. The investigation of the electronic and optical properties of the semiconductor quantum wells subjectid to an electric field is of great interest due to the possibility of making various fast electro-optical devices [1,2,3]. Many semiconductor devices with built-in quantum wells work under application of an electric field.

The aim of this study is to conduct numerical calculations with one of the methods, which is widely used for atomistic investigation of semiconductor nanostructures – the empirical tight binding method. Numerical calculations within the framework of a realistic tight-binding (TB) model for the electron bound states of some semiconductor nanostructures, namely of rectangular quantum wells (RQWs) with different depths, in the presence of a constant electric field have been made.

We study RQWs with thickness of 44 MLs. One ML (monolayer) equals two atomic layers and 1ML equals 2.825 x 10^{-10} m. The RQWs are formed in the system of $Al_yGa_{1-y}As$ / $Al_xGa_{1-x}As$ / $Al_yGa_{1-y}As$. The Al concentration y in the barriers $Al_yGa_{1-y}As$ is y = 0.36 for all RQWs under study. The Al concentration x in the well regions $Al_xGa_{1-x}As$ is different and takes four values: x = 0, x = 0.03; x = 0.06; x = 0.12, respectively for the four RQWs under study (see Fig. 1). We can see in Fig. 1 that the concentration profile of Al in RQWs makes one RQW deeper than the other. The deepest RQW has a concentration of Al in the quantum well (QW) region x = 0. And the most shallow RQW has a concentration of Al in the quantum well (QW) region x = 0.12.

We calculate the electron bound states, the hole bound states and their spatial distributions without and with applying a constant longitudinal electric field. The electric field is applied parallel to thegrowth axis [001]. We calculate also the energies of the optical transitions E(C1-HH1), E(C1-LH1), E(C2-HH2) and their Stark shifts. The Stark shift is a reduction of the optical transition energy in a QW under applied electric field. The aim of this study is to compare these four QWs under an applied constant electric filed, calculated in the framework of a tight-bindind model, which to our knowledge has not been done yet.

2. MODEL AND METHOD

We study $Al_yGa_{1-y}As$ / $Al_xGa_{1-x}As$ / $Al_yGa_{1-y}As$ RQWs (001) with the rectangular well structures (Fig. 1). The electric field is applied parallel to the growth axis [001]. Similar structures are partially investigated theoretically in [4]. We use the sp^3s^* spin-dependent semi-empirical tight-binding model as it is described in [5]. The virtual crystal approximation is used for the description of the TB parameters TB(x) (or TB(y)) of the alloy $Al_xGa_{1-x}As$ (or $Al_yGa_{1-y}As$):

TB(x)=x.TB(AlAs) + (1-x).TB(GaAs).

We use surface Green function matching technique, developed and applied in [6] in order to calculate the Green function of the infinite system ($Al_yGa_{1-y}As$) containing the finite inhomogenious slab. We define the presence of an external static electric field (see [7,8,9]) by adding an linearly varying with the distance term Δ_n to the diagonal elements of the TB Hamiltonian matrix:

$$TB(n,x) = TB(x) + \Delta_n, \quad (1)$$

$$\text{and } \Delta_n = (n-1).F.(a/4), \quad (2)$$

where a is the lattice constant, F is the intensity of the longitudinal constant electric field, TB(x) are the diagonal TB parameters without an electric field for the bulk material with Al concentration x, and n is the number of the layer (i.e. layer index) in QW. The electric field is applied to the structure under study at two points in the well regions ($Al_xGa_{1-x}As$) at the two edges of the rectangular QWs. The width of the four RQWs is 44 MLs (which is approximately 125 Å; or 12.43 nm). The zero value of the intensity of applied electric field F is defined at the point which corresponds to the first ML from the left edge of the QWs. In our numerical calculations we use a range of electric fields, from –212.4 to +212.4 kV/cm with 70.8 kV/cm step. We also made calculations for the conventional square-shaped QW (RQW) (with Al composition x equals 0) in order to compare it with our results. The RQWs have a 44 MLs (125 Å) $Al_xGa_{1-x}As$ wells and $Al_{0.36}Ga_{1-0.36}As$ barriers. All calculations are made at the center of the two-dimensional Brillouin zone.

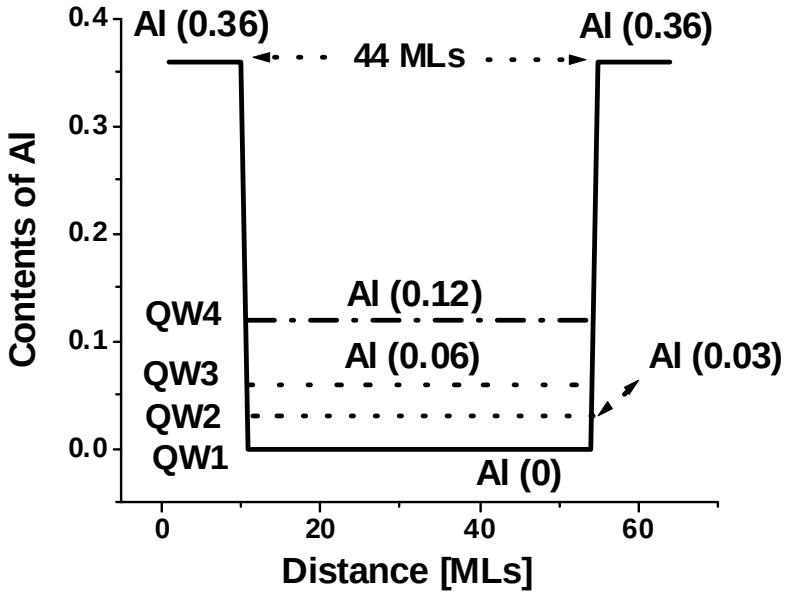


Fig. 1. Schematic band diagram of four RQWs without application of a constant electric field. RQW number 1 (RQW 1) consists of pure GaAs. RQW 2 has Al concentration x = 0.03. RQW 3 has Al concentration x = 0.06. RQW 4 has Al concentration x = 0.12. In four cases we have at the barriers the Al concentration of the alloy composition y = 0.36

3. RESULTS AND DISCUSSION

We see in Fig. 2 the RQW of type $Al_{0.36}Ga_{1-0.36}As$ / $Al_{0.06}Ga_{1-0.06}As$ / $Al_{0.36}Ga_{1-0.36}As$ which corresponds to RQW 3 from Fig. 1. Here, in Fig. 2, we see the influence of the electric field on the concentration profile of the RQW. The electric field makes the concentration profile inclined. The direction of the slope of this profile depends on the sign and the value of the applied electric field F.

Fig. 3 shows the calculated main bound electron and hole energies of the four RQWs under study without and in the presence of a constant electric field. EC1 and EC2 are the conduction band bound states, and EHH1, ELH1 and EHH2 are the valence band bound states. They are indicated on the Fig. 3. And also as it is indicated on the figure: Fig. 3 (a) – RQW with Al contents x = 0.0; Fig. 3 (b) – RQW with Al contents x = 0.03; Fig. 3 (a) – RQW with Al contents x = 0.06; Fig. 3 (a) – RQW with Al contents x = 0.12. For all four RQWs the behavior of the energies is similar: they decrease or increase with increasing or decreasing the applied electric field.

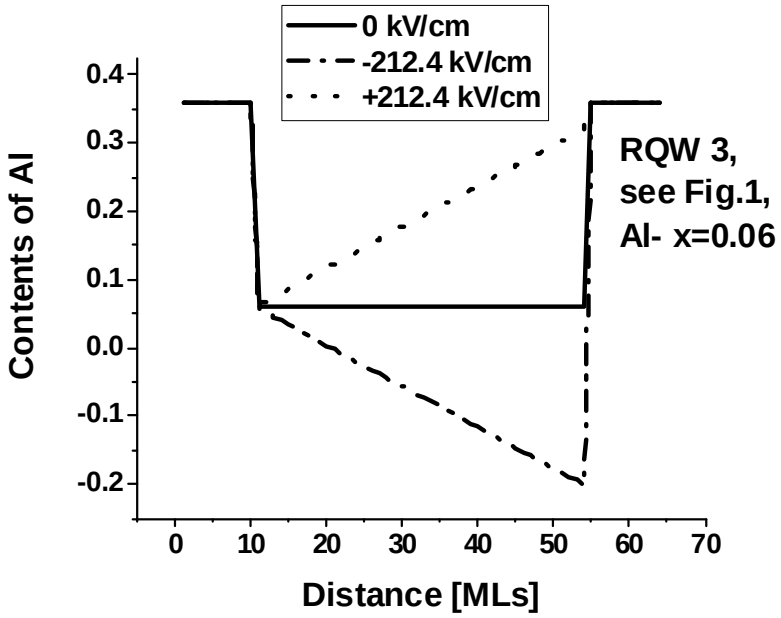


Fig. 2. Schematic band diagram of the concentration profile of RQW3 (see Fig. 1) without and with the application of a constant electric field F of the value 212.4 kV/cm. RQW number 3 (RQW 3) has Al concentration x = 0.06. The Al concentration of the alloy composition is y = 0.36 at the barriers

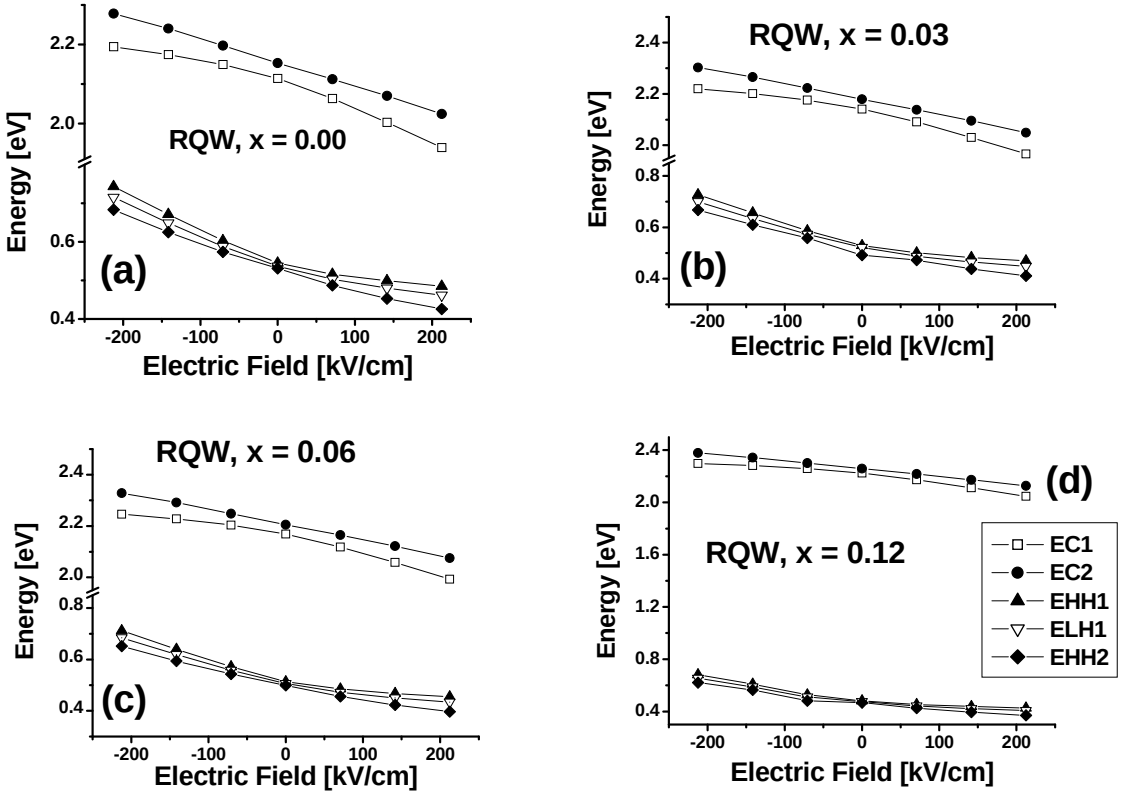


Fig. 3. Main calculated bound electron and hole energies of the four RQWs without and with the application of a constant electric field F. Al concentration x for each RQW is indicated on the figure

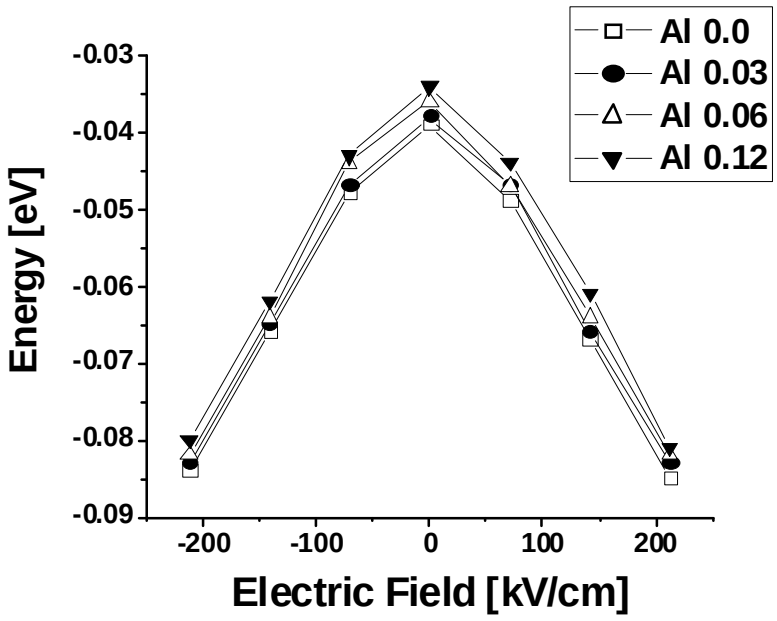


Fig. 4. Transition energies E(C1-C2) as a function of applied electric field for the RQWs under study. RQWs are indicated on the figure with the contents of Al

Fig. 4 shows the transition energies E(C1-C2). As we can see they are larger for RQW with the largest contents of Al. With increasing the concentration of Al in RQWs the transition energy E(C1-C2) increases. And for all RQWs the transition energies decrease with increasing applied electric field. Consequently we can say that the increasing the concentration of Al in RQWs gives larger and better Stark shifts.

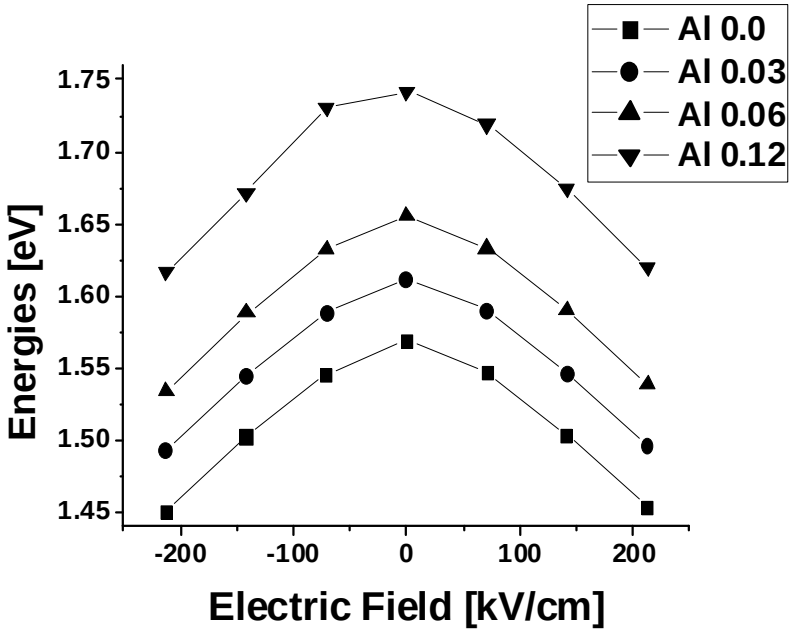


Fig. 5. Transition energies E(C1-HH1) as a function of applied electric field for the RQWs under study. RQWs are indicated on the figure with the contents of Al

Fig. 5 shows the transition energies E(C1-HH1). As we can see they are larger for RQW with the largest contents of Al. With increasing the concentration of Al in RQWs the transition energy E(C1-HH1) increases. And for all RQWs the transition energies decrease with increasing applied electric field. Consequently we can say the same as for the transition energies E(C1-C2) (see Fig. 4), namely that the increasing the concentration of Al in RQWs gives larger and better Stark shifts under application of the same values of electric field.

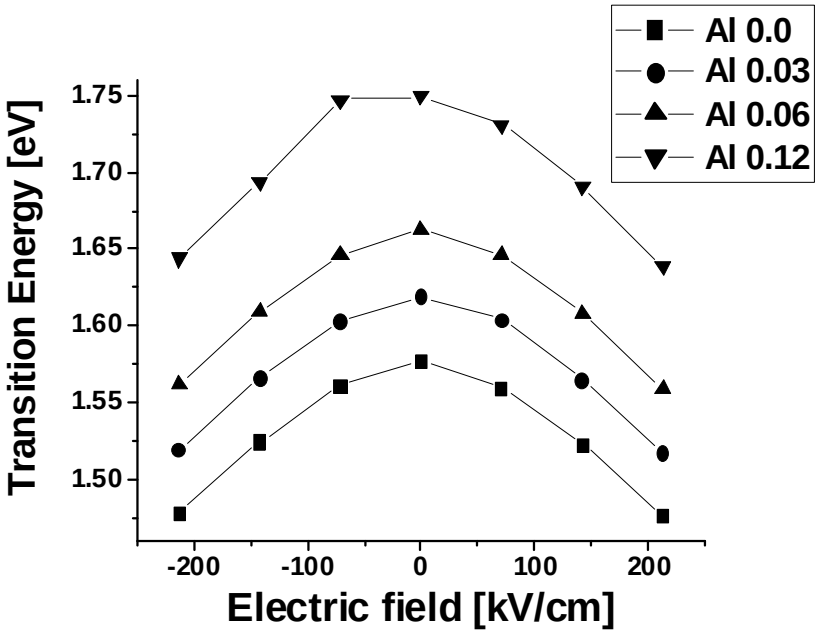


Fig. 6. Transition energies E(C1-LH1) as a function of applied electric field for the RQWs under study. RQWs are indicated on the figure with the contents of Al

Fig. 6 shows the transition energies E(C1-LH1). As we can see they are larger for RQW with the largest contents of Al. With increasing the concentration of Al in RQWs the transition energy E(C1-LH1) increases. And for all RQWs the transition energies decrease with increasing applied electric field. Consequently we can say the same as for the transition energies E(C1-C2) and for E(C1-HH1) (see Fig. 4 and see Fig. 5), namely that the increasing the concentration of Al in RQWs gives larger and better Stark shifts under application of the same values of electric field.

4. CONCLUSION

The microscopic description is a required step to understand the behaviour of modern semiconductor nanostructures and to support the project of nanostructured devices. The microscopic approaches can be based on empirical TB numerical calculations. These microscopic methods have a computational cost comparable to that of multi-band envelope function approaches, and can thus be easily implemented in device design tools. In particular, TB methods are well suited to describe organic and inorganic realistic nanostructures.

We can say that the results from the TB calculations, such in this work, help to study the physics of the nanostructures in the presence of applied electric field intensities. Such investigations that make possible to study in details the Stark shifts of the electronic and hole states and their spatial distributions, the subband spectra and intersubband transitions of electrons, are very promising in looking for quantum well structures that provides good Stark effect characteristics for potential device applications.

For the lack of pages on disposal we could not give here the results for the spatial distributions of the obtained energies in the presence of applied electric field. This will be done in future work and the work is in progress in this direction. Such investigation will help us to find a QW potential profile with better Stark effect characteristics. The investigation of the electric field effects on the optical properties of the QW structures with graded gap potential profiles is essential for the optimization of QW-based devices.

REFERENCES

1. Alferov, Z. I., Rev. Mod. Phys., **73**, **2001**, 769-782.
2. Bastard, G. Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, **1988**, (Les Ulis Cedex: Les Edition de Physique)
3. Di Carlo A. Semicond. Sci. Technol. **18, 2003**, R1-R31.
4. Vlaev, S.J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio, and V. R. Velasco, Surf. Sci., **424**, **1999**, 331-339.
5. Vlaev S. J., V. R. Velasco, and F. Garcia-Moliner, Phys. Rev. B **49, 1994**, 11222-1229.
6. F. Garcia-Moliner and V. R. Velasco. *Theory of Single and Multiple Interfaces. The Method of Surface Green Function Matching.* World Scientific, Singapore, **1993**.
7. Vlaev, S.J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio, and V. R. Velasco, Surf. Sci., **424**, **1999**, 331-339.

8. Vlaev, S.J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio, and V. R. Velasco, Superlattces Microstruct., **26**, **1999**, 325-332.
9. Miteva, A. M., S. J. Vlaev, V.T. Donchev, and L. M. Gaggero-Sager, Rev. Mex. Fis. **S 53**, **2007**, 74-77.

CORRESPONDENCE

Assistant Adelina MITEVA
Space and Solar-Terrestrial Research Institute,
6 Moskovska Str., 1000 Sofia, Bulgaria
e-mail: admiteva@phys.bas.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

STARK EFFECT IN GRADED GAP QUANTUM WELLS

Adelina MITEVA

Abstract: *In the present work we present tight-binding numerical calculations of electronic states in an inverse parabolic quantum well with graded composition under the influence of a longitudinal constant electric field. The energies of the electron and hole bound states without and with applying a constant electric field are calculated as well as the energies of their Stark shifts. The results are compared with the results for the conventional square-shaped quantum well.*

Key Words: *parabolic quantum wells, Stark effect, tight-binding method, electric field effect, electronic states in quantum wells.*

1. INTRODUCTION

Investigation of the electronic and optical properties of the semiconductor nanostructures (graded composition quantum wells) subjected to an electric field is of great interest due to the possibility of making various fast electro-optical devices. The electric field effects (Stark effects) on the graded-gap quantum well (QW) structures are of great interest due to the fact that most of the devices based on QWs work under application of an electric field [1,2,3]. The quantum-confined Stark effect (QCSE) is a shift of the exitonic absorption edge to lower energy with an electric field applied over a semiconductor QW. The QCSE offers tailorable optical response which can be used for device construction. The parabolic QW, aside to the square one, is one of the most studied systems. This is partially because its unique properties such as equally spaced electronic spectrum.

In this work we present a numerical calculation of single $Al_xGa_{1-x}As$ parabolic QW (PQW) under application of a constant electric field applied perpendicular to the interfaces.

2. MODEL AND METHOD

We have used for numerical calculations the algorithm described in [4], which is then applied in [5,6,7] for detailed calculations of different graded composition QWs. This algorithm makes possible the application of the SGFM method [8] for matching a final nonhomogeneous region with semi-infinite homogeneous regions. This allows realistic tight-binding (TB) calculations for electronic states in rectangular and graded compositioh QW's in the presence of a constant electric field. We describe the presence of an external constant electric field F perpendicular to the interfaces with shifting of the diagonal terms of the empirical TB Hamiltonian matrix by the corresponding potential drop Δ (in meV) across one monolayr. An electric field of F =70.8 kV/cm corresponds to Δ = 1 meV. The field is applied between the first (n=1) and the last (n=N) monolayer (ML). The cation i s in the n=1 state. In the barrier regions the electric field is F = 0. The width of all QW's is 12,43 nm or N=44ML. The growth direction is [100]. The Al concentration x in the barriers for all parabolic QWs (PQWs) is x=0.36. In the PQWs x varies parabolically from x_{min} = 0.02 at the barriers to x_{max} in the middle of the well. x_{max} equals 0; 0.03; 0.06 and 0.12 for the four PQWs under study.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Fig. 1 shows the influence of the electric field on the concentration profile of the PQW. The electric field makes the concentration profile inclined and not symmetrical. The direction of the slope of this profile depends on the sign and the value of the applied electric field F. Here we see the influence of F
only on one of the PQWs (with x_{max} = *0.12*) under study. And also at two given values of the applied electric field: F. = 70.8 kV/cm and F = –70.8 kV/cm. Here we see only the well regions, thick barriers $Al_{0.36}Ga_{0.64}As$ are not shown.

Fig. 2 shows the calculated ground and excited state energies of the conduction C1 and C2, and valence HH1, LH1, and HH2 states in the three PQWs versus the applied electric field. We notice that

the electric field effects do not depend significantly on the depth of the PQW. The dependence of the applied electric field on the energy values is almost similar for the three PQWs, as it is shown on the figure.

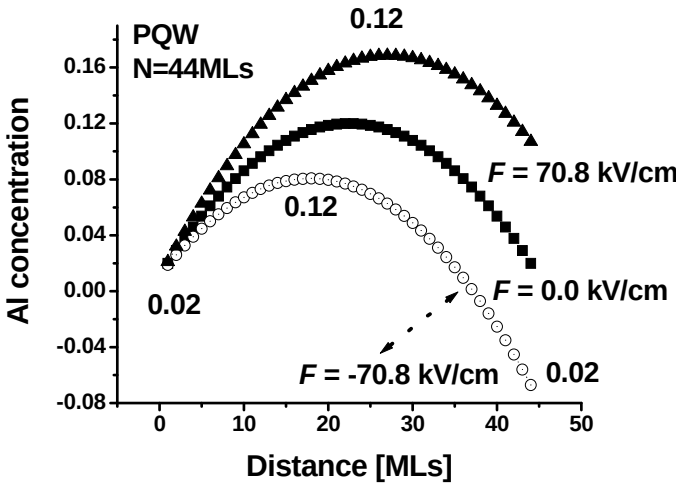


Fig. 1. The ideal potential of an inverse PQW used in the calculations. Here we see the PQW potential of only one of the calculated PQW at three different values of applied electric field F: 70.8 kV/cm; 0.0 kV/cm and –70.8 kV/cm, respectively from top to bottom, as it is indicated on the figure.

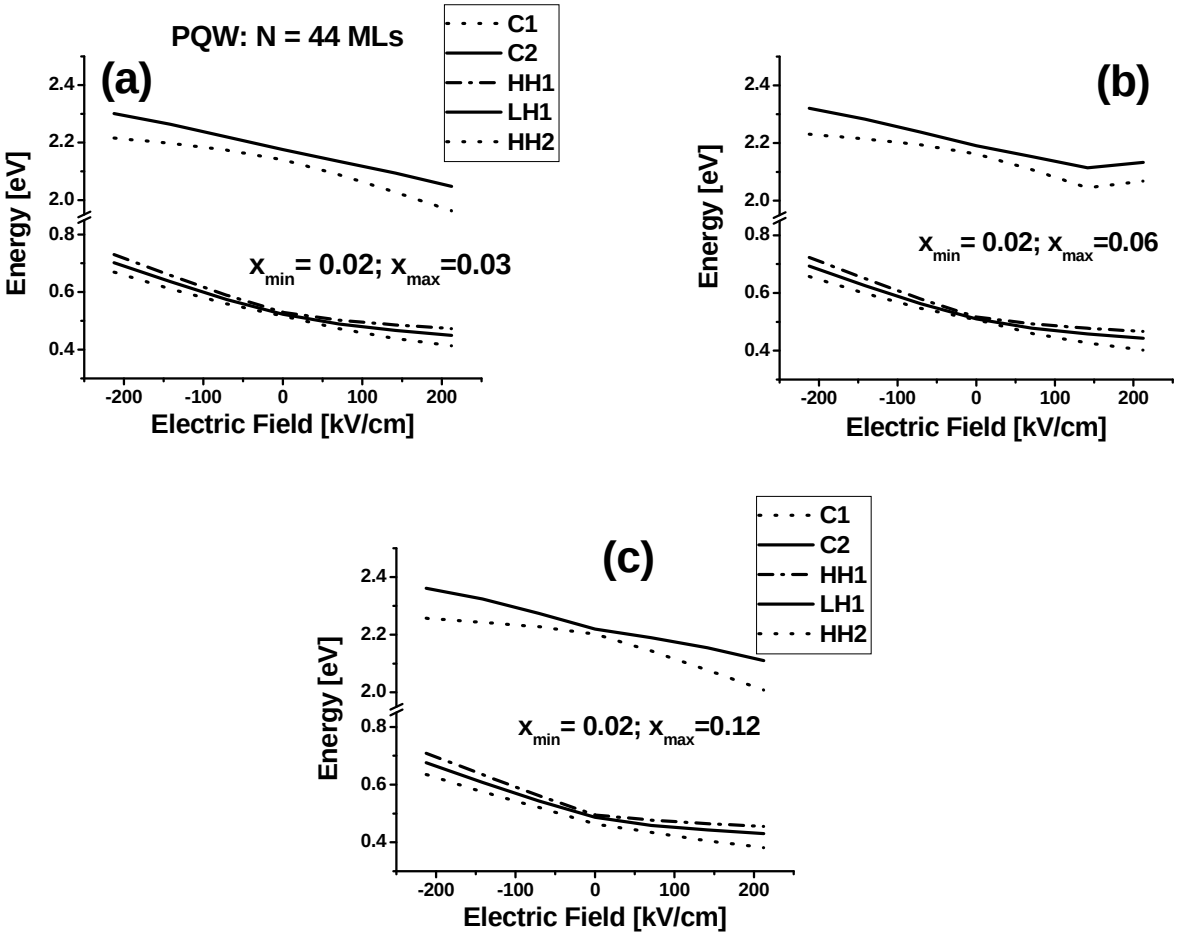


Fig. 2. The dependence of the main ground and exited energy levels for the three PQWs on applied electric field. In (a), (b) and (c) we have respectively the following values of x_{max} in the middle of the well: 0.03, 0.06 and 0.12. (x_{max} in the middle of the well is the biggest concentration of Al in PQW)

Fig. 3 shows the dependence of the calculated values of the main optical transition energies: E(C1-HH1) (see Fig.3 (a)), E(C1-LH1) (see Fig.3 (b)) and E(C2-HH2) (see Fig.3 (c)) for the three PQWs versus the applied electric field *F*. We notice that the electric field effects depend significantly on the depth of the PQW. The dependence of the applied electric field *F* on the energy values is almost similar for each of the three PQWs, as it is shown on the figure. With increasing *F* the transition energies of the three transitions under consideration increase in absolute value, but in different way depending on Al concentration x_{max} and on the transition. At a given value of x_{max}: for larger *F* the increase is faster for E(C1-HH1) and E(C1-LH1), than for E(C2-HH2). And also the increase for E(C1-HH1) is faster than E(C1-LH1). We see also that at a given value of *F* the transition energies are larger for larger values of Al concentration x_{max}.

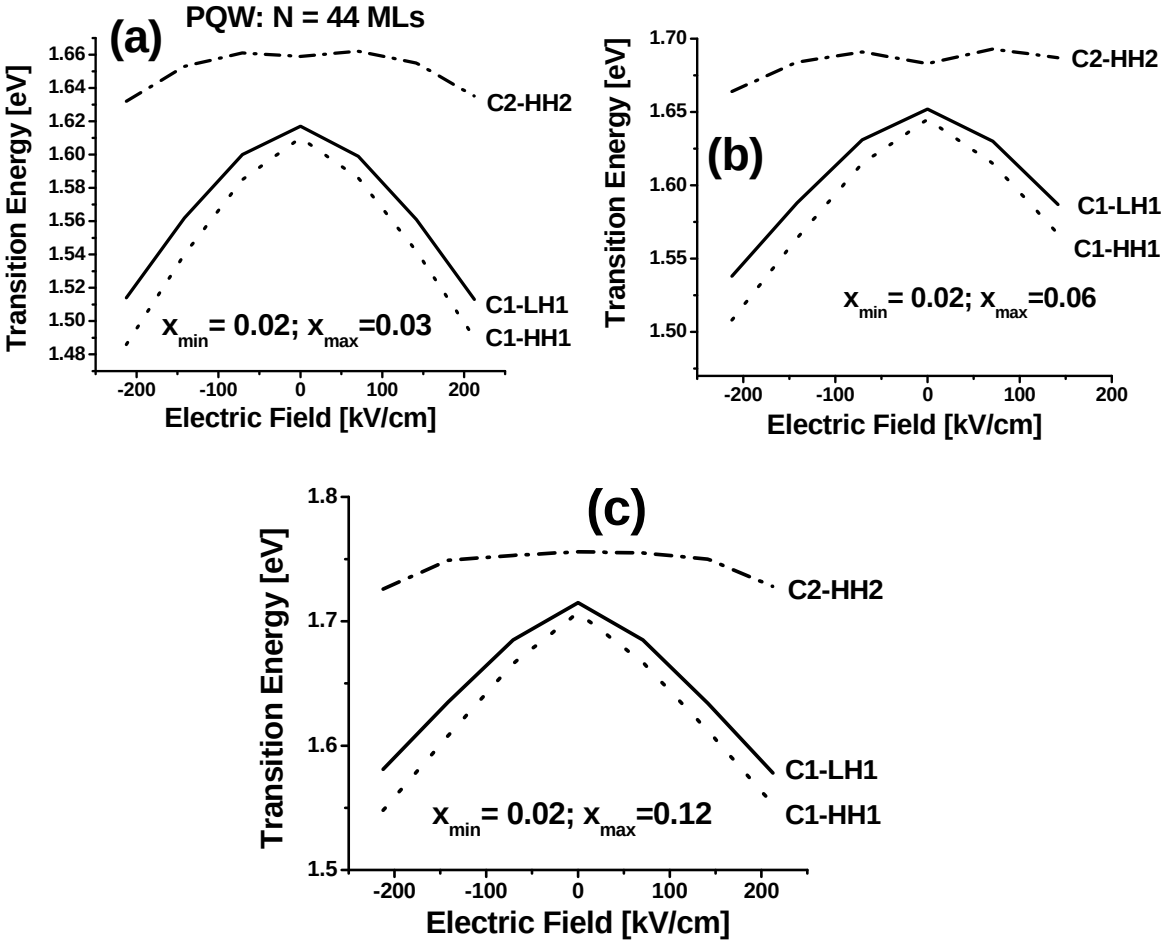


Fig. 3. The dependence of the main optical transition energies E(C1-HH1), E(C1-LH1) and E(C2-HH2) for the three PQWs on applied electric field

Fig. 4 shows the dependence of the calculated values of the Stark shifts of main optical transition energies: E(C1-HH1) (see Fig.4 (a)), E(C1-LH1) (see Fig.4 (b)) and E(C2-HH2) (see Fig.4 (c)) for the three PQWs versus the applied electric field *F*. We notice that the electric field effects depend significantly on the depth of the PQW. The dependence of the applied electric field *F* on the energy values is almost similar for each of the three PQWs, as it is shown on the figure and this dependence is similar to those for the figure 3. With increasing *F* the Stark shifts of the transition energies of the three transitions under consideration increase in absolute value, but in different way depending on Al concentration x_{max} and on the transition. At a given value of x_{max}: for larger *F* the increase is faster for E(C1-HH1) and E(C1-LH1), than for E(C2-HH2). And also the increase for E(C1-HH1) is faster than E(C1-LH1). We see also that at a given value of *F* the transition energies are larger for larger values of Al concentration x_{max}.

In comparison of above calculations with our previous obtained results [5,6] for rectangular and graded-gap QWs, we see the similar Stark shifts of the transition energies. We see also from Fig. 4, that the Stark shifts of the transition energies in PQWs under study can be measured experimentally at electric fields applied in these calculations.

4. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

We present the TB calculations of the quantum confined Stark effect (electric field effects) in PQWs with different parabolic potentials and with the same QW width of 44 MLs. We can say that the results from the TB calculations, such in this work, help to study the physics of the electric field effects at different concentrations and electric field intensities. Such investigations that make possible to study in details the Stark shifts of the electronic states and their spatial distributions, are very promising in looking for PQW structures that provides good Stark effect characteristics for potential device applications. We could not give here the results for the spatial distributions of the obtained energies in the presence of applied electric field. This will be done in future work and such work is in progress in this direction. Such investigation will help us to find a QW potential profile with better Stark effect characteristics for application in QW-based devices.

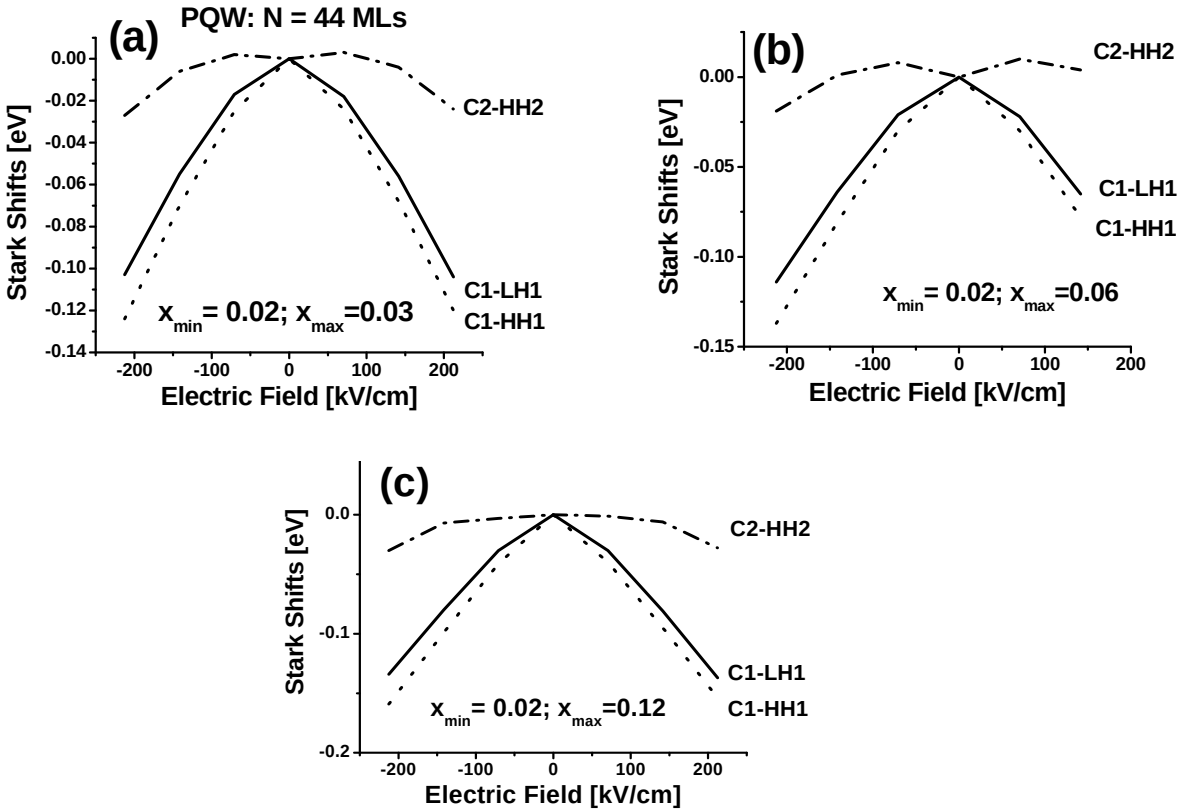


Fig. 4. The dependence of the Stark shifts of the main optical transition energies E(C1-HH1), E(C1-LH1) and E(C2-HH2) for the three PQWs on applied electric field.

REFERENCES

1. Alferov, Z. I., Rev. Mod. Phys., 73, **2001**, 769-782.
2. Bastard, G., *Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures*. **1988**, Les Ulis Cedex: Les Edition de Physique.
3. Di Carlo, A., Semicond. Sci. Technol. 18**, 2003**, R1-R31.
4. Vlaev, S. J., V. R. Velasco and F. Garcia-Moliner, Phys. Rev. B, 49**, 1994**, 11222-1229.
5. Vlaev, S.J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio and V. R. Velasco, Surf. Sci., 424, **1999**, 331-339.
6. Vlaev, S.J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio and V. R. Velasco, Superlattces Microstruct., 26, **1999**, 325-332.
7. Miteva A. M., S. J. Vlaev, V.T. Donchev, and L. M. Gaggero-Sager, Rev. Mex. Fis. **S 53**, 2007, 74-77.
8. F. Garcia-Moliner and V. R. Velasco, *Theory of Single and Multiple Interfaces*. *The Method of Surface Green Function Matching*. World Scientific, Singapore, **1993**.

CORRESPONDENCE

Assistant Adelina MITEVA
Space and Solar-Terrestrial Research Institute,
6 Moskovska Str., 1000 Sofia, Bulgaria
e-mail: admiteva@phys.bas.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

MECHANICAL PROPERTIES AND RECRYSTALLIZATION OF LOW MELTING ALLOYS FOR PHYSICAL MODELING OF SEVERE PLASTIC DEFORMATION

Valentin KAMBUROV Rangel RANGELOV Angel VELIKOV Ina JANKOVA

Abstract: *There is investigated the recrystallization of low melting point alloys at room temperature after a compression and tensile testing. There are established a compressive yield point, modification of hardness, straining and undergoing recrystallization of chosen alloys on the base of lead with alloying elements.*

There are determined low alloyed single solid phase alloys (leadbased continuous solid solutions) with a recrystallization temperature over 20°C, which are suitable for physical modeling of severe plastic deformation, promoting formation of ultrafined grained crystalline structure.

Key words: *Pb alloys, recrystallization, severe plastic deformation.*

МЕХАНИЧНИ СВОЙСТВА И РЕКРИСТАЛИЗАЦИЯ НА НИСКОТОПИМИ СПЛАВИ ЗА ФИЗИЧНО МОДЕЛИРАНЕ НА ИНТЕНЗИФИЦИРАНА ПЛАСТИЧНА ДЕФОРМАЦИЯ

Валентин КАМБУРОВ Рангел РАНГЕЛОВ Ангел ВЕЛИКОВ Ина ЯНКОВА

Резюме: *Изследвана е рекристализацията на нискотопими сплави при стайна температура след изпитване на аксиално сплескване и едномерен опън. Установени са границата на провлачане, уякчаването, изменението на твърдостта и протичащата рекристализация при подбрани сплави на основата на олово с легиращи елементи.*

Избрани са нисколегирани еднофазни сплави (твърди разтвори на олово) с температура на рекристализация над 20°C, които са подходящи за физично моделиране на интензифицирана пластични деформации, свързани с издребняване на кристалитната структура.

Ключови думи: *Pb сплави, рекристализация, интензифицирана пластична деформация.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Физическото симулиране на процесите на обработване на металите под налягане в лабораторни условия се извършва основно с помощта на нискотопими метални сплави и материали на восъчна основа. Поведението им при стайна температура е идентично с това на металите при гореща пластична деформация, но се реализира при много по-ниски налягания. Те притежават висока пластичност, ниска граница на провлачане и ниско съпротивление при деформиране под налягане, което позволява избягването на изработването на сложна и скъпа инструментална екипировка и позволява провеждането на експериментите в лабораторни условия. Восъчните материали и нискотопимите метални сплави (чисто олово) се използуват основно за симулиране на формоизменението на процеси, при които преобладават натискови напрежения с динамична рекристализация при гореща пластична деформация. Поведението на материалите на восъчна основа и чистото олово при студена пластична деформация с преобладаващи напрежения на опън или чисто плъзгане с деформационно уякчаване ги прави непригодими за физическо симулиране на тези механични схеми на деформиране [1].

Известните схеми за интензифицирана пластична деформация (ИПД) се характеризират с използуване на механичните схеми на чисто плъзгане при повтаряща се (циклична) пластична деформация на студено, при която не настъпва съществена промяна на напречните размери и формата на заготовката [2]. При такива схеми на деформиране крайното формоизменение на

заготовката е незначително и дори нежелано, като натрупването на интензифицирана пластична деформация цели раздробяване на съществуващите кристалити и издребняване микроструктурата на материала. Такъв структурен ефект може да се постигне само след деформационно уякчаване без рекристализация и натрупване на вътрешни дефекти, които обаче не водят до поява на пукнатини и разрушаване на материала.

Отчитането влиянието на ИПД върху издребняването на структурата при физично моделиране с оловни сплави се затруднява от наличието на нехомогенна или променяща се по време деформирането структура (динамична рекристализация, наличие на фази с различни свойства, процеси на фазови превръщания, активирани от интензивната деформация и пр.).

Основната идея при физичното моделиране на схемите за интензифицирана пластична деформация е използването на хомогенни сплави на основата на олово (α-твърди разтвори) с висока пластичност, ниска граница на провлачане и ниско съпротивление при деформиране, които се уякчават след деформиране при стайна температура и са с температура на рекристализация над 20°C [4].

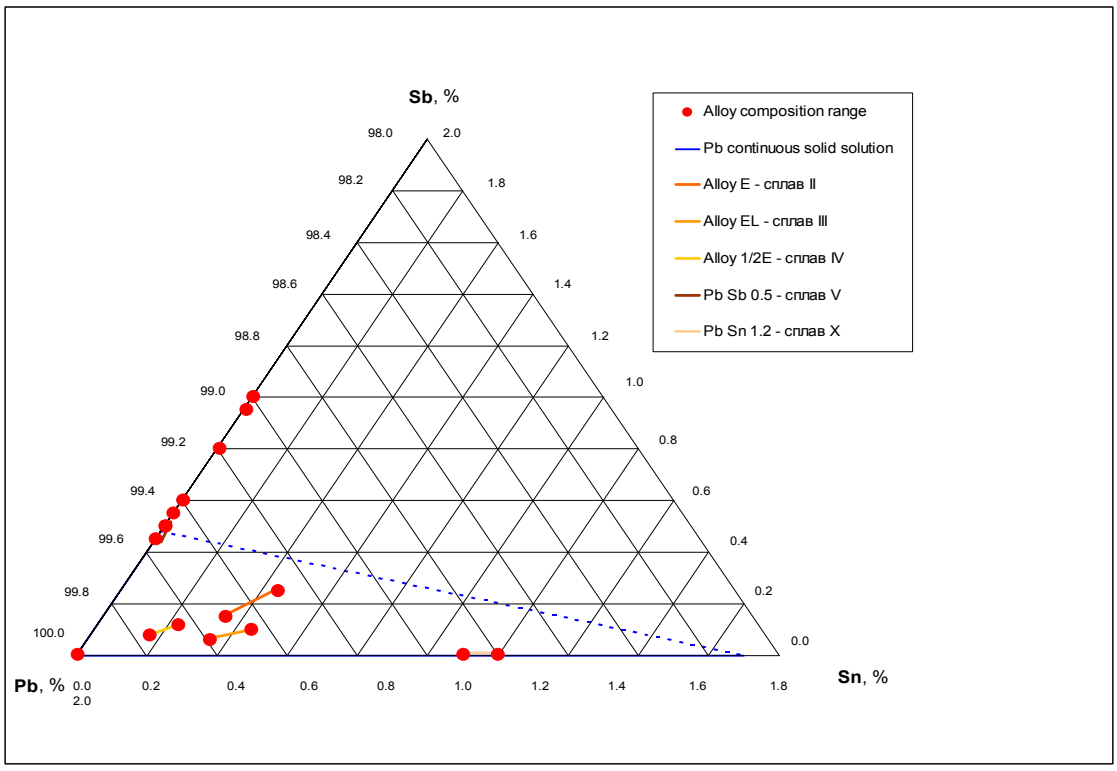
В работата чрез изпитване на едномерен опън, аксиално сплескване и измерване на твърдост е изследвана пригодността за физично моделиране (ИПД) на хомогенни оловни сплави от нисколегирано олово, съдържащи в микро количества антимон и калай.

2. СЪЩНОСТ И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

2.1. Подбор на сплави за моделиране

Известно е, че оловото и калаят не се уякчават след пластична деформация при стайна температура, тъй като те рекристализират по време и непосредствено след деформирането [3]. При използване на олово за обвивки и съединителни муфи за електрически кабели се използват легиращи елементи, които подобряват механичните свойства на чистото олово (микроструктурна стабилност, повишена корозоустойчивост, износоустойчивост, граница на провлачане, твърдост и пр.), поради полагането им под земята/водата, при налични вибрации и външни въздействия.

Прилаганите стандарти BS EN 12548:1999 и EN 50307:2002 обхващат над 25 варианта на нисколегирани оловни сплави със съдържание на Pb над 98% и микролегиращи елементи в различни комбинации, със съдържание както следва: - As (0.07-0.17%); - Bi (0.04-0.12%); - Ca (0.02-0.04%), Cd (0.06-0.16%), Cu (0.03-0.05%), Te (0.01-0.045%) Sb (0.06-1.00%) и Sn (0.05-0.45%). В различните варианти на тези оловни сплави е ограничено процентното съдържание на следните примеси: Ag, As, Bi, Cd, Cu, Ni, Sb, Sn, Te, Zn.



Фиг. 1. Концентрационен триъгълник от тройната диаграма Pb-Sn-Sb [7]

В работата са изследвани и сравнени следните микролегирани (с калай и антимон) сплави на оловото (съдържание Pb над 99.50%), за които се предполага че образуват хомогенни сплави - α-твърди разтвори (фиг. 1):

Сплав I - PK900S (Unalloyed Pb) - чисто олово - 0.003% Sb, 0.005% Sn и 99.99% Pb;
Сплав II - PK002S (Alloy B1/2) - олово с Sb - 0.50% Sb, 0.005% Sn и 99.49% Pb;
Сплав III - PK021S (Alloy E) - олово с Sn и Sb - 0.20% Sb, 0.40% Sn и 99.40% Pb;
Сплав IV - PK022S (Alloy EL) - олово с Sn и Sb - 0.10% Sb, 0.40% Sn и 99.50% Pb;
Сплав V - PK023S (Alloy 1/2E) - олово с Sn и Sb - 0.10% Sb, 0.20% Sn и 99.70% Pb;
Сплав X - Alloy PbSn1.2 - олово с Sn и Sb - 0.003% Sb, 1.20% Sn и 98.80% Pb.

От сплавите PK001S (Alloy B), PK002S (Alloy B1/2) и PK008S (PBSb0.5) е избрана сплав II, която е с минимално съдържание на антимон около 0.5%, тъй като се предполага, че при съдържание на Sb над 0.44% α- Pb се пресища [5]. Към стандартните сплави е добавена нова сплав X, която е с повишено съдържание на калай от около 1.2%, за която се предполага, че ще подобри механичните свойства на сплавта без да пресити α- Pb, тъй като е под максималната разтворимост (1.9%) на калай в олово.

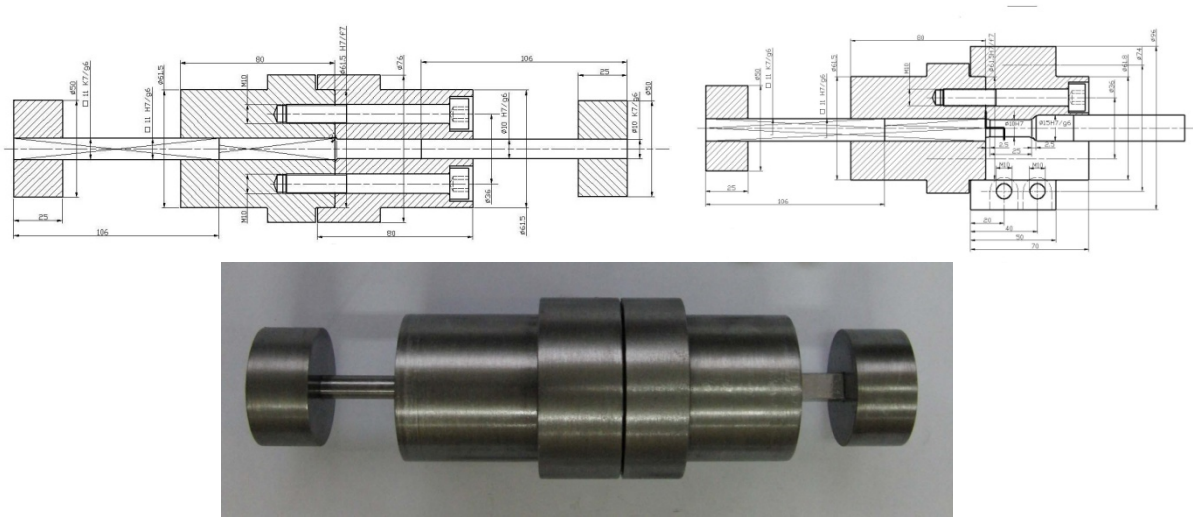
Разпределението на изследваните сплави по отношение на техните концентрации е представено в концентрационния триъгълник на долната лява част от тройната диаграма на състоянието на сплавите от системата Pb-Sn-Sb (фиг. 1.). Всички посочени сплави, според литературните данни, попадат в областта на α-твърдите разтвори на оловото.

Склонността на сплавите към деформационно уякчаване и следваща рекристализация е определена чрез измерване на микротвърдост и провеждане на стандартни механични изпитвания (аксиално сплескване и едномерен опън).

2.2. Изработване на образци за изпитване

Проби от посочените сплави са отлети в кокила с подходящи размери за изработване на проби за изпитване. Размерите на определени части от отливките са съобразени с размерите на каналите (10.6 x10.6 mm) от разработено устройство за двуъглова равноканална екструзия.

Чистото олово и нисколегираните му сплави са с много ниски твърдост и граница на провлачане, което ги прави неподходящи за изготвяне на проби чрез стружкоотнемане. Образците за изпитване трябва да бъдат без дефекти (неплътности, всмукнатини, пористост и пр.), а повърхността им - с високо качество, при напречно сечение на работната им част – Ø10 mm. Отлетите заготовки се пресоват в разработен за целта инструмент за право пресоване, с квадратно сечение 10.6 x 10.6 mm на контейнера, при което се получава цилиндричен образец с кръгло сечение Ø10 mm и повърхност с висок клас на грапавост (фиг. 2).



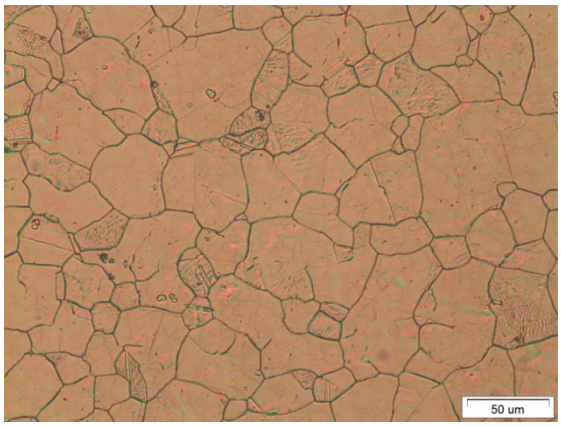
Фиг. 2. Комбиниран инструмент за право пресоване на образци за изпитване

За изпитване на аксиално сплескване са използувани стандартни образци с размери: диаметър Ø10 mm и височина 15 mm, съгласно БДС 9440-72 Метали. Метод за изпитване на натиск и БДС 5011-83 Метали. Метод за изпитване на сбиване. За изпитване на едномерен опън са използувани пропорционални пробни тела с диаметър Ø10 mm и начална мерна дължина 50 mm, съгласно EN ISO 6892-1:2009 Метални материали. Изпитване на опън. Метод за изпитване при стайна температура.

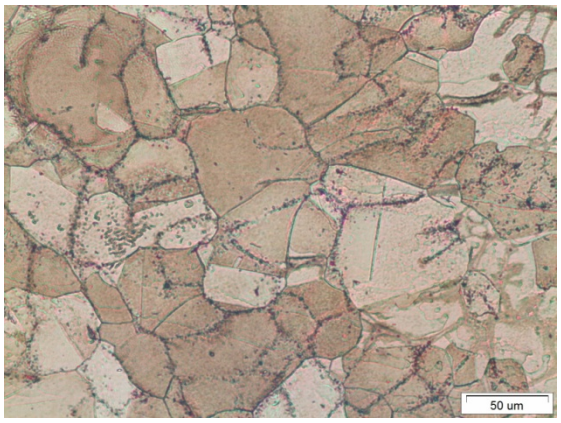
3. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

3.1. Микроструктурен анализ и микротвърдост на сплавите

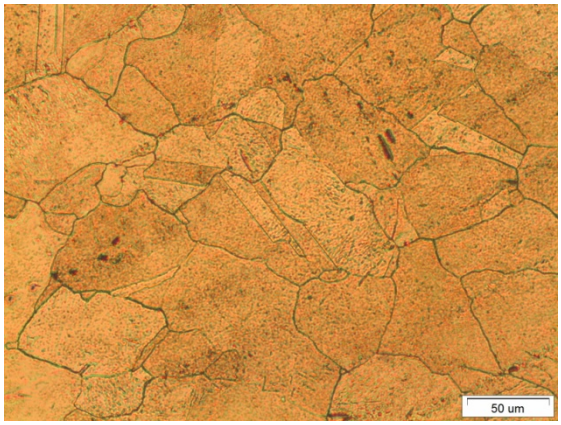
Металографските изследвания са проведени с оптичен металографски микроскоп „Olympus GX41", с дигитална цветна камера "Altra 20". Образците са изготвени според ASTME 407-99 и ASM Handbook "Metallography and Microstructures." Шлифоването е извършено на шкурки от 400 до 2000, предварително покрити с парафин, за да се попречи на образуването на дълбоки драскотини по обработваемата повърхност. Полирани са диамантена паста 1 μm и 1/4 μm.



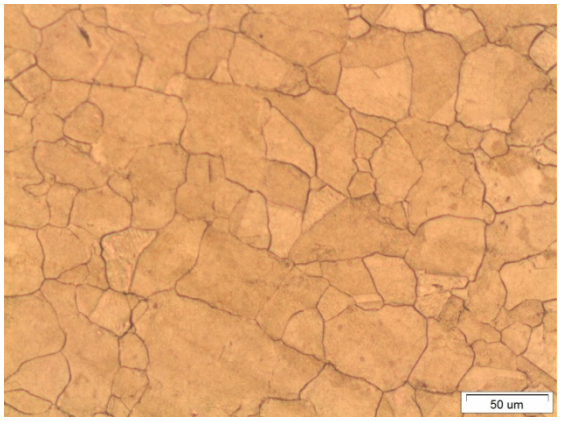
а) Сплав I - PK900S (Unalloyed Pb) - 0.003% Sb, 0.005% Sn и 99.99% Pb



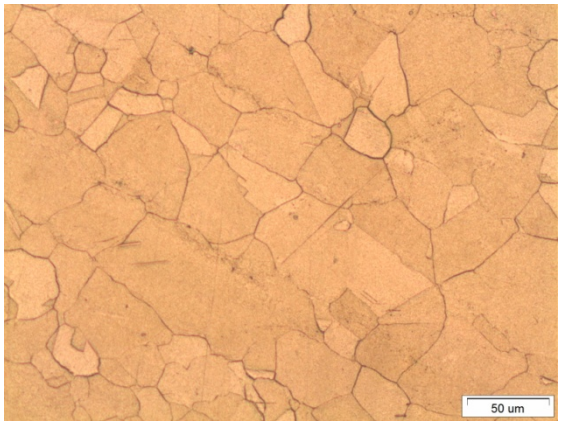
б) Сплав II - PK002S (Alloy B1/2) - 0.50% Sb, 0.005% Sn и 99.49% Pb



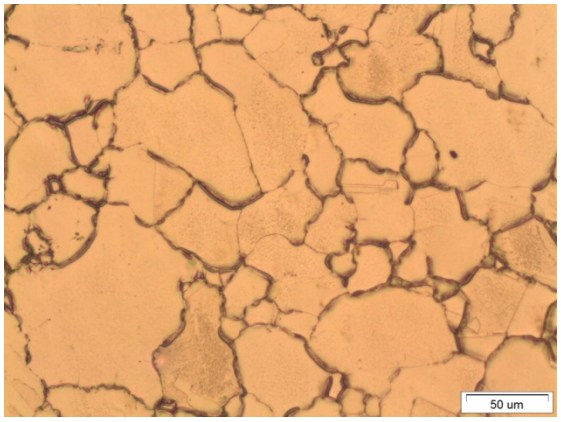
в) Сплав III - PK021S (Alloy E) - 0.20% Sb, 0.40% Sn и 99.40% Pb



г) Сплав IV - PK022S (Alloy EL) 0.10% Sb, 0.40% Sn и 99.50% Pb



д) Сплав V - PK023S (Alloy 1/2E) - 0.10% Sb, 0.20% Sn и 99.70% Pb



е) Сплав X - PbSn1.2 0.003% Sb, 1.20% Sn и 98.80% Pb

Фиг. 3. Микроструктура на легираните с антимон и калай сплави на оловото

Преди финото полиране, с цел премахване на евентуално получил се деформиран слой на повърхността, образците са разядени с разтвор на оцетна киселина и водороден пероксид 30%. Финалното полиране е извършено с водна суспензия на аморфен SiO_2. Процедурата на полиране и разяждане е повторена до получаване на чиста от драскотини повърхност. След последното разяждане повърхността е почистена с концентрирана азотна киселина.

За определяне на твърдостта е използван микротвърдомер Zwick (Германия), с обхват 100 N. Изпитването е проведено при натоварване 10 g с продължителност 10 s, съгласно БДС EN 6507-1:2001. Повърхностите на образците за измерването на микротвърдостта са химически полирани в разтвор на оцетна киселина и водороден пероксид 30% [6]. Измервана е твърдостта на лети и аксиално сплесквани образци при степен на деформация над 50%.

Таблица 1 Резултати от измерване на микротвърдост по Викерс

№	Сплав	Твърдост $HV_{0.01}$ лети заготовки		Твърдост $HV_{0.01}$, 10 мин. след деформиране		Твърдост $HV_{0.01}$, 24 часа след деформиране	
		Средно	Интервал	Средно	Интервал	Средно	Интервал
I	(Unalloyd Pb)	5.39	4.19 – 6.31	5.02	4.19 – 6.16	5.01	3.70 – 6.31
II	PK002S (Alloy B1/2)	6.11	5.29 – 7.45	9.87	8.55 -10.64	6.24	5.80 – 6.80
III	PK021S (Alloy E)	6.45	6.01 – 7.35	7.63	7.07 – 8.32	6.41	5.67 - 7.16
IV	PK022S (Alloy EL)	6.68	5.60 – 7.16	6.25	6.16 – 6.55	6.26	5.94 – 7.07
V	PK023S (Alloy 1/2E)	5.39	4.69 - 5.80	6.00	5.60 – 6.47	5.37	4.69 – 6.47
X	Alloy PbSn1.2	6.64	6.16 – 7.97	6.95	6.16 – 7.76	6.68	5.94 – 7.16

При металографските изследвания на микроструктурата (фиг. 3) е установено, че сплавите от II до V представляват еднофазни α-твърди разтвори на оловото, а при сплав X (въпреки, че е под посочваната максималната разтворимост на оловото по отношение на калая) се наблюдава отделяне на втора фаза по границите на зърната - (α-Pb) + (β-Sn).

Чистото олово (сплав I) и сплавта IV намаляват твърдостта си при аксиално сплескване при стайна температура. Сплавите II, III, V и X увеличават твърдостта си непосредствено след деформирането при температури от около 20°C, но я възстановят в рамките на първоначално измерената, след кратък период от време. Сплав II увеличава силно твърдостта си (около 40%) и е с променена твърдост 24 часа след деформирането.

3.2. Резултати от изпитването

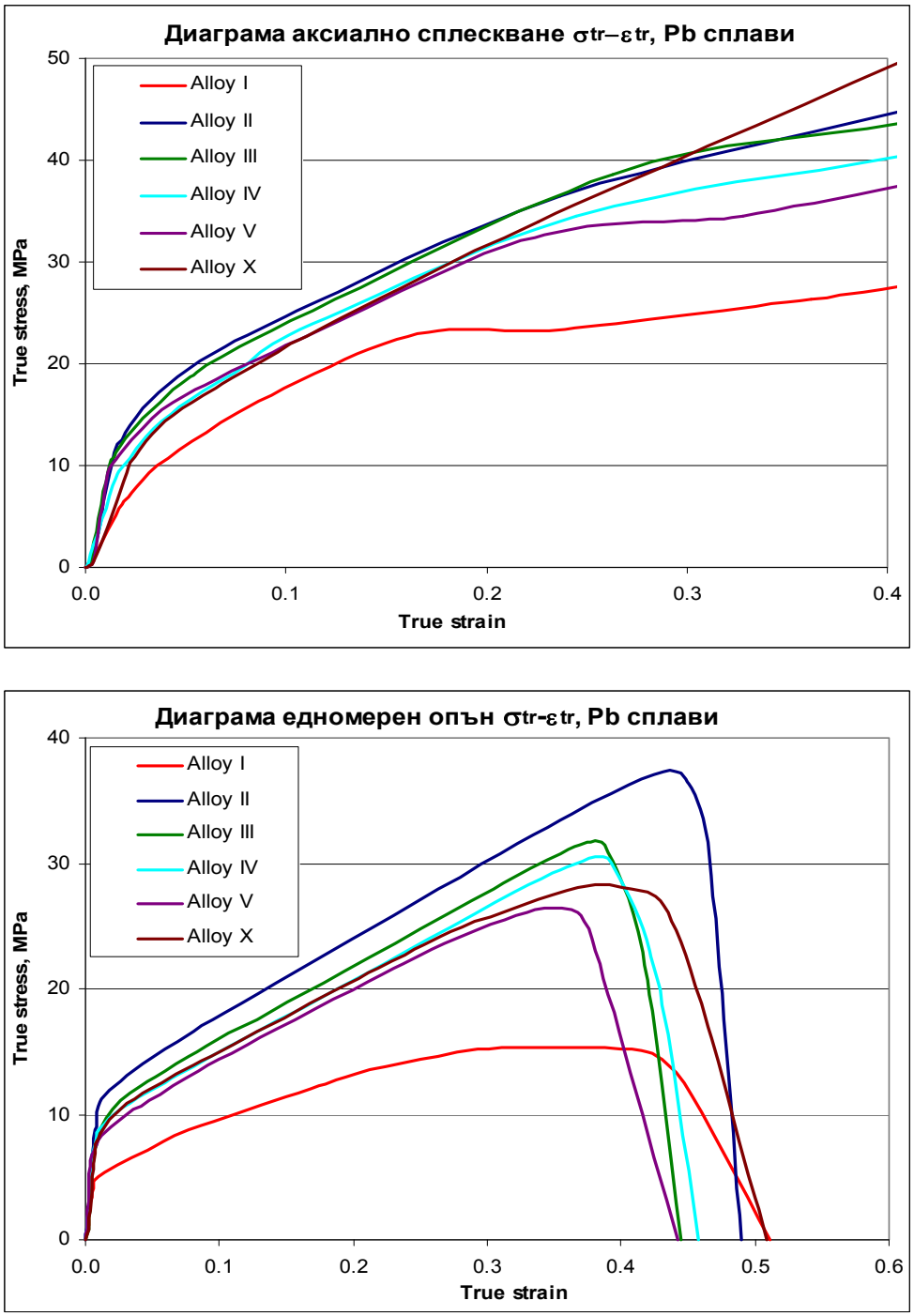
Изпитванията на едномерен опън и аксиално сплескване са извършени при ниска скорост на деформиране - 1 mm/min и натоварване до 500 kgf. Пробните тела на опън и натиск са с еднакви напречни сечения – кръг с диаметър Ø10 mm. Използвана е машина за изпитване на опън-натиск, огъване, малоциклова умора и пукнатиноустойчивост - Instron 1195 (Англия), обхват 100 000 N; клас на точност 0.5, с графично представяне на индикаторните диаграми.

Таблица 2 Резултати от изпитване на аксиално сплескване и едномерен опън

№	Сплав	Аксиално сплескване		Едномерен опън, силови параметри		Едномерен опън, деформ параметри	
		$Rd_{0.2}$, MPa	Rd_{50}, MPa	$Re_{0.2}$, MPa	Rm, MPa	Ag, %	At, %
I	(Unalloyd Pb	6.55	13.78	4.55	14.40	28.36	66.76
II	PK002S (Alloy B1/2)	12.77	22.43	9.13	31.62	38.00	63.20
III	PK021S (Alloy E)	10.30	21.82	7.61	28.75	37.40	56.00
IV	PK022S (Alloy EL)	9.36	20.19	7.59	28.30	39.20	58.00
V	PK023S (Alloy 1/2E)	9.99	18.72	7.08	25.58	30.80	55.60
X	Alloy PbSn1.2	10.29	24.80	7.35	24.86	32.40	66.40

Всички сплави (включително чистото олово) са с ясно изразени зони на равномерна и съсредоточена пластична деформация (фиг. 4).

Сплавите I и X са с най-голяма степен на относително удължение след разрушаване (над 66%) и образуват пластична шийка, която се разрушава с максимално относително свиване след разрушаване (фиг. 5б). Сплавите II, III и IV също претърпяват големи степени на относително удължение след разрушаване (над 55%) и образуват шийка, но се разрушават с образуване на лом.



Фиг. 4. Диаграми за изпитване на пробни образци от оловни сплави

Според проведеното изпитване (таблица 2) с най-ниски якостни показатели и висока пластичност е чистото олово (сплав I): с условна граница граница на провлачане 4.5 (6.5) MPa, якост на опън 14.1 MPa и относително общо удължение 66.7%. Микролегираните оловни сплави III, IV, V и X са с повишени граница на провлачане (7.1 – 7.6 MPa) и якост на опън (24.8 – 28.7) MPa при намалена пластичност за сплави III, IV, V (общо удължение 55.6 -58.0%). В най-високи якостни показатели при запазена пластичност е сплав II: с условна граница на провлачане 9.1 (12.8) MPa, якост на опън 31.6 MPa и относително общо удължение 63.2%.



б) *а)*

Фиг. 5. Пробни и изпитани образци (от нисколегирани оловни сплави I, II, III, IV, V, X): а) едномерен опън (от горе на долу); б) аксиално сплескване (от ляво на дясно).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Сравнени са механичните характеристики и склонността на микролегираните сплави на оловото с антимон и калай към деформационно уякчаване чрез механични изпитвания (аксиално сплескване и едномерен опън) и измерване на микротвърдост.

2 Установено е уякчаване и протичане на рекристализационни процеси след деформиране при стайна температура при микролегираните сплави - α-твърди разтвори на оловото с антимон и калай. Определени са: условната граница на провлачане при аксиално сплескване, условната граница на провлачане при опън, якостта на опън и относителното общо удължение при едномерен опън, промяната и възстановяването на микротвърдостта им след деформиране.

3. Определена е сплав 0.50% Sb, 0.005% Sn и 99.49% Pb (α-твърд разтвор на оловото с антимон), подходяща за физично моделиране на интензивни пластични деформации, с установени повишени якостни показатели и висока пластичност, която силно увеличава механичните си характеристики и твърдостта си след деформиране при стайна температура.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията са финансирани от Национален фонд „Научни изследвания”, България – Договор № 102ни 112-5-2010 на НИС при Технически Университет – София.

Авторите изказват благодарност на техн. Кирил Пашеев и техн. инж. Петър Шумналиев за неоценимата помощ при провеждане на лабораторните експерименти и изпитване.

ЛИТЕРАТУРА

1. Камбуров, В.В. *Физично моделиране на процеси на обемно щамповане с материали на восъчна основа,* „**Юбилейна конференция, МТФ'2007**”, Созопол 14-16 септември, **2007**.

2. Valiev, R.Z., I.V. Alexandrov. *Bulk nanostructured materials obtained by severe plastic deformation,* Moscow, „Logos”, **2000**, 272 p. (in Russian)]

3. Лившиц, Б.Г. *Металлография*, „Металлургия”, Москва, **1971.**

4. Figueredo R.B., A.L. de Moraes Costa, M.S. Adrade, M.T. Aguilar, P.R. Cetlin. *Microstructure and mechanical properties of Pb-4% Sb alloy processed by equal channel angular pressing*, „Materials research”, vol.9, No1, 101-106, **2006.**

5. Бучков Д.Т., М.Й. Кънев. *Материалознание*, „Техника”, София, **2007**, 458 с.;

6. Панченко Е.В. и др., *Лаборатория металлографии*, „Металлургия”, Москва, **1970**.

7. Graham D.J., N.G. Midgley. *Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: An EXCEL spreadsheet method*, “Earth processes and Landforms”, 25, 1473-1477, **2000**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Валентин КАМБУРОВ, гл.ас. д-р инж. Рангел РАНГЕЛОВ
Технически Университет - София
катедра „Материалознание и технология на материалите”,
e-mail: vvk@tu-sofia.bg, rafo@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ABOUT THE PROPERTIES OF SOME NANOSTRUCTURES WITH UNIFORM ELECTRIC FIELD PRESENCE

Anna BOUZEKOVA-PENKOVA

Abstract: *Electron and hole states in semiconductor nanostructures (graded composition quantum wells) exposed to electric field perpendicular to the layers have been calculated as well as the energies of the main optical transitions without and with applying a constant electric field. The quantum wells under study are of linear graded composition profile structures. The aim of this study is the comparison of these quantum wells in the presence of an electric field. A comparison with the experimental data available for these quantum wells has been made.The abstract should be in 10pt Arial, Italic, Justified – not more than 6 lines long, summarising* the work and placing it in an appropriate context.

Key Words: *semiconductor nanostructures, linear quantum wells, constant electric field, quantum confined Stark effect, electronic structure.*

ОТНОСНО СВОЙСТВАТА НА НЯКОИ НАНОСТРУКТУРИ В ПРИСЪСТВИЕТО НА ПОСТОЯННО ЕЛЕКТРИЧНО ПОЛЕ

Анна БУЗЕКОВА-ПЕНКОВА

Резюме: *Пресметнати са електронните и дупчести състояния в полупроводникови наноструктури (квантови ями с променлив химичен състав) при прилагане на надлъжно електрично поле. Пресметнати са и енергиите на основните оптични преходи с и без поле. Целта на работата е да се сравнят пресметнатите квантови ями, които са с еднаква ширина, но с различен наклон на линейния концентрационен профил в присъствието на постоянно електрично поле. Направено е сравнение с наличните експериментални данни за такива квантови ями.*

Ключови думи: *полупроводникови наноструктури, квантови ями с линеен концентрационен профил, постоянно електрично поле, квантово размерен ефект на Щарк, електронна структура*.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Работата е мотивирана от огромния интерес към нанотехнологиите и полупроводниковите наноструктури [1-4]. Полупроводниковите хетероструктури и особено двойните хетероструктури, в това число квантовите ями, жици, и точки, днес са предмет на изследване на две трети от физиците, занимаващи се с полупроводници [1].

Тук ще представим някои пресмятания по метода на силната връзка за единични квантови ями с линеен концентрационен профил в присъствието на постоянно външно електрично поле. Това е особено важно, тъй като много от полупроводниковите устройства, в това число, основаните на квантови ями и свръхрешетки, работят при приложено електрично поле.

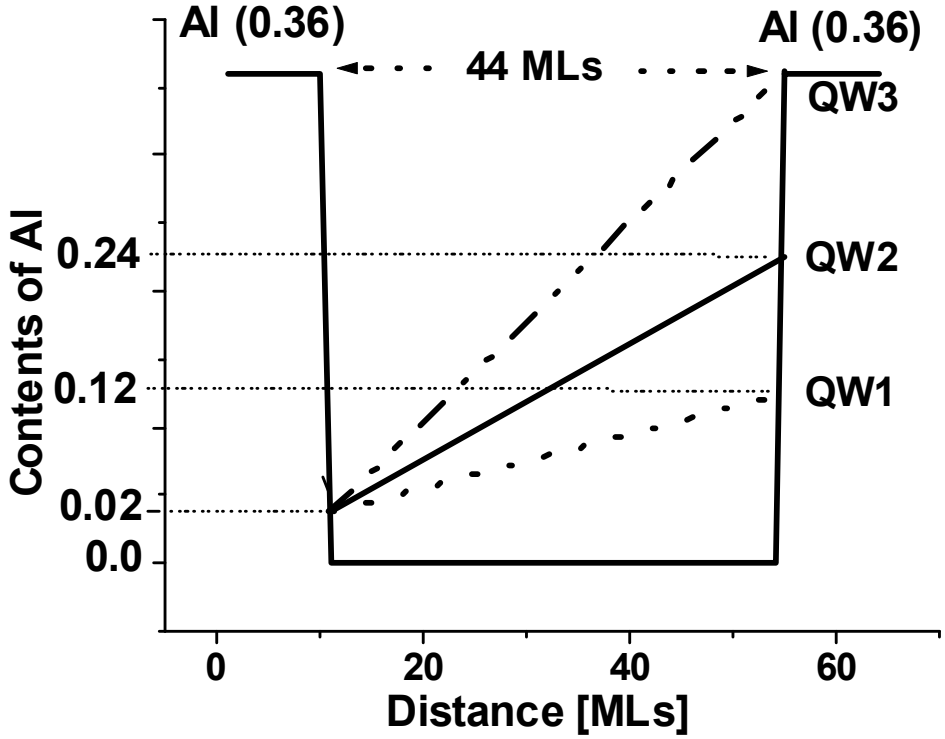
При прилагане на постоянно външно електрично поле перпендикулярно на слоевете на квантовата яма (QW), се проявява ефект, съществено уникален за QWs и свръхрешетки [2]. Този ефект е известен като квантово размерен ефект на Щарк (QCSE) и позволява направата на много и различни уреди, включително оптични модулатори, най-различни оптични логични устройства и други [1-9].

При прилагане електрично поле енергетичните нива в QW се отместват от позициите си, които имат без приложено електрично поле. Това отместване е известно като квантово отместване на Щарк. Или с други думи, отместването на Щарк се състои в намаляване

(което може да е много голямо) на енергията на даден оптичен преход в QW при приложено към нея електрично поле.

2. МОДЕЛ И МЕТОД

В тази работа представяме резултатите от числено пресмятане на единични квантови ями от тип $Al_xGa_{1-x}As$, с линеен концентрационен профил (LQW), при прилагане на постоянно електрично поле перпендикулярно на посоката на интерфейсите [001]. LQWs са с ширина равна на 44 монослоя. Като един монослой е равен на 2.825 x 10^{-10} м. Концентрацията *x* на Al в бариерите $Al_xGa_{1-x}As$ за всички разглеждани ями е постоянна и равна на 0.36. Т.е. всички бариери са полубезкрайни и със състав $Al_{0.36}Ga_{0.64}As$. Концентрацията *x* на Al в областта на самата яма се променя линейно от 0.02 в левия край на ямата до: 0.12, 0.24 и 0.36 в десния край на ямата, съответно за трите разглеждани QWs: QW1, QW2 и QW3, както е показано схематично на Фиг. 1. На Фиг. 1 QWs са показани без приложено електрично поле. Пресмятанията са направени за температура T = 0 K.

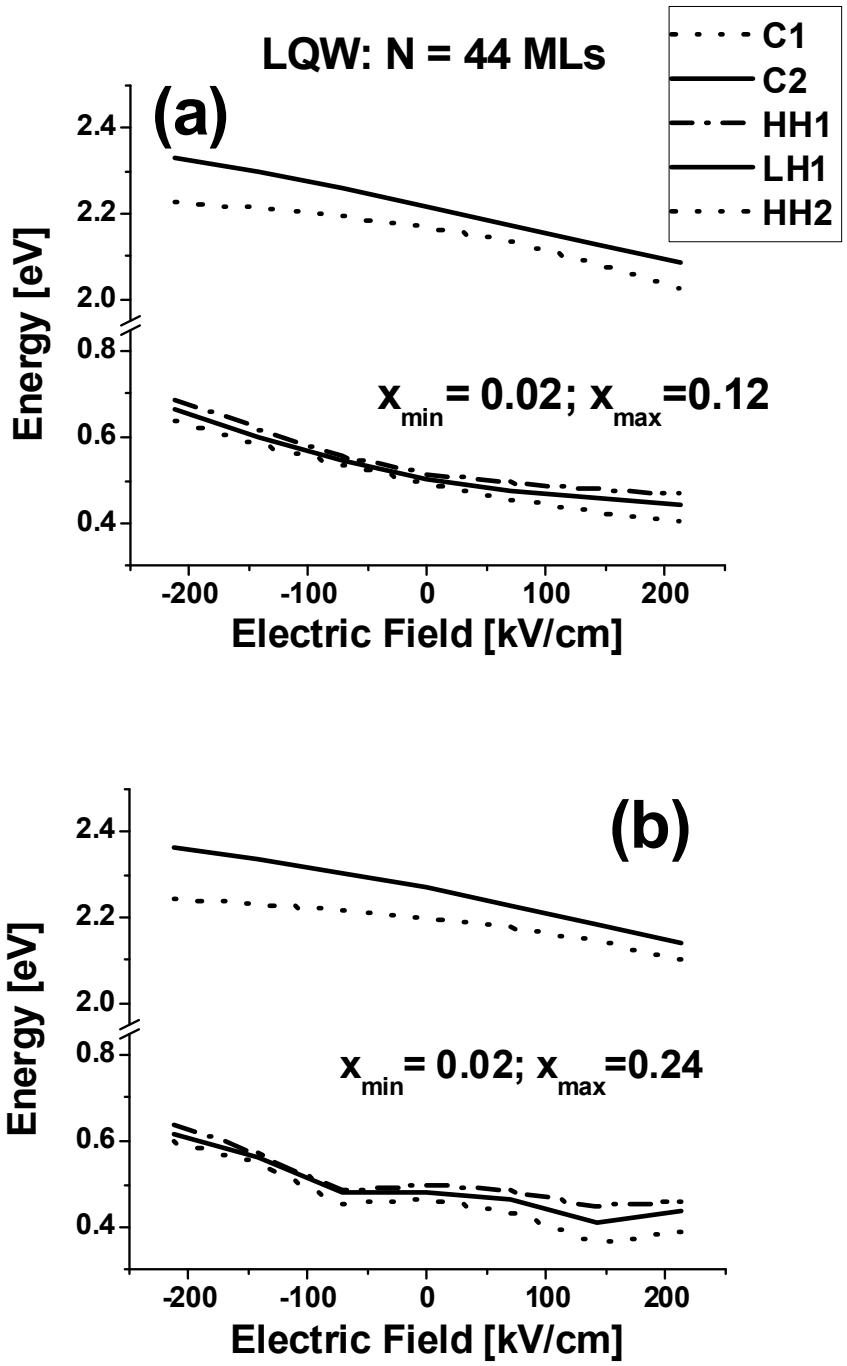


Фиг. 1. Схема на пресмятаните квантови ями. Показани са профила на съдържанието на Al, който съвпада с потенциалния енергетичен профил на квантовите ями

За числените пресмятания сме използвали приближението на силната връзка (TB) и алгоритъма описан в [6]. Той дава възможност да се прилага метода на съшиване с помоща на Гриновите функции на крайна нехомогенна област с полубезкрайни хомогенни области. Освен това позволява реалистични TB пресмятания на електронните състояния в квантови ями с променлив концентрационен профил в присъствие на постоянно електрично поле (*F*). Описваме присъствието на външното постоянно електрично поле перпендикулярно на интерфейсите чрез отместване на диагоналните членове на матрицата на емпиричния хамилтониан на силната връзка по оста на кристален растеж в съгласие с линейното изменение на потенциала. Електричното поле сме прилагали между първия и последния монослой на QW в посока на кристална/ото израстване. В бариерните области във всички QWs електричното поле е равно на нула. Всички QWs са с ширина N = 44 MLs. Навсякъде направлението на кристален растеж е [100].

3. РЕЗУЛТАТИ

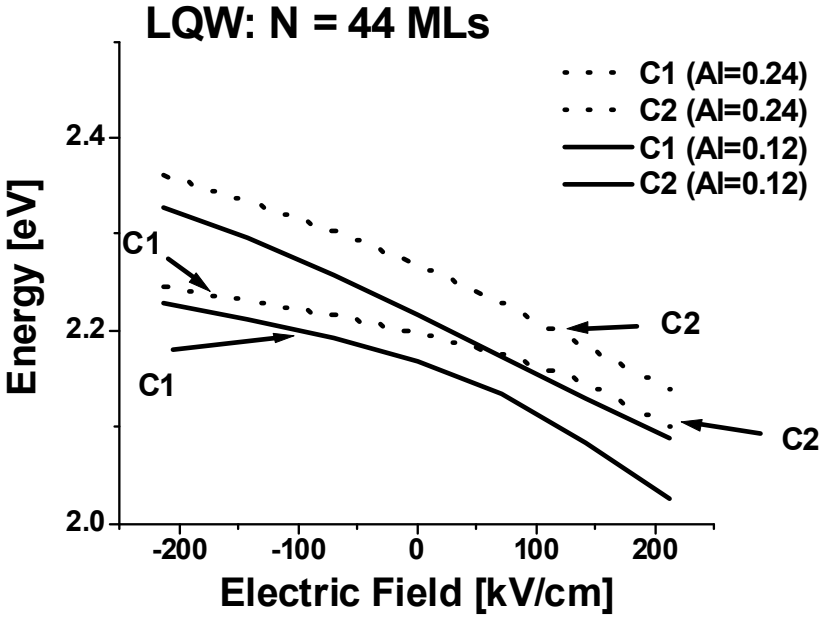
На фиг. 2 са представени получените резултати за две от линейните квантови ями с максимална концентрация на Al = 0.12 (вж. фиг. 2 a) и 0.24 (вж. фиг. 2 b).



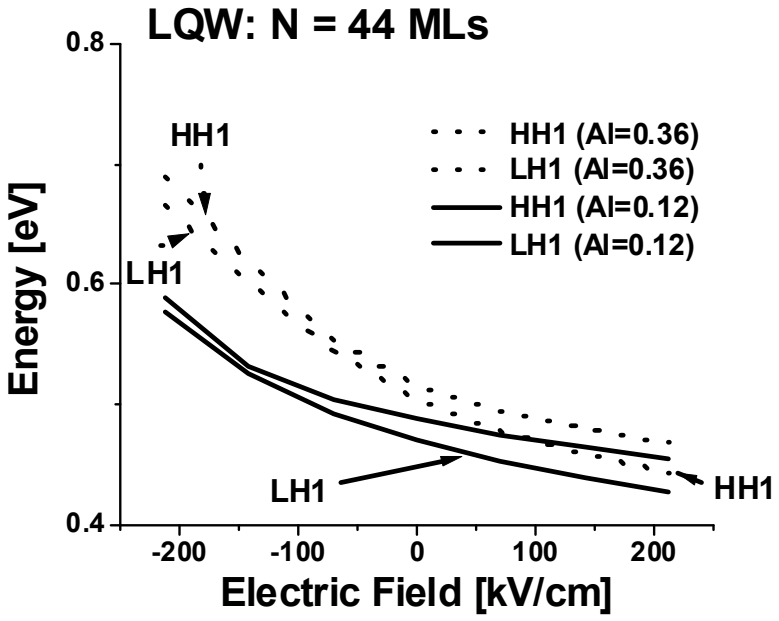
Фиг. 2. Зависимост на основните свързани енергетични нива от приложеното електрично поле за LQWs : (a) QW с максимална концентрация на Al xmax =0.12; (b) QW с максимална концентрация на Al xmax =0.24

На фиг. 3 са представени получените резултати за енергиите в зоната на проводимост на две от линейните квантови ями с максимални концентрации на Al 0.12 и 0.24 (виж означенията на фиг. 3). Забелязваме следната зависимост: колкото по-високо е съдържанието на Al в квантовата ямата, толкова по-висока е стойността на енергията на състоянието в зоната на проводимост в зависимост от приложеното електрично поле.

Горната зависимост е валидна и за енергиите във валентната зона. На фиг. 4 е представена зависимостта на енергиите на първете две състояния HH1и LH1 в зоната на проводимост за две от пресметнатите LQWs, с максимано съдържание на Al = 0.36 и Al = 0.12, в зависимост от приложеното електрично поле.

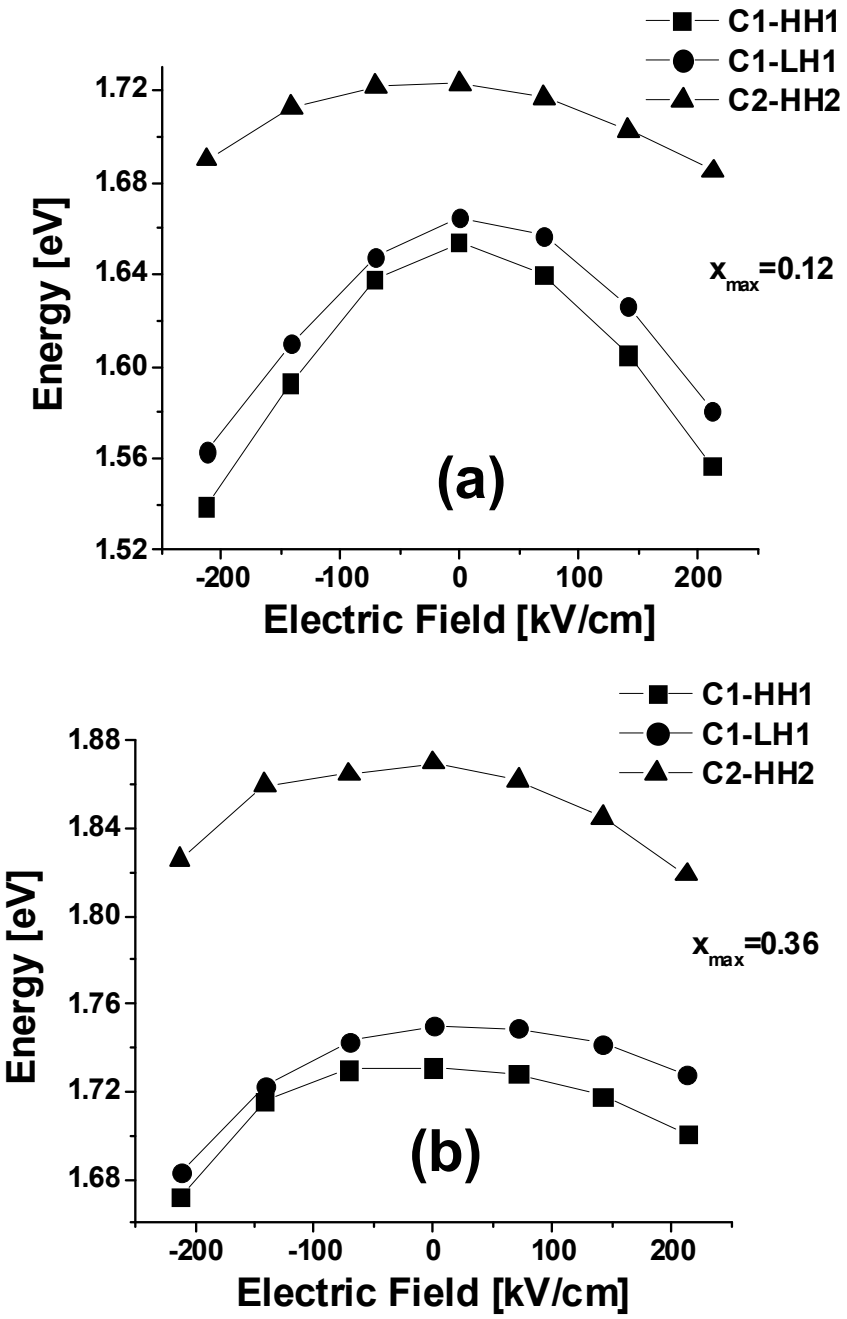


Фиг. 3. Зависимост на основните свързани енергетични нива в зоната на проводимост от приложеното електрично поле за LQWs : QW с максимална концентрация на Al xmax =0.12 – права линия; QW с максимална концентрация на Al xmax =0.24 – прекъсната линия



Фиг. 4. Зависимост на основните свързани енергетични нива (HH1 и LH1) във валентната зона от приложеното електрично поле за LQWs : QW с максимална концентрация на Al xmax =0.12 – права линия; QW с максимална концентрация на Al xmax =0.36 – прекъсната линия

На Фиг. 5 са представени резултатите за пресметнатите стойности на енергиите на основните оптични преходи (C1-HH1) – правоъгълници, (C1-LH1) – кръгчета и (C2-HH2) – триъгълници, в зависимост от приложеното електрично поле за две от пресметнатите квантови ями LQWs, с максимано съдържание на Al = 0.36 (фиг. 5 b) и Al = 0.12 (фиг. 5 a). Както се вижда от представените резултати, и за двете показани QWs, енергиите на основните оптични преходи намаляват с нарастването на интензитета на приложеното постоянно електрично поле. Енергиите на преход са по-големи в LQW, която е с по-голямо съдържание на Al в концентрационния си профил, при прилагането на една и съща стойност на приложеното поле.



Фиг. 5. Зависимост на основните оптични преходи от приложеното електрично поле за LQWs: QW с максимална концентрация на Al xmax =0.12 – (a); QW с максимална концентрация на Al xmax =0.36 – (b). (C1-HH1) – правоъгълници, (C1-LH1) – кръгчета и (C2-HH2) – триъгълници

Т.е. енергиите от Фиг. 5b са по-високи от тези, показани на Фиг. 5a при еднаква стойност на приложеното поле. Ако направим съпоставка с Фиг. 1, то ще заключим, че енергиите на основните оптични преходи са най-големи в QW3 по сравнение с QW1, при еднаква стойност на приложеното поле.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЯ И БЪДЕЩА РАБОТА

Пресметнати са енергиите на основните електронни и дупчести състояния в три типа квантови ями с променлив химичен състав и линеен концентрационен профил без и при прилагане на надлъжно постоянно електрично поле. Пресметнати са и енергиите на основните оптични преходи с и без поле. Направено е сравнение на пресметнатите квантови ями, които са

с еднаква ширина, но с различен наклон на линейния концентрационен профил в присъствието на постоянно електрично поле. При сравнение с наличните експериментални и теоретични данни за правоъгълни QWs с близък състав [5,7], се установява, че правоъгълните квантови ями са по чувствителни към присъствието на надлъжно електрично поле отколкото QWs с линеен концентрационен профил, когато става дума за ями с еднаква ширина, но с различно съдържание на Al.

Числените пресмятания са в ход и за пространствените разпределения на състоянията, което ще позволи да се получи качествена представа за техните интензитети.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодаря на асистент Аделина Митева Митева от ИКСИ – БАН, за ценната помощ и съвети при числените пресмятания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alferov, Z. I., Rev. Mod. Phys., 73, **2001**, 769-782.
2. Bastard, G., Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, **1988**, Les Ulis Cedex: Les Edition de Physique.
3. Di Carlo, A., Semicond. Sci. Technol. 18**, 2003**, R1-R31.
4. Митева, А. *Възможни приборни приложения на някои наноструктури в транспорта*. статия номер № 0438, брой 3, година 2009, извънредно издание с материалите от XIX Международна Научна Конференция "**ТРАНСПОРТ 2009**" 6-7.11.**2009** София, научно списание "Механика Транспорт Комуникации", стр. VIII-16 – VIII-19, **ISSN 1312-3823**, http://www.mtc-aj.com.
5. Vlaev, S.J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio, and V. R. Velasco, Surf. Sci., 424, **1999**, 331-339.
6. Vlaev, S. J., V. R. Velasco, and F. Garcia-Moliner, Phys. Rev. B 49, **1994**, 11222-1229.
7. Vlaev, S.J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio, and V. R. Velasco, Surf. Sci., 424, **1999**, 331-339.
8. Vlae,v S.J., A. M. Miteva, D. A. Contreras-Solorio, and V. R. Velasco, Superlattces Microstruct., 26, **1999**, 325-332.
9. Miteva A. M., S. J. Vlaev, V.T. Donchev, and L. M. Gaggero-Sager, Rev. Mex. Fis. S 53, **2007**, 74-77.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Асистент Анна БУЗЕКОВА-ПЕНКОВА
Институт за Космически и Слънчево-Земни Изследвания – БАН
ул. "Московска", №6
1000 София, България
e-mail: ann_penkova@abv.bg

ЕКОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРИНГ НА ОКОЛНАТА СРЕДА

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

DETERMINATION OF PCB LEVELS IN URBAN SOILS OF SOFIA

Anna DIMITROVA **Alexandar SPASOV**

Abstract: *Polychlorinated biphenyls (PCBs) are highly persistent compounds in the environment and tend to accumulate in many environmental media including soils. These contaminants are bioaccumulated in the food chain and constitute serious health problems to humans and animals. The levels and distribution of PCBs in the environment have not been well studied in Bulgaria in spite of their negative effect on the environment and human health. In this study, soil samples from park Borisova gradina in Sofia were analyzed for indicator and some dioxin-like biphenyls with GC-MS. PCBs were found in all soil samples. The sums of concentrations of indicator-PCBs were in the range 8.6–15 μg kg^{-1}. Small amounts of dioxin-like PCBs also were found (1–3.6 μg kg^{-1}). Indicator-PCB 138, indicator-PCB 153 and dioxin-like PCB 118 were the most abundant in the samples. The most toxic contaminant dioxin-like PCB 126 was in minor concentration (0.1μg kg^{-1}).*

Key words: *Polychlorinated biphenyls (PCBs), soil.*

ОПРЕДЕЛЯНЕ НИВАТА НА СЪДЪРЖАНИЕ НА ПОЛИХЛОРИРАНИ БИФЕНИЛИ В ПРОБИ ПОЧВИ НА ТЕРИОРИЯТА НА СОФИЯ

Анна ДИМИТРОВА **Александър СПАСОВ**

Резюме: *Полихлорираните бифенили (ПХБ) са високоустойчиви органични съединения, които кумулират във всички природни системи, включително и в почви. ПХБ преминават през хранителната верига, като могат да предизвикат сериозни здравни проблеми при хора и животни. Нивата на съдържание и разпределението на ПХБ в проби от околната среда все още не е добре проучено в България, въпреки неблагоприятните последици, които причиняват на природните елементи и човешкото здраве. В настоящото проучване са изследвани проби почва от територията на парк Борисова градина в София за съдържание на индикаторни и диоксиноподобни бифенили. Анализът е извършен с ГХ-МС. ПХБ са определени във всички анализирани проби. Общото количество на индикаторни ПХБ е в границите 8.6–15 μg kg^{-1}. В по-малки количества са измерени и диоксиноподобни ПХБ (1–3.6 μg kg^{-1}). Най-високи нива на концентрации са установени за индикаторните бифенили ПХБ 138 и ПХБ 153 и за диоксиноподобния ПХБ 118. За най-токсичният представител от групата на диоксиноподобните бифенили ПХБ 126 са определени минимални нива на концентрация (0.1μg kg^{-1}).*

Ключови думи: *Полихлорирани бифенили (ПХБ), почви.*

1. INTRODUCTION

Polychlorinated biphenyls (PCBs) are a class of synthetic chlorinated chemicals made up 209 compounds. The PCB congeners consist of a biphenyl with 1 to 10 chlorine atoms distributed around the biphenyl rings. They have similar chemical and physical properties with no taste and odour [1].

The chlorination pattern of the PCBs is important for the toxicity of the substance. A number of PCB congeners show “dioxin-like” toxicity. These PCB have no or only one chlorine atom at the ortho-position. The phenyl rings of these molecules can rotate and can adopt a coplanar structure, which leads to the same toxicity as the polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans. The toxic effects of these substances include immuno- and reproductive toxicity [2]. International Agency for Research on Cancer (IARC) classifies PCBs as probably carcinogenic to humans - 2A group [3].

A number of PCBs, however, have two or more of the ortho-positions in the biphenyl molecule occupied. For these, the two phenyl rings are not in the same plane and these PCBs express toxicity which is non-dioxin-like. They act on the central nervous system [2].

Mixtures of the non-dioxin-like PCBs are generally assessed by means of chemical analysis of the six so-called “indicator PCBs”; these were selected as suitable representatives for all PCBs because they are predominantly present in environmental matrices [2].

The widespread historical use of polychlorinated biphenyls in a variety of industrial applications along with their remarkable thermal and chemical stability, high boiling point and electrical insulating properties have made them ubiquitous hazardous contaminants in the environment [4].

Dry and wet atmospheric deposition constitutes the main input of PCBs to soil [5]. They are transported in the atmosphere at over short and long distances in both gaseous and particulate forms. Because of their persistence and hydrophobicity, these omnipresent compounds accumulate in soils where they are likely to be retained for many years. Consequently, soils are an important reservoir for these compounds [6, 7].

Contamination of soils with PCBs has often resulted from the manufacture, handling, use and disposal of these chemicals. Now their production is stopped and their application – banned because of evidence on their hazardous effect on the environment. Nowadays the major source of PCBs into the environment is incineration activities and incorrect storage of PCBs contain old equipment [8]. To our study there is lack of data about the levels of PCB in Bulgarian soils in spite of their negative effect on the environment and human health.

The aim of this work was to determine the levels of indicator PCBs (28, 52, 101, 138, 153, 180) and some dioxin-like PCBs (77, 105, 118, 126, 156, 169) in soils from Park Borisova gradina in Sofia and to determine TEQ contributions of dioxin-like PCBs to the total toxic endorsed equivalents (TEQ).

2. MATERIALS AND METHODS

1. Park Borisova gradina

Park Borisova gradina is situated in the centre of city Sofia. It occupies 90.5 ha on the territory of Sofia. The study area is located in the park.

2. Materials

Acetone and n-hexane were of analytical grade quality (Merck, Darmstadt, Germany). Anhydrous sodium sulfate and silica gel (70-230 mesh ASTM) for analysis were also from Merck. Cellulose extraction thimbles were from Whatman Ltd (Maidstone, England). Cellulose thimbles were cleaned by Soxhlet extraction with dichloromethane before analysis. Standard solutions of PCB 30, PCB 204 and MIX 20 (mixture of fifteen PCB congeners) were from Dr Ehrenstorfer (Augsburg, Germany).

3. Sample collection

Soil samples were collected in accordance with ISO 10381-1 and Bulgarian State Standard 17.4.5.01. Samples were collected using the “envelope” method: five individual subsamples (four along the boundaries and one in the center) were taken from the top 10 cm of soil over a 50 m^2 area typical for the site. Subsamples were combined and carefully homogenized and then an average sample weight of approximately 0.3 kg was taken. Sample collection was made in the park centre in all directions in spring of 2008 year.

4. Sample preparation and Extraction

The soil samples were air dried ground and sieved through a 0.2 mm sieve before extraction. Soil samples were weighed into Whatman Soxhlet cellulose thimbles, spiked with PCB 30 and PCB 204, covered with anhydrous sodium sulfate and extracted by Soxhlet technique for 18 h with acetone: hexane (1:1). All extracts were concentrated by rotary vacuum evaporator to 1 mL. The concentrated organic extracts were cleaned with an acid-base-silica column filled with (from top to bottom) silica, sulphuric acid/silica, silica, sodium hydroxide/silica, silica. PCBs were eluted with 50 mL hexane. Elution solvents were concentrated to 1 mL in hexane after rotary vacuum and nitrogen stream evaporation.

5. Instrumental analysis

The analysis was performed with Hewlett Packard Model 5890 Series II PLUS gas chromatograph equipped with Hewlett Packard 5972 Mass Selective Detector (GC/MS). A HP-5 fused silica capillary column (30 m length, 0.25 mm i.d., 0.25 μm film thickness) coated with 5% phenyl–95% methylpolysiloxane was used for the analysis.

The temperature program started at 120°C (holding time 1 min), increased to 190°C at 20°C min^{-1}, increased to 230°C at 5°C min^{-1} and finally to 300°C at 25°C min^{-1} (holding time 10 min). Injector and detector temperatures were 280°C and 300°C, respectively. Helium was used as carrier gas at a constant flow rate of 0.8 mL min^{-1}. Injection was performed in splitless mode.

The mass spectrometer was operated in electron impact ionization (EI) positive-mode using automatic gain control. The storage window was set between *m/z* 200 and *m/z* 500 and selected ion monitoring (SIM). The scan time during data acquisition was set at 1.0 s with four microscans per second. Quantification of the target compounds was performed by monitoring of the characteristic ions

m/z 258, 292, 326, 362, 396 and 430. These ions were selected considering the parent ions of the group of PCBs present in MIX 20.

Table 1 Concentration of PCBs in soil samples (μg kg^{-1} dry wt. ± SD; each value is mean of two measurements)

IUPAC No.	Soil 1	Soil 2	Soil 3	Soil 4	Soil 5	Soil 6	Soil 7	Soil 8	Soil 9	Average for Soils 1–9	RSD (%) n = 9	Recovery (%)
I-PCB 28	1.4	1.4	1.1	2.8	0.8	1.8	1.8	1.9	2.5	1.8 ± 0.16	8.8	90
I-PCB 52	0.6	0.6	0.9	1.1	0.8	0.7	0.3	0.5	0.3	0.7 ± 0.09	12.9	83
I-PCB 101	1.1	1.1	2.6	1.4	1.4	0.9	1.2	0.8	1.2	1.3 ± 0.11	8.4	89
I-PCB 128	0.4	0.4	0.7	0.6	0.2	0.5	0.4	0.3	0.5	0.5 ± 0.05	10	87
I-PCB 138	2.6	2.5	3.1	3.4	2.1	1.4	2.9	2.0	3.3	2.6 ± 0.18	6.9	93
I-PCB 153	1.9	1.9	1.9	2.5	1.7	0.8	2.1	1.4	2.1	1.8 ± 0.14	7.8	88
I-PCB 170	0.9	0.9	0.7	1.3	0.7	1.0	1.1	0.7	1.0	0.9 ± 0.08	8.9	94
I-PCB 180	1.2	1.5	0.8	1.9	1.6	1.6	1.8	1.1	0.4	1.3 ± 0.11	8.5	88
Σ I-PCBs	10.1	10.3	11.9	15.0	9.2	8.6	11.7	8.6	11.1	10.7		
dl-PCB 77	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	1.3	0.3 ± 0.02	6.7	93
dl-PCB 105	0.2	0.3	0.9	0.4	0.2	0.3	0.3	1.2	0.3	0.5 ± 0.04	8	90
dl-PCB 118	0.6	0.6	2.1	0.6	0.3	0.5	0.7	1.4	0.7	0.8 ± 0.04	5	92
dl-PCB 126	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1 ± 0.02	20	83
dl-PCB 156	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3 ± 0.02	6.7	89
dl-PCB 169	0.1	0.3	0.2	0.6	0.2	0.3	0.5	0.5	0.2	0.3 ± 0.02	6.7	90
Σ dl-PCBs	1.2	1.4	3.6	2.2	1.0	1.6	2.2	3.1	3.1	2.2		
Total PCBs	11.3	11.7	15.5	17.2	10.2	10.2	14.0	11.7	14.2	12.9		

Calibration was performed by injections of standard solution of MIX 20 at 7 calibration levels (0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 and 1 μg mL^{-1}). For all the investigated PCBs no peaks areas in the blanks were found and the limit of detection was defined as the concentration giving a signal-to-noise ratio of 3 (LOD = 0.1 μg kg^{-1}). Linearity was investigated within the range between: 0.01–1 μg mL^{-1} and the R^2 values were found to be between 0.992 and 0.999.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the analytical chemical analysis are summarized in Table 1 for each of the PCBs categories – indicator-PCBs (I-PCBs) and dioxin-like PCBs (dl-PCBs).

It was found that the concentration of total PCBs (sum of indicator-PCBs and dioxin-like PCBs) in all samples were similar. The levels ranged between 10.2 μg kg^{-1} and 17.2 μg kg^{-1} (Table1).

Indicator-PCBs dominated in soil samples (Fig.2). The sum of concentrations of indicator-PCBs in soil samples ranged from 8.6 μg kg^{-1} to 15 μg kg^{-1} (Table1). From those indicator PCBs, the hexachlorinated PCB 138 and PCB 153 were most abundant in soil samples (Fig.3). The results from Wilcke and Zech [9] have demonstrated that hexachlorinated PCBs are also most abundant in urban industrial soils. The concentrations of indicator PCBs found in this study are below the maximum admissible concentrations (MAC) of 0.2 mg kg^{-1} in soils according to the Bulgarian Legislation [10].

The range of PCB concentrations found in our study was lower than that reported for soils from industrial areas of Austria (6.4–95 μg kg^{-1}) [11] and Poland (4.6–3400 μg kg^{-1}) [12]. In Romania, Covaci et al. [13] found average contents of 57.3 and 722 μg kg^{-1} (sum of 9 PCBs) for urban and industrial sities, respectively. Notarianni et al. [14] reported an average value of 25 μg kg^{-1} for urban sities in northern Italy.

Concentration of dioxin-like PCBs in soil samples ranged from 1 to 3.6 μg kg^{-1} (Table 1). The dl-PCB 118 was in major concentration and dl-PCB 126 and dl-PCB 156 were in minor concentrations (Fig. 3). Still in Bulgarian legislation there are no maximum limits for dl-PCBs in soils in spite of their higher toxicity compared to the I-PCBs.

Toxicity of dioxin-like PCBs is expressed in toxic equivalents (TEQ). The levels of dioxin-like PCBs were converted to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin equivalents - TEQ (Table 2). This dioxin is the most toxic and has TEF = 1 [15]. TEQ is the product of the concentration of individual dioxin-like PCB in a sample and toxicity equivalence factor (TEF) for that compound, as defined by the World Health Organization (WHO).

$TEQ = TEF_{congener} \times concentration_{congener}$;

$\Sigma\ TEQs = \Sigma\ (TEF_1 \times concentration_1 + \ldots\ TEF_n \times concentration_n)$

The TEQ of dioxin-like PCBs in soil samples from park Borisova gradina are in the range from 0.005 to 0.023 μg kg^{-1}. To this study there are no TEQ data determined of samples from parks and pristine areas.

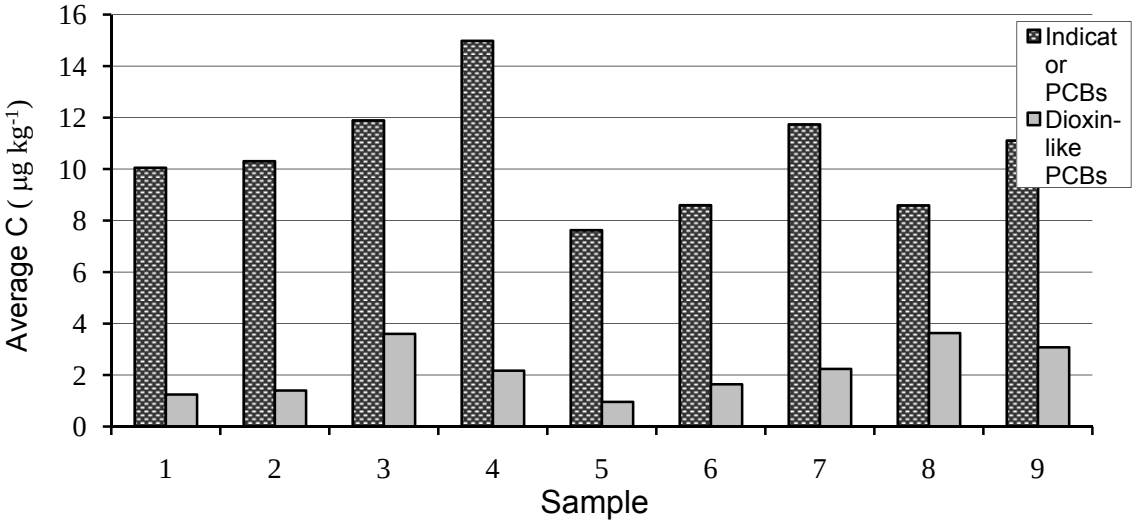


Fig. 1. Comparison between concentration of indicator PCBs and dioxin-like PCBs

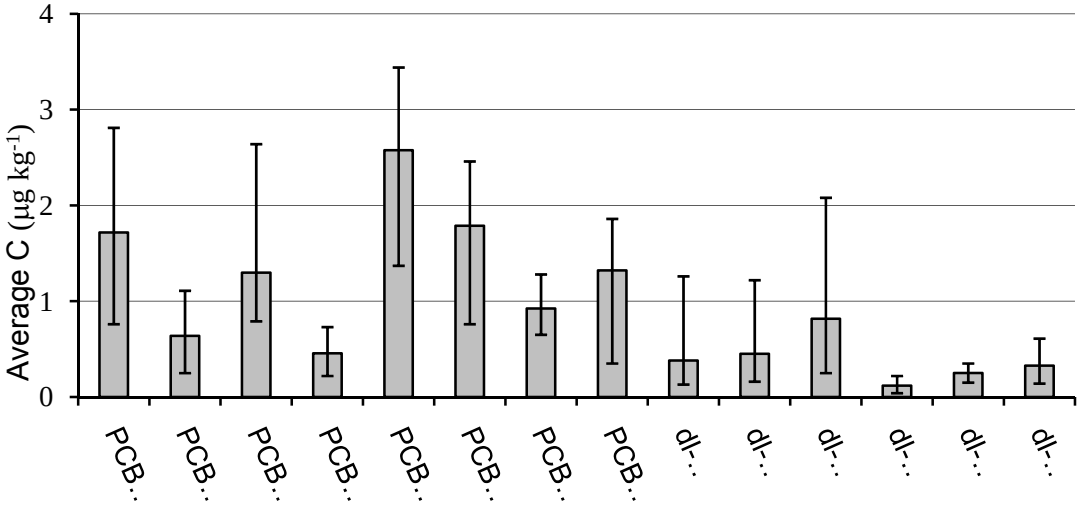


Fig. 2. Average PCB congener profiles of Soils 1–9 from park area (error bars indicating min. and max. concentrations)

Table 2 TEQ values of dioxin-like PCBs in soil samples (μg kg^{-1})

dl-PCBs	*dl-PCBs 77*	*dl-PCBs105*	*dl-PCBs118*	*dl-PCBs126*	*dl-PCBs156*	*dl-PCBs169*	*Σ TEQ*
I-TEF	*0.0005*	*0.0001*	*0.0001*	*0.1*	*0.0005*	*0.001*	---
Soil 1	*0*	$0.23.10^{-4}$	$0.55.10^{-4}$	$0.9.10^{-2}$	$0.12.10^{-3}$	$0.14.10^{-3}$	$0.93.10^{-2}$
Soil 2	*0*	$0.25.10^{-4}$	$0.55.10^{-4}$	$1.1.10^{-2}$	$0.11.10^{-3}$	$0.27.10^{-3}$	$1.14.10^{-2}$
Soil 3	*0*	$0.95.10^{-4}$	$0.21.10^{-3}$	$1.3.10^{-2}$	$0.14.10^{-3}$	$0.17.10^{-3}$	$1.36.10^{-2}$
Soil 4	$0.80.10^{-4}$	$0.35.10^{-4}$	$0.61.10^{-4}$	$1.5.10^{-2}$	$0.15.10^{-3}$	$0.61.10^{-3}$	$1.59.10^{-2}$
Soil 5	$0.65.10^{-4}$	$0.16.10^{-4}$	$0.25.10^{-4}$	$0.8.10^{-2}$	$0.75.10^{-4}$	$0.19.10^{-3}$	$0.83.10^{-2}$
Soil 6	$0.90.10^{-4}$	$0.25.10^{-4}$	$0.52.10^{-4}$	$1.10.10^{-2}$	$0.14.10^{-3}$	$0.31.10^{-3}$	$1.16.10^{-2}$
Soil 7	$0.16.10^{-3}$	$0.32.10^{-4}$	$0.68.10^{-4}$	$1.3.10^{-2}$	$0.15.10^{-3}$	$0.51.10^{-3}$	$1.39.10^{-2}$
Soil 8	$0.12.10^{-3}$	$0.12.10^{-3}$	$0.14.10^{-3}$	$0.4.10^{-2}$	$0.95.10^{-4}$	$0.52.10^{-3}$	$0.49.10^{-2}$
Soil 9	$0.63.10^{-3}$	$0.33.10^{-4}$	$0.69.10^{-4}$	$2.2.10^{-2}$	$0.18.10^{-3}$	$0.23.10^{-3}$	$2.31.10^{-2}$

4. CONCLUSION

The present initial study has provided the first data on the levels of indicator and some dioxin-like PCBs in urban soils of Sofia. The results indicated that PCBs are presented in all soil samples. The levels of PCBs in samples from Park Borisova gradina are below the maximum admissible concentrations of the Bulgarian Legislation. The high chlorinated biphenyls (hexa- and hepta-CBs) are predominated in the samples. The probable reason is that low chlorinated biphenyls are more volatile while the high chlorinated congeners are more adsorbed to soil particles. This study revealed that the concentrations of dioxin-like PCBs were lower than those of indicator PCBs. However, the dioxin-like PCBs should be closely monitored in the environmental compartments because of their higher toxicity.

REFERENCES

1. World Health Organization, Environmental Health Criteria 140: *Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls* (Second ed.), Geneva, **1993**, 21-24.
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, *Toxicological Profile for Polychlorinated Biphenyls* (Update), US Public Health Service, Atlanta, GA, USA, **2000**, 15-25.
3. WHO, International Agency for Research on Cancer, Lyon, *Evaluation of the Carcinogenic Risk to Humans*. Suppl. 7, 1987, 1-42.
4. Sedlak D., A. Andrean. *Environ. Sci. Technol.*, 25, **1991**, 1419-1427.
5. Tremolada P., V. Burnett, D. Calamari, K. Jones. *Environ. Sci. Technol.*, 30, **1996**, 3570-3577.
6. Harrad S., A. Sewart, R. Alcock, R. Boumphrey, V. Burnett, R. Duarte-Davidson, C. Halsall, G. Sanders, K. Waterhouse, S. Wild, K. Jones. *Environmental Pollution*, 85, **1994**, 131-146.
7. Ockenden W.A., K. Breivik, S. Meijer, E. Steinnes, A. Sweetman, K. Jones. *Environmental Pollution*, 121, **2003**, 75-80.
8. Sog X., A. Hase, A. Laukkarinen, S. Salonen, E. Hakala. *Chemosphere*, 24, **1992**, 249-259.
9. Wilcke W., W. Zech. Z. Pflanzenernahr. Bodenk., 161, **1998**, 289-295.
10. Regulation Number 3 *Concerning Limit Values of Hazardous Substances in Soil*; State Gazette, Sofia, No. 71/2008.
11. Weiss P., A. Riss, E. Gschmeidler, H. Schentz. *Chemosphere*, 29, **1994**, 2223-2236.
12. Falanysz J., B. Brudnowska, M. Kawano, T. Wakimoto. *Environ. Contam. Toxicol.*, 40, **2001**, 173-178.
13. Covaci A., C. Hura, P. Schepens. Sci. Total Environ., 280, **2001**, 143-152.
14. Notarianni V., M. Calliera, P. Tremolada, A. Finizio, M. Vighi. *Chemosphere*, 37, **1998**, 2839-2845.
15. Van der Berg M., L. Birnbaum, A. Bosveld, B. Brunstrom, Ph. Feeley, J. Giesy, A. Hanberg, R. Hasegawa, S. Kennedy, T. Kubiak, J. Larsen, F. Van Leeuwen, A. Liem, C. Nolt, R. Peterson, L. Poellinger, S. Safe, D. Schrenk, D. Tillit, M. Tysklind, M. Younes, F. Waern, T. Zacharewski. *Environ. Health Perspect.*, 106, **1998**, 775-792.

CORRESPONDENCE

Assistant Professor Anna DIMITROVA, PhD
Technical University of Sofia
Faculty of Machine Technology
Department of Materials Science and Technology
8 “St.Kl. Ohridski” Blvd.
1797 Sofia, Bulgaria
e-mail: a_dimitrova@tu-sofia.bg

Associate Professor Alexandar SPASOV, PhD
Laborex LTD., Sofia, Bulgaria

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕМИСИЯТА НА ШУМ ПРИ ОТРЯЗВАНЕ НА ЗАГОТОВКИ ЗА ДОГРАМА С ЦИРКУЛЯР В ПРОИЗВОДСТВЕНИ УСЛОВИЯ

Гергана ТОШЕВСКА **Николай АНГЕЛОВ**

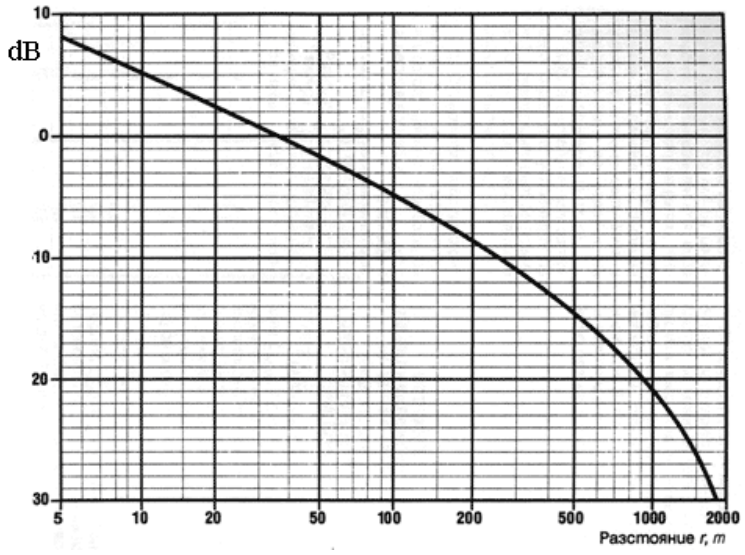
Резюме: *В работата се правят изследвания, свързани с определяне на стойностите на звуковото налягане, измерено в dB при операцията отрязване на заготовки за дограма от дуралуминий и PVC с помощта на циркуляр в зависимост от разстоянието между източника и апаратурата за измерване на равнището на шум.*

Ключови думи: *шум, апаратура за измерване на равнището на шум, рязане с циркуляр, заготовки от дуралуминий и PVC.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Шумът е специфичен вид механична вълнова енергия с определен интензитет, с широк и нерегулярен честотен спектър, който се разпространява в околната въздушна среда и над един праг на звуковото налягане се възприема дразнещо от слуховите органи на човека. Шумът няма вида на правилна синусоида или комбинация от множество синусоиди, характерни за звука и за звуковия спектър, излъчвани от музикалните инструменти, които човекът възприема като единичен звук или като акорд с определена височина и интензитет. Интензитетът на шума, както и този на звука, се измерват като звуково налягане в dB с помощта на специализирана измерваща апаратура, включваща в себе си еталонен микрофон, усилвател и регистриращ уред. За долна санитарна граница на шума е приета стойността от 70 dB, над която се смята, че шумът е вреден [1, 2], а за горна граница, предизвикваща силна болка в главата – 130 dB.

Според [2] нелинейното затихване на интензитета на шума (***I***) в зависимост от разстоянието (***L***) може да се илюстрира с формулата ***I=15,8-10.lg.L-0,0142.L*** , dB или с помощта на графиката, показана на фиг.1.



Фиг.1. Затихване на шума в зависимост от разстоянието до източника според [1]

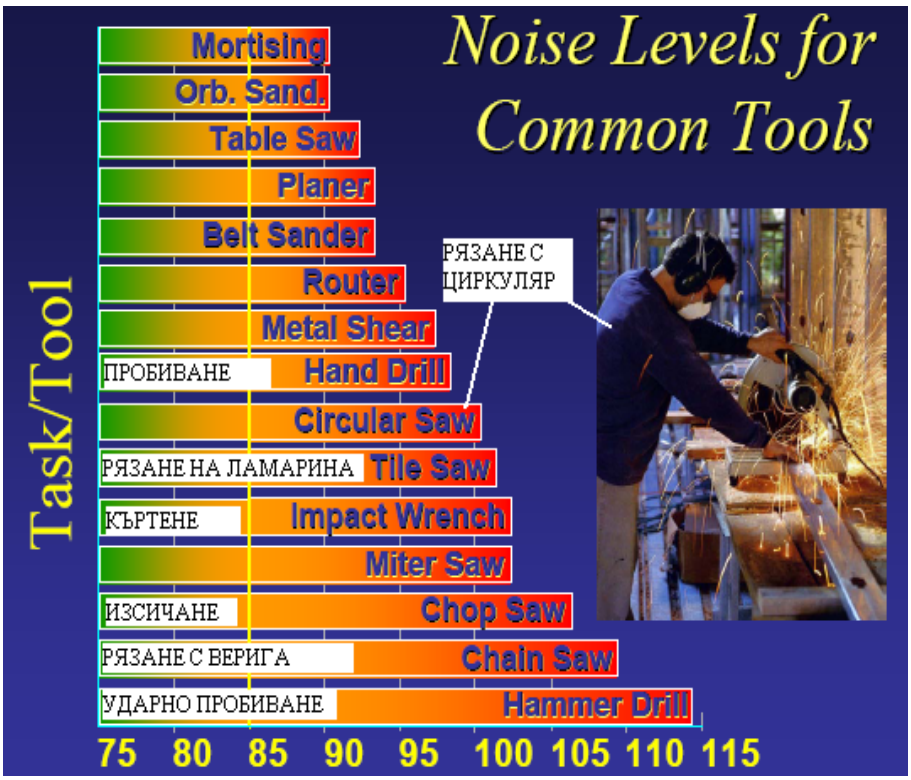
В множество разработки се привеждат резултати от направени изследвания на интензитета на шума, генериращ се от рязането на редица ръчни електромашини.

Например в работата [4] се привеждат конкретни стойности, илюстрирани на фиг.2. Вижда се, че в сравнителен план ударното пробиване на отвори в крехки материали води до емисия с най-високи стойности (113 dB) на интензитета на шума.

С намаляващи стойности следват процесите: рязане с режеща верига (106 dB), изсичане със секач (105 dB), къртене с пробой и абразивно рязане на ламарина с абразивен диск (100 dB) и с циркуляр (99 dB), рязане на алуминиеви или на стоманени профили с циркуляр (98 dB) и т.н.

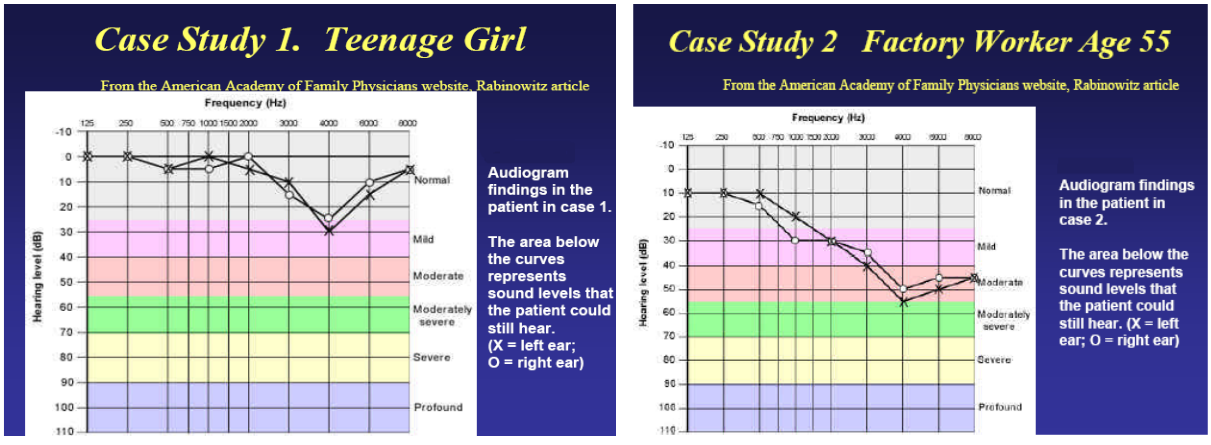
Препоръчва се при равнище на интензитета на шума, надвишаващо налягане от 75 dB, да се използват персонални вътрешни шумозаглушители (антифони), а при стойности на звуковото налягане над 105 dB, да се прилагат външни, както и двойноограничаващи (вътрешни и външни) шума антифони.

В работата [4] се публикуват и данни за връзката между продължителното въздействие на шума върху работниците и степента на загубата на слух. Констатира се, че при продължително шумово натоварване с повече от 95 dB е налице 29% риск от загуба на слуха, при 85dB - 15% и при 80 dB – 3%. Очевидно е, че връзката е нелинейна. Освен това се привеждат данни от проведени изследвания на слуха върху хора с разли-на възраст и постоянен статус на своите занимания.



Фиг. 2. Сравнителна диаграма на средните стойности на звуковото налягане при различни процеси на ръчно обработване [4]

Последователно на фиг.3 са показани зависимости за слуховата чувствителност на младо момиче, натоварено с продължителна емисия на шум (под 85 dB) и на фабричен работник на възраст 55 г., подложен на продължително въздействие със стойности над 85 dB.



а) ***б)***

Фиг.3. Диаграма на чувствителността на слуха при младо момиче (а) и при фабричен работник (б), подложени на продължително шумово въздействие [4]

2. СЪЩНОСТ НА РАЗРАБОТКАТА

В условията на предприятието “СИЯНИЕ М” ООД, София бяха проведени изследвания, свързани с установяване на връзката между налягането на шума, измерено в dB от една страна и от друга – разстоянието до зоната на рязане с циркуляр на дуралуминиеви и PVC-заготовки, осъществено върху специализирана машина (фиг.4-а) с ръчно подаване.





а) ***б)***

Фиг.4. Машина за отрязване на заготовки (а) и шумомер V&A (б).

За провеждане на измерванията беше използван шумомер (фиг.4-б), марка V&A [5] със следните данни: диапазон на измервано двуково налягане 30÷130dB ± 2dB; честотен диапазон 30Hz÷8 kHz; резолюция 0,1 dB; времеизмерване 2 s; LCD дисплей 31/2 с осветяване; интерфейс RS232; захранване батерии 4 x 1,5; памет 16000 записа; индикация за изтощена батерия (мин., макс.); автоматично изключване след 10 s.

На фиг.5 са показани вътрешни персонални антифони [3] за еднократна употреба, които поединично при настоящето изследване и при съответното измерване, се закрепваха пред микрофона на уреда с помощта на залепваща лента.



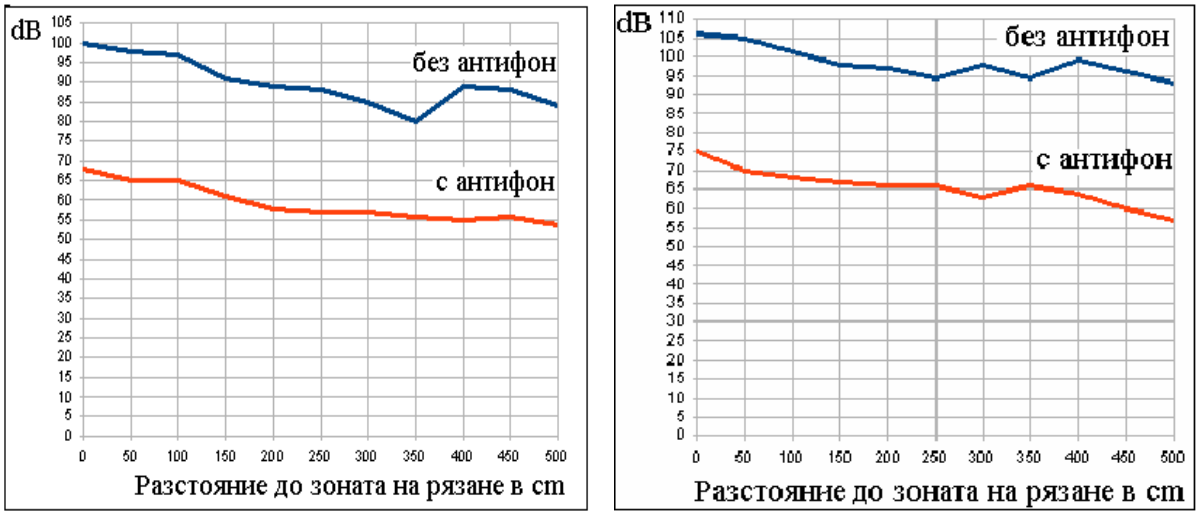
Фиг.5. Вътрешни антифони [3]

В следващата таблица №1 са отразени стойностите, получени от измервания на звуковото налягане в зависимост от разстоянието до източника – зоната на рязане. Проведени са по две серии за всеки вид заготовка и по две серии **с** и **без** използването на вътрешен антифон.

Таблица 1

При рязане върху PVC заготовки			**При рязане върху дуралуминиеви заготовки**		
Разстояние от зоната на рязане в cm	**Налягане на шума в dB без антифон**	**Налягане на шума в dB с антифон**	**Разстояние от зоната на рязане в cm**	**Налягане на шума в dB без антифон**	**Налягане на шума в dB с антифон**
0	100	68	0	106	75
50	98	65	50	105	70
100	97	65	100	101	68
150	91	61	150	98	67
200	89	58	200	97	66
250	88	57	250	94	66
300	85	57	300	98	63
350	80	56	350	94	66
400	89	55	400	99	64
450	88	56	450	96	60
500	84	54	500	93	57

На фиг.6 са показани в графичен вид същите резултати.



а) *б)*

Фиг.6. Графики на зависимостите звуково налягане-разстояние до източника на шум при рязане с циркуляр върху PVC (а) и дуралуминиеви (б) заготовки.

Очевидно е, че стойностите на звуковото налягане на шума, предизвикан от отрязването на заготовките от дуралуминий са с 5 dB по-високи, в сравнение с тези при отрязването на PVC-заготовките.

Забелязва, че зависимостите от фиг.6 нямат ясно изразен нелинеен характер. Това може да се обясни с факта, че измерваните дистанции от източника на шума са относително малки в сравнение с тези от фиг.1 и освен това измерваните налягания на шума са получавани в затворено помещение, където може да се предположи, че стените на помещението оказват ролята на отразяващи екрани и е налице интерференчна картина за звуковите вълни.

От графичните изображения на фиг.6 се вижда, че при използването на вътрешни антифони се постига намаляване на равнището на шума с ~30 dB в целия диапазон на дистанцията от зоната на рязане до микрофона на уреда, който може да бъде смятан като слуховия орган на работника, намиращ се на съответното работно място в цеха.

С изключение на първата стойност от поредицата стойности в таблицата със звуковите налягания, предизвикани от операцията отрязване с циркуляр върху дуралуминиевите заготовки, всички останали стойности, при използването на вътрешен антифон, са под санитарната норма.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направеното изследване се налага изводът, че при експлоатацията на ръчните отрязващи електромашини оборудвани с циркуляри, използвани масово у нас в рамките на технологията за производството на дограма от пластмасови и дуралуминиеви профили-заготовки, равнището на шум надвишава в значителна степен санитарните норми. На практика работниците, които работят в тези условия без антифони се претоварват с високи емисии на шум, надвишаващи звуковите налягания от порядъка на 100 dB, което може да бъде причина за техния влошен слух и здраве. В този смисъл, използването на индивидуални вътрешни антифони е абсолютно необходимо.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторите смятат за свое задължение да благодарят на управителя на предприятието “СИЯНИЕ М” ООД, София за оказаното активно съдействие и за реализираното ползотворно сътрудничество при провеждането на експериментите, свързани с настоящата статия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Закон за опазване на околната среда*, Обнародван в ДВ, бр. 91/22.09.2002г. с 25 изменения до 2009г. включително.

2. Наредба № 6 "*За показателите на шум в околната среда, отчитащи степента на дискомфорт през различните части на денонощието, граничните стойности на показателите за шум в околната среда, методите за оценка на стойностите на показателите за шум и на вредните ефекти от шума върху здравето на населението*." Издадена от Министерство на здравеопазването и Министерство на околната среда и водите, Обнародвана в ДВ. бр.58/18.07.2006г.

3. Max® Hearing Protectors, www.uvprocess.com.

4. Nipko K., C.Shields, OSHA's Approach to Noise Exposure in Construction, The Center to Protect Workers Rights and the Construction Safety Association, Ontario, **2003**, www.osha.gov/SLTC/constuctionnoise/index.html.

5. V&A Instrument Co., Ltd., Shanghai Yi Hua, http://va-instrument.en.com

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Бак. инж. Гергана ТОШЕВСКА
ТУ – София,
e-mail: toshevska@gmail.com

Доц. д-р инж. Николай АНГЕЛОВ, д.т.н.
ТУ – София
e-mail: n.angelov@tu-sofia.bg

СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НА МЕХАНИЗМИ И МАШИНИ

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

DEVELOPMENT OF MECHANISM FOR LEGS POSITION ADJUSTING AT MULTIFUNCTIONAL HOSPITAL BED

Miloš MILOŠEVIĆ **Dalibor PETKOVIĆ** **Nenad D. PAVLOVIĆ**

Abstract: *This paper is the result of a development research of an automated multifunctional hospital bed. On the basis of the decision table the most favorable variant of the actuating mechanism has been chosen among considered designs. In order to get an optimal design, the chosen variant has been optimized by using the software packages MATLAB and TK Solver and verified by simulation in the software Working model 2D. Based on the computer 3D model made in SolidWorks and VisualNastran, a prototype of the multifunctional hospital bed was made and tested.*

Key Words: *Hospital bed, mechanism optimization, simulation*

1. INTRODUCTION

This paper represents one segment of the project for developing the automated multifunctional hospital bed. Using the construction-development method, the planned working and command functions of the multifunctional hospital bed were specified firstly. The following working functions of the appropriate bed sections are planned:

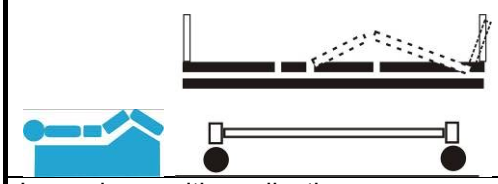
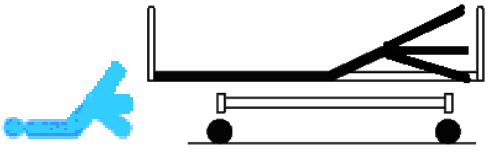
1. adjusting the height of the bed [1],
2. adjusting the trendelenburg (antishock) and the antitrendelenburg position [1],
3. lateral tilting of the bed [1],
4. adjusting inclination of the head section [2],
5. adjusting the legs positions.

In this paper the development of the mechanism for legs position adjusting will be presented.

2. DEVELOPMENT OF MECHANISM FOR LEGS POSITION ADJUSTING

By analyzing technical solutions that are offered on the market and patent-protected multifunctional bed mechanics and using the construction-development method a decision table of possible solutions of the mechanism for legs position adjusting was formulated. On the basis of the decision table the most favorable variants were chosen. Table 1 shows planned functions, motion range and type of the mechanism selected for that purpose.

Table 1 Project task

Planned functions	Motion type	Motion range	Mechanism type
Upper leg position adjusting 	rotation	0°- 28°	Inverted slider-crank
Lower leg position adjusting 	rotation	± 28°	Four-bar linkage

For moving the lower leg, as well as the upper leg of a patient's legs the four-bar linkage (Fig. 3) was selected as the most favorable solution. Its crank is used to position the upper leg, while the coupler positions the lower leg [3, 4]. In order to perform all planned functions the selected solution includes two actuators, one actuator that drives the segment of the upper leg and the other that drives the segment of the lower leg. There are two identical mechanisms for both legs, so it was planned to move independently the all segments of left and right patient's legs, according to the patients' type of injury. Because of that, the leg part of the new multifunctional hospital bed is divided into four independent sections (Fig. 6).

2.1. Optimal kinematical synthesis of mechanism for upper leg position adjusting

Fig. 1 shows the kinematic scheme of the selected type of the actuating mechanism for upper leg position adjusting (inverted slider-crank). The mechanism links are represented as position vectors which form a vector loop. As the drive unit of the mechanism the linear actuator Megamat 2 was chosen [5]. Its installation length is 421 mm and the stroke is 200 mm.

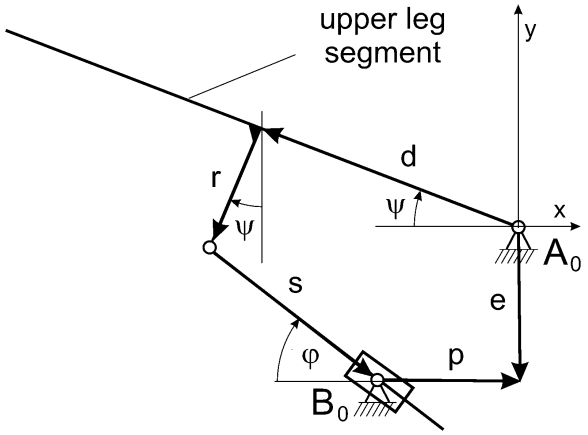


Fig. 1. The kinematic scheme of the mechanism for upper leg position adjusting

The vector loop equation provides the transfer function for the mechanism from Fig. 1:

$$s(\psi)=\sqrt{d^2+e^2+p^2+r^2+2(dp+er)\cdot\cos\psi+(-2de+2pr)\cdot\sin\psi}\ . \tag{1}$$

The goal of the kinematic synthesis is to obtain the mechanism dimensions for which the mechanism performs moving of the upper leg section (ψ) that is very nearly proportional to the linear displacement of the moving part of the actuator (s). For that case, the ideal transfer function of the mechanism can be formulated by the equation:

$$s_i = k\cdot\psi\ . \tag{2}$$

According to the notations from Fig. 1, the dimensions of the bed segment and requirements of the locations of the fixed pivots had defined the following constraints:

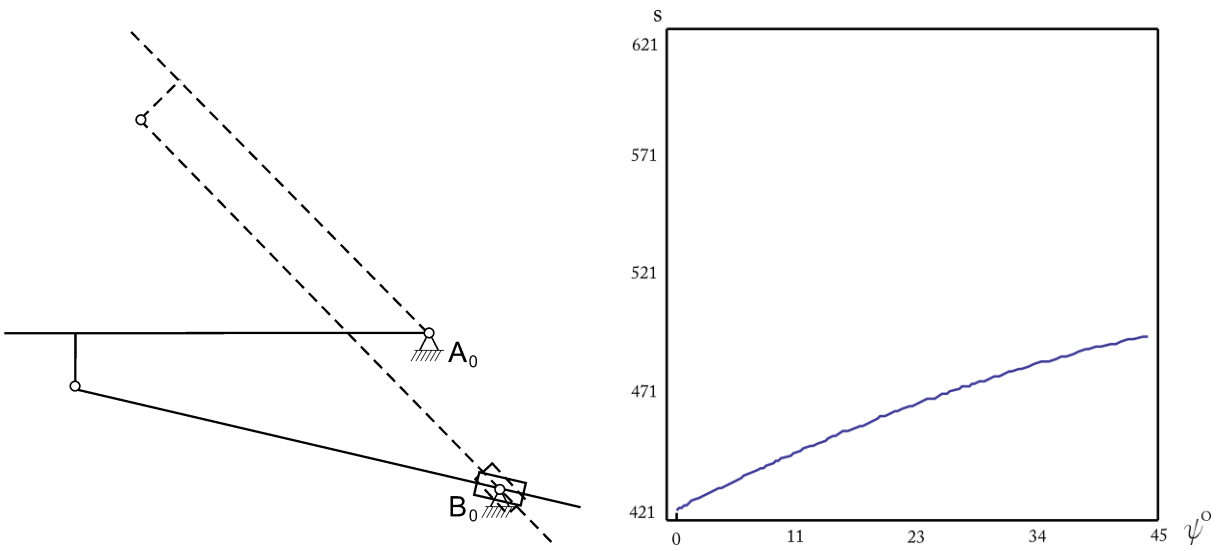
30 mm ≤ r ≤ 50 mm, 100 mm ≤ d ≤ 340 mm, -200 mm ≤ e ≤ -150 mm, -100 mm ≤ p ≤ -40 mm,
which were used as proper inequality constraints for the following optimization procedure.

The value of the linearity coefficient was varied in the range k = 1 - 2, with the step Δk = 0.2 (the higher values for the linearity coefficient k get slower moving of the upper leg section i.e. more accurate positioning).

For the optimization procedure the software package MATLAB was used together with its Pattern Search Tool (it belongs to the class of direct methods for optimization). By the optimization process the following values of the design parameters were attained as the optimal solution:

d = 340 mm, r = 50 mm, e = -150 mm, p = -68.95 mm (linearity coefficient value k = 1).

Fig. 2a shows the optimal solution of the mechanism in the boundary positions of the drive actuator and Fig. 2b shows the corresponding transfer function.



a) ***b)***

Fig. 2. Optimal solution of the mechanism shown on Fig. 1

2.2. Optimal kinematical synthesis of mechanism for leg position adjusting

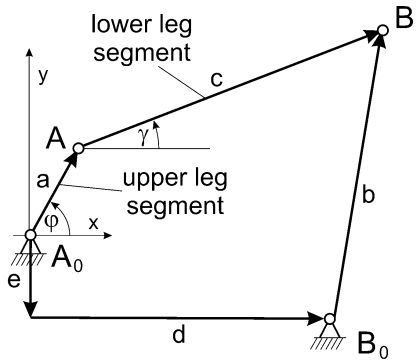


Fig. 3. The kinematic scheme of the mechanism for leg position adjusting

The vector loop equation provides the transfer function for the mechanism from Fig. 3 (lower leg position is defined by the coupler position γ):

$$\gamma = \tan^{-1}\frac{a\cdot\sin\phi - e}{a\cdot\cos\phi - d} + \cos^{-1}\frac{c^2 + a^2 + e^2 + d^2 + 2a\sqrt{e^2+d^2}\cdot\cos\left[\phi + \tan^{-1}\left(-\frac{e}{d}\right)\right] - b^2}{2c\sqrt{a^2 + e^2 + d^2 + 2a\sqrt{e^2+d^2}\cdot\cos\left[\phi + \tan^{-1}\left(-\frac{e}{d}\right)\right]}}. \qquad (3)$$

The goal of the kinematic synthesis is to obtain the mechanism dimensions for which the mechanism performs moving of the lower leg section (γ) that is very nearly proportional to the upper leg section moving (φ). For that case, the objective function can be formulated by the equation:

$$T = \gamma(\phi) - k\cdot\phi. \qquad (4)$$

In addition, for the position φ=0° (Fig. 5a) the mechanism should bring the coupler in the horizontal position (γ = 0°), and the angle γ should be as small as possible in the boundary position (φ = 28°).

The length of the upper leg segment is a = 340 mm and installation requirement of the joint B_0 defined the value of the eccentricity e = -50 mm.

According to the notations from Fig. 3, the dimensions of the bed segments and requirements of the locations of the fixed pivots had defined the following constraints:

$350 \text{ mm} \leq d \leq 800 \text{ mm}$, $400 \text{ mm} \leq c \leq 690 \text{ mm}$, $100 \text{ mm} \leq b \leq 600 \text{ mm}$,

which were used as proper inequality constraints for the following optimization procedure. The value of the linearity coefficient was varied in the range $k = 1 - 2$, with the step $\Delta k = 0.2$.

For the optimization procedure the software TK Solver was used (optimization by Direct Search). By the optimization process the following values of the design parameters were attained as the optimal solution:

$d = 570.3$ mm, $c = 420.9$ mm, $b = 197$ mm (linearity coefficient value $k = 1$).

Fig. 4 shows the transfer function of the optimal solution of the mechanism.

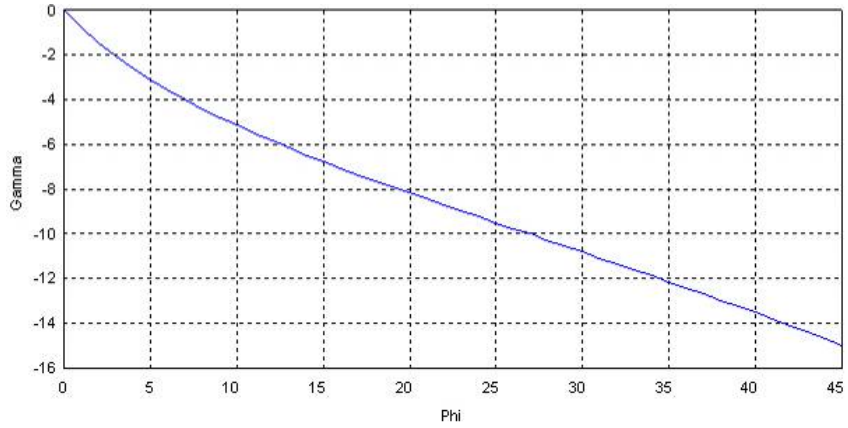


Fig. 4. The transfer function of the optimal solution

Independently positioning of the lower leg segment had demanded the introduction of an additional degree of freedom which was implemented by adding an additional linear drive. It was used for horizontal moving of the joint B_0 which causes changing of the distance d (Fig. 3). Because of that, it had been necessary to implement some new inequality constraints in the optimization procedure that gave the optimal solution shown in Fig. 5.

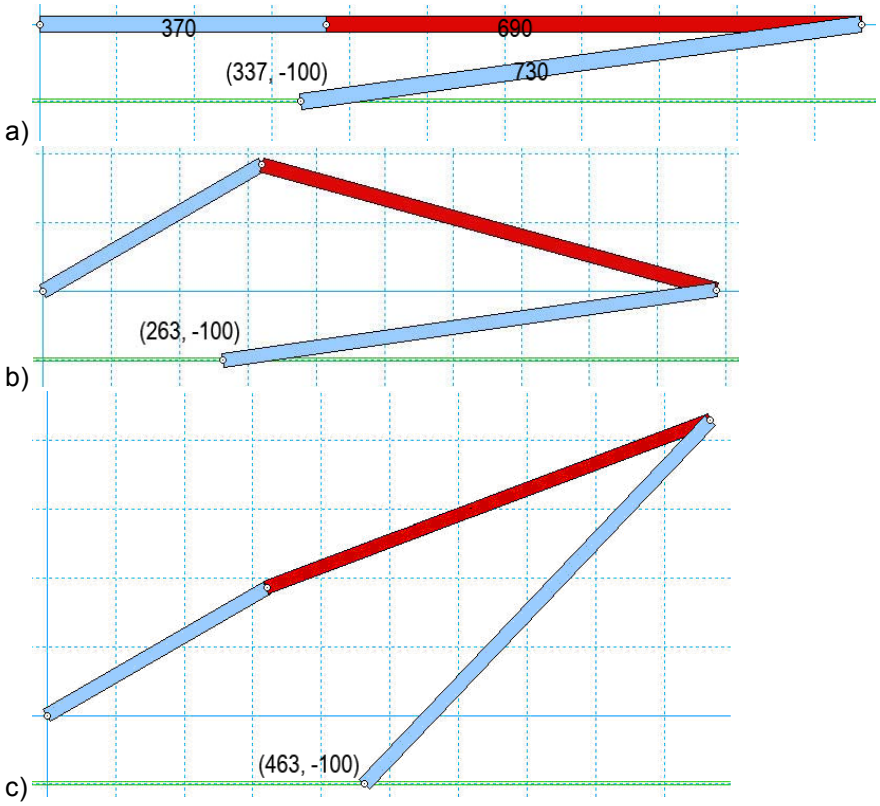


Fig. 5. Some characteristic positions of the optimal solution of the mechanism for leg position adjusting

3. MODELING AND REALISATION OF THE MECHANISM FOR LEGS POSITION ADJUSTING

The model of the new design of the multifunctional hospital bed was made in software package SolidWorks (Fig. 6) in the similar way as in [6]. The simulation of kinematic and dynamic model behavior in software VisualNastran confirmed the functionality of the proposed mechanisms design.

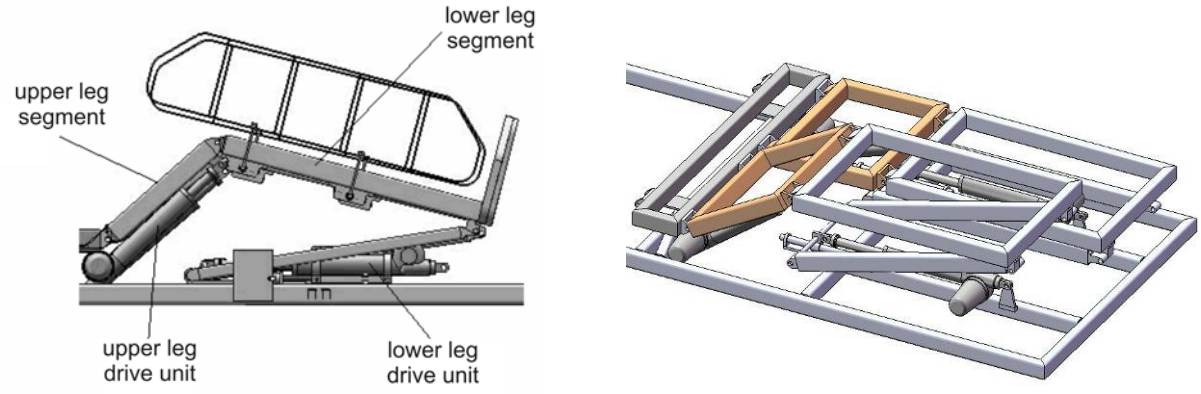


Fig. 6. 3D model of the mechanism for legs position adjusting

Based on the computer model, a prototype of the multifunctional hospital bed was made (Fig.7) [7].

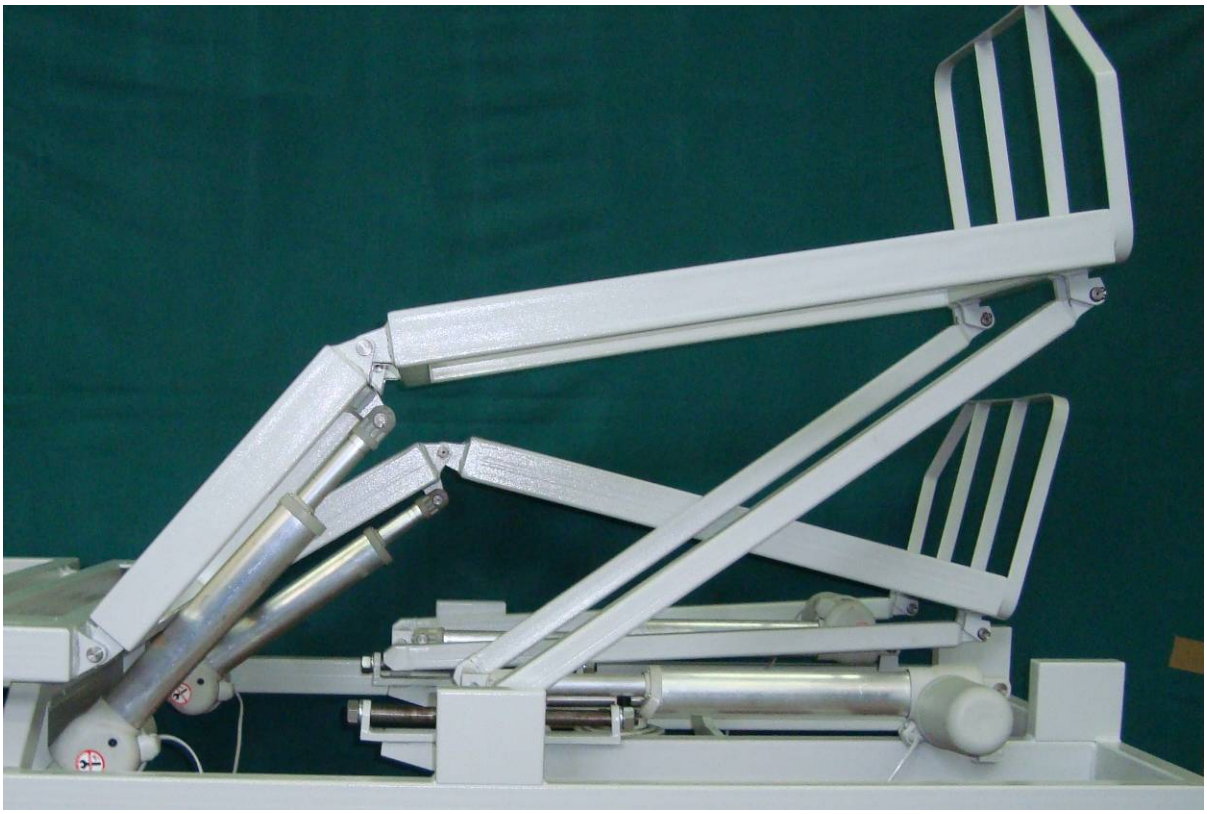


Fig. 7. The realized prototype of the multifunctional hospital bed

4. CONCLUSION

In this paper the results of the optimal synthesis of the mechanism for adjusting the legs positions at the automated multifunctional hospital beds are presented.

- By the software package MATLAB the optimal solution of the mechanism design actuating upper legs section was obtained for which the mechanism realize the upper legs inclination that is very nearly proportional to the linear displacement of the moving part of the actuator.
- By the software TK Solver the optimal solution of the mechanism design for lower legs position adjusting was obtained for which the mechanism realize the lower leg inclination that is very nearly proportional to the upper leg section movement and realize all planned lower legs positions.
- The results of both optimizations was analyzed by software package WorkingModel 2D as well.
- The new design of the multifunctional hospital bed was made to incorporate demands of both patients and medical staff. It is expected that this new design of hospital bed would enable patients' better medical care.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by the Ministry of Science and Technological Development of the Republic of Serbia (TR 14029). The authors gratefully acknowledge the financial support.

REFERENCES

1. Pavlović, N.D., Petrović, T., Jovanović, S., Jovanović, D. *Development of Main Frame Adjusting Mechanism for Multifunctional Hospital Bed.* Journal of Mechanical Engineering Design, Vol. 12, No. 1, **2009**, pp. 51-62. **ISSN** 1450-5401.

2. Milošević, M., Petković, D., Pavlović, D.N. *Development of mechanism for inclination of multifunctional hospital bed head section.* 9th International Conference "Research and development in mechanical industry RaDMI 2009", Vrnjačka Banja,Serbia,**2009**, Proceedings of Papers, pp.1155-1164. **ISBN** 978-86-6075-008-4.

3. Ooyama et.al. *Rising-type bed apparatus and mattress*. United States Patent, 7,017,210 B2, **2006**.

4. www.linet.com

5. http://www.medicalcentersupply.com/dewert.htm

6. Milushev, M., Petrov, P., Georgieva, V., Diakov, D. *Design and Geometrical Model of a Six-Legged Robot,* 9th International Conference on Robotics PRACTRO 2007, Varna, June, **2007**, Proceedings of Papers, pp.155-161, **ISBN** 978-954-91851-4-0.

7. Pavlović, N.D., Petrović, T., Pavlović, N.T., Milošević, M., Jovanović, S., Jovanović, D., Djordjević, B. *Development of Multifunctional Hospital Bed.* XIX. National Conference with International Participation "Avtomatizacià na diskretnoto proizvodstvo **ADP 2010**", Sozopol, Bulgaria, June, **2010**, Proceedings of Papers, pp. 418-423. **ISSN** 13 10-3946.

CORRESPONDENCE

Miloš MILOŠEVIĆ, PhD, Assistant professor
Faculty of Mechanical Engineering
University of Niš
Aleksandra Medvedeva 14
18000 Niš, Serbia
e-mail: mmilos@masfak.ni.ac.rs

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

POSSIBILITIES FOR APPLICATION OF KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEMS

Georgi TODOROV **Venelin JIVKOV** **Nikolay NIKOLOV**
Konstantin KAMBEROV **Svetoslav STOEV**

Abstract: *Presented study aims to examine the types of kinetic energy recovery systems - KERS, as well as opportunities for their application in various fields of engineering. It has been made a comparative analysis and reported only the advantages and disadvantages of the most widely used kinetic energy recovery systems. It has been made an example of a conceptual design of the KERS system, as is the outcome of the specifics of creating a KERS system with a flywheel.*

Key Words: *Hybrid vehicles, Flywheel, Kinetic energy, Brake energy recovery, Kinetic energy recovery system – KERS.*

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА КИНЕТИЧНО АКУМУЛИРАНА ЕНЕРГИЯ. ПРИЛОЖИМОСТ

Георги ТОДОРОВ **Венелин ЖИВКОВ** **Николай НИКОЛОВ**
Константин КАМБЕРОВ **Светослав СТОЕВ**

Резюме: *Представеното изследване цели да направи преглед на видовете системи за акумулиране на кинетична енергия – KERS, както и възможностите за тяхното прилагане в различни сфери на техниката. Направен е подробен сравнителен анализ и са отчетени предимствата и недостатъците само на най-широко приложимите системи за акумулиране на кинетична енергия. Предложена е примерна концептуална конструкция на системата KERS, като е изходено от спецификата за изграждане на система KERS с маховик.*

Ключови думи: *Хибридни автомобили, Маховик, Кинетична енергия, Акумулиране на енергия при спиране, Система за акумулиране на кинетична енергия.*

1. СИСТЕМИ ЗА АКУМУЛИРАНЕ НА КИНЕТИЧНА ЕНЕРГИЯ – СЪЩНОСТ, ВИДОВЕ И СФЕРИ НА ПРИЛОЖЕНИЕ

Осъзнаването на човечеството за заплахата от недостига на енергия и замърсяването на въздуха, тласка учените към откриването на алтернативни начини за задвижване, на едни от основните причинители на този глобален проблем, а именно, превозните средства. Като такава алтернатива намираме в лицето на системите за акумулиране на енергия, които са обект на изследване от близо две десетилетия насам.

Системите за акумулиране на енергия, имащи за цел да намалят недостига на енергия и замърсяването на въздуха, са особено приложими в устройства с променлива мощност. За подвижни устройства това се отнася към задвижващата им система, като например:

- Превозни средства от градски тип: градски транспорт, метро, автомобили, камиони за смет, куриерски автомобили [1, 4, 5].
- Повдигащи устройства: кранове, мотокари, асансьори [3].
- Земекопни машини: ескаватори, багери и др. [2].

1.1. Системи за акумулиране на енергия при спиране

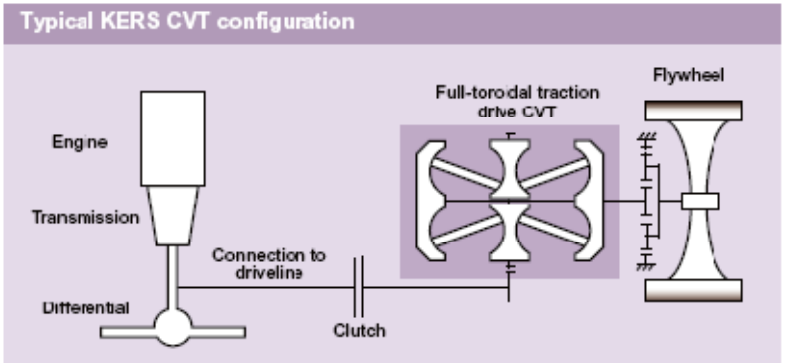
В основата на системите за акумулиране на енергия заляга едно основно свойство, акумулиране на енергията при спиране. Това е техника на възвръщане на кинетична и/или

потенциална енергия, която се отделя като топлина от спирачната система на дадено превозно средство. Направени са редица изследвания за случаите, когато акумулираната при спиране енергия може да се приложи ефективно към параметрите на превозното средство и характеристиките за движението му [1, 3, 4, 5, 6]. Параметрите на превозното средство включват масата, въздушното съпротивление, съпротивлението на пътя. Към характеристиките за движение се отнасят интервала между тръгване-спиране, ускорението и доускорението, както и максималната скорост на превозното средство. Тези характеристики могат да се обединят под едно общо понятие – цикли на движението, от които зависи колко енергия ще бъде акумулирана в зависимост от масата на превозното средство. Ефективността от акумулиране на енергията при спиране се изразява с помощта на отношението между възстановената и доставена енергия на задвижваните колела на превозното средство. Това отношение може да се разглежда като възобновяем фактор. Само за пояснение в повечето научни разработки възобновяемия фактор се изчислява, без да се взима под внимание скоростната кутия и загубите при съхранение. В [1, 6] е обърнато специално внимание на влиянието на параметрите на превозното средство върху възобновяемия фактор.

1.2. Видове системи за акумулиране на енергия

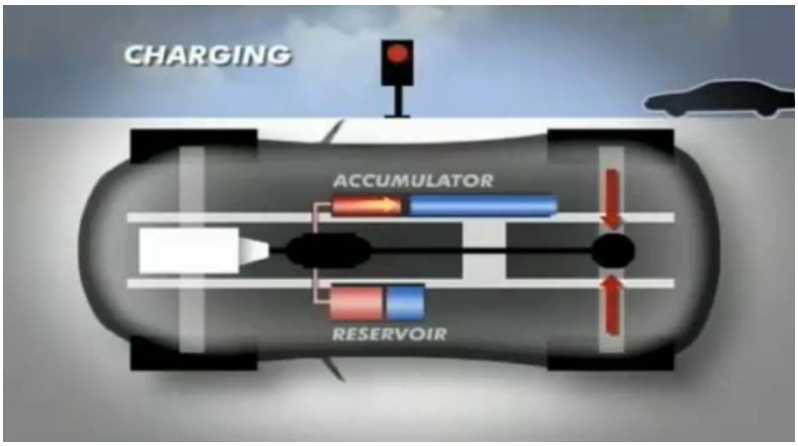
До момента има много системи са били създадени на теория, но малко от тях са реализирани като реален проект. Интересно е да се отбележи, че реализираните концепции са от всички три основни вида системи (механични, хидропневматични и електрохимични), които в повечето случаи са комбинирани с широкоразпространените на пазара скоростни кутии. По подробно описание на широката гама от системи за акумулиране на енергия са дадени в [7].

1.2.1 Механични системи за акумулиране на енергия. Характерно за този тип системи е използването на маховик. Маховика има свойството да съхранява енергията и се използва в много превозни средства и устройства през последните 6000 години. Исторически преглед на най-значимите системи за акумулиране на кинетична енергия може да се види в [8]. В повечето от тези системи е използвана електрическа, хидростатична или CVT скоростна кутия. На (фиг. 1) е показана схема на Flybird.



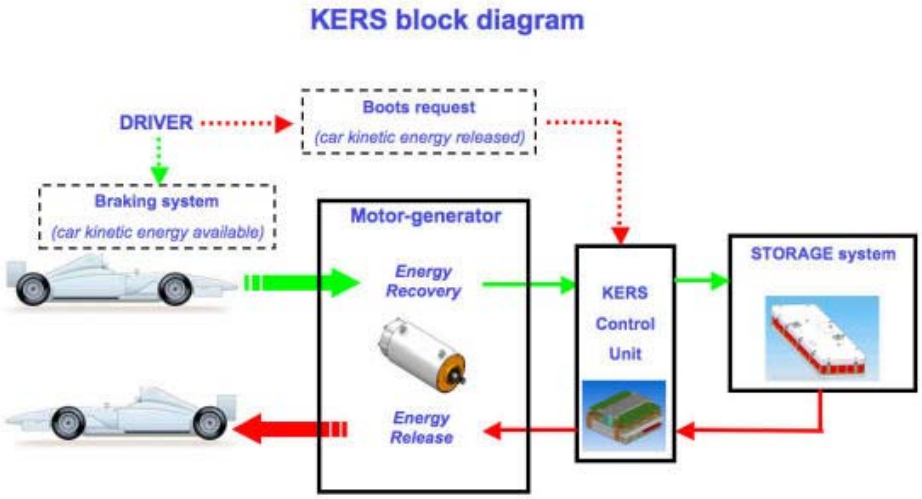
Фиг. 1. Схема на KERS CVT конфигурацията на Flybrid

1.2.2 Хидропневматични системи за акумулиране на енергия. Типично за тази система е значителното и тегло и размери. Системата за хидро-пневмо акумулиране (ХПА) съдържа разделен с подвижно бутало ресивер, от едната страна е практически несвиваем флуид (масло), а от другата – силно свиваем такъв (газ), обратима обемна хидравлична помпа/мотор, свързана със системата за задвижване на транспортното средство. В процеса на спиране обемната машина работи като помпа и кинетичната енергия от спиране се трансформира в потенциална, т.е. газът повишава своето налягане, а в процеса на отдаване на енергия хидравличната обемна машина работи като двигател, свързан със задвижващата система на транспортното средство.



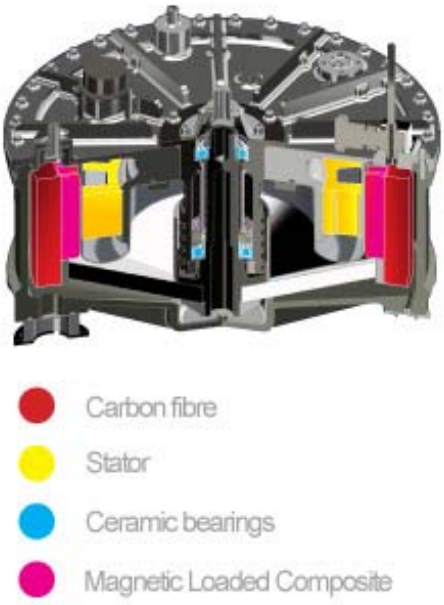
Фиг. 2. Работа на хидропневматични KERS (Parker Energy Recovery System) при зареждане

1.2.3 Електрохимични системи за акумулиране на енергия. Тъй като електрохимичните батерии имат ограничен мощност и малка продължителност на живот, те главно се използват в градски автомобили и електрокари. Съществуват много разработки на автомобили, използващи изцяло захранване на батерии, но засега има само частични постижения в рамките на 120÷150 km с едно зареждане за лек автомобил при градски цикъл на движение. Основната причина е това, че мощността и съхранената енергия в батериите е в доста ограничено количество за нуждите на една нормална кола, която трябва да се държи еднакво добре както на магистралата, така и при изкачвания на стръмни склонове. Ето за това повечето компании прибягват към едно за момента приемливо решение, а именно създаване на хибридни автомобили. Това решение представлява комбинация на двигател с вътрешно горене и батерия. На фиг. 3 е показана принципна схема на електрохимична диаграма на Magneti Marelli.



Фиг. 3. KERS блок диаграма на Magneti Marelli

1.2.4 Комбинирана електромеханична система KERS - Характерното тук е, че се използва мотор/генератор свързан към скоростната кутия и ECU (electrical control unit), който да управлява енергията от и към него. Разликата, обаче е че енергията съхранена в батерията или суперкондензаторите, се използва за развъртането на маховик, който всъщност се явява средството за съхранение на енергията. На фиг. 4 може да се види решението на Williams Hybrid Power за тяхната система за акумулиране на енергия използвана в болидът им във Формула 1 през сезон 2009.



Фиг. 4. Принципна схема на система KERS на Williams Hybrid Power

2. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ НА ВИДОВЕТЕ KERS, ПРЕДИМСТВА И НЕДОСТАТЪЦИ

В таблица 1 са изнесени данни за трите основни видя акумулатори в системите за акумулиране на енергия [4].

Таблица 1 Сравнение на различни акумулатори за мобилни устройства

Акумулиращо устройство / Критерии	Маховик	Хидропневматичен акумулатор	Електрохимични батерии
Плътност на енергията [Wh/kg]	4-50	0,6 - 4	20 - 100
Мощност	++	++	-
Акумулираща ефективност - Кратък период - Дълъг период	+ --	+ +	++ 0
Ефективност от превръщане на енергията	+	-	-
Жизнен цикъл	++	++	--
Претоварване	+	+	--
Надеждност	+	+	-
Ниво на шум (+=нисък)	+	+	++
Цена (+=нисък)	+	-	--

Легенда: ++ Отлично; + Добро; 0 Средно; - Лошо; -- Много лошо

Предимства и недостатъци при системи за акумулиране на енергия с маховик:

- Като цяло могат да съхраняват повече енергия от обикновените батерии.
- Те са и по-малко вредящи на околната среда, поради това, че са направени от инертни и екологично чисти материали.
- Основното затруднение при използването на подобни устройства произтича от опасността от експлозивно разрушаване на ротора поради претоварване, необходима е оценка на риска.
- Главното ограничение при конструирането на маховика произтича от якостните характеристика на използвания материал.
- При използването им в превозни средства маховичните акумулатори служат и като жироскопи. Това свойство влияе върху устойчивостта и управлението на транспортното средство, поради което трябва да се вземе предвид.

Предимства и недостатъци при KERS със суперкондензатори:

- Броят на циклите заряд-разряд е три порядъка по-голям от този на акумулаторните батерии.
- Нямат нужда от поддържане.
- Много по-бързо зареждане в сравнение с акумулаторните батерии.
- Възможност за разреждане на 0 V и съответно отдаване на цялата натрупана електрическа енергия.
- Електрическият заряд практически не намалява при ниски температури.
- Напълно безопасни за околната среда поради липсата на отровни вещества.
- По-съществено намаляване на напрежението в процеса на разреждане.
- Големи габарити и маса.

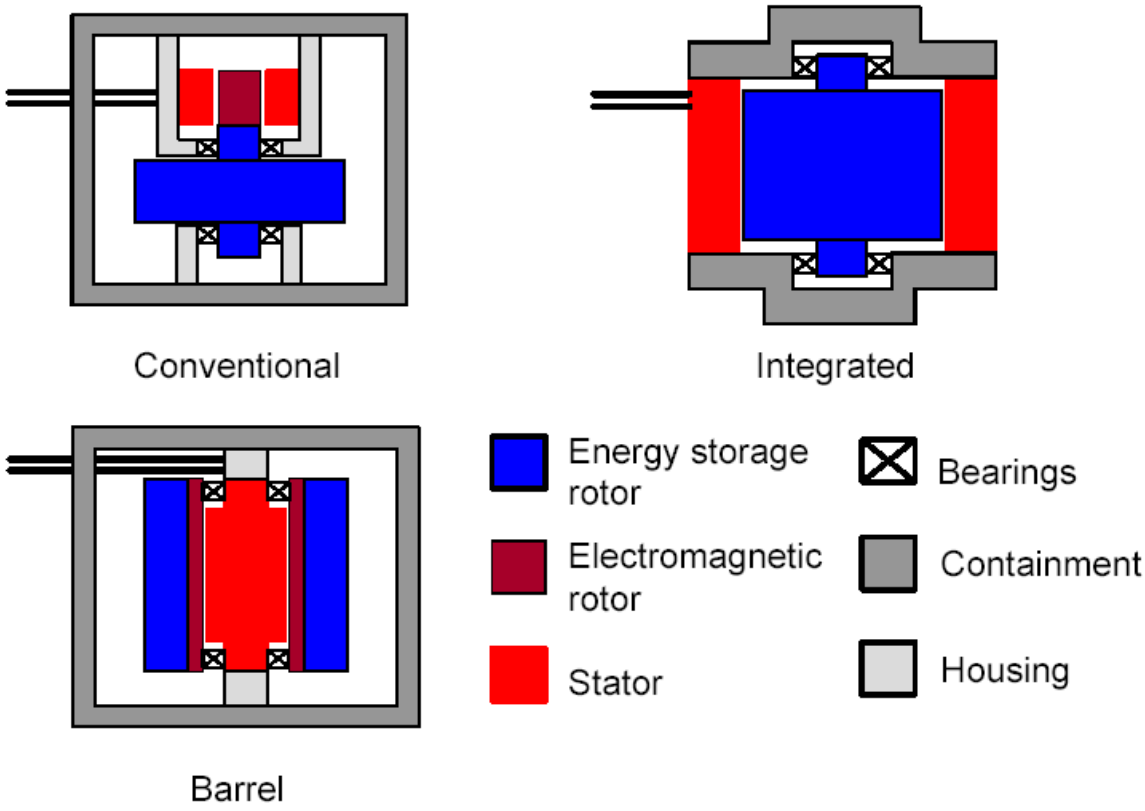
Предимства и недостатъци при хидропневматични KERS

- Хидропневматични хибридни системи могат да бъдат внедрени във вече излезли от производство транспортни средства, без да се правят огромни модификации, като по този начин се намалява цената на новата технология.
- Предимство на хидропневматичната система е ниската цена за изработка.
- Такава система в едно превозно средство ще спомогне да се намали габарита на двигателя, понеже потеглянето на автомобила ще се подпомага от пневматичната KERS система.
- Недостатък на тази система са големите габарити и маса.

В заключение трябва да се отбележи, че механичните системи за акумулиране на кинетична енергия е подходящо да се появят като допълнителен елемент, поради това, че биха довели до увеличаване живота на основния акумулатор (чрез намаляване броя на циклите на зареждане/разреждане), както и до увеличаване общия коефициент на полезно действие поради високата плътност на акумулирана енергия.

3. КОНЦЕПТУАЛНО РАЗВИТИЕ НА ЕЛЕКТРОМЕХАНИЧНА СИТЕМА ЗА АКУМУЛИРАНЕ НА ЕНЕРГИЯ

До момента са известни три основни конфигурации на механичен KERS (система с маховик) (фиг. 5) според степента на интегриране на механичната част (маховик) и електрическата част (електрически двигател/генератор).



Фиг. 5. Видове механичен KERS според степента на интегриране между електрическата и механичната част

- *Конвенционален тип* – използва се маховик с голям диаметър (респективно маса) за съхранение на голямо количество кинетична енергия.
- *Механичен KERS тип „барабан" ("Barrel")* – при този вид имаме кух ротор изграден от композитни материали, който „обгръща" електромагнитния ротор на двигателя/генератора, към който е твърдо закрепен. Електромагнитния ротор от своя страна също е кух и ротира около статора.
- *Интегриран механичен KERS* - при този вид електромагнитната част на ротора и маховика са напълно интегрирани. Тук за разлика от другите две конфигурации, интегрирането на корпуса и статора позволява изграждане на механичен KERS с по-компактна структура, при която самия корпус на електродвигателя служи като предпазен контейнер за цялата система.

За да се дефинират най-подходящите елементи за изграждане на една система за съхранение на енергия, чрез маховик е необходимо да се дефинират изискванията наложени от конкретното приложение на системата. В таблица 2 са поместени основните изисквания към механичен KERS при някои от най-разпространените им приложения.

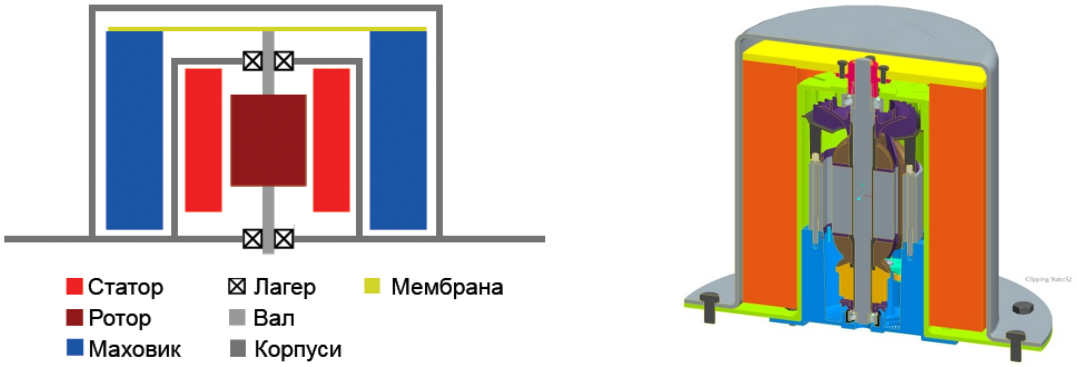
Таблица 2 Изисквания към механичен KERS за най-разпространените им приложения

Приложение	Мощност [kW]	Енергия [kWh]	Специфична мощност [kW/kg]	Специфична енергия [Wh/kg]	Време за трансфер [s]
Индустриални приложения	$10^2 \div 10^6$	$0.14 \div 45$	$(1.5 \div 2.1).10^3$	$3.8 \div 5.6$	$0.006 \div 5$
Автобуси	$70 \div 300$	$1.2 \div 4$	$0.18 \div 0.4$	$5 - 30$	$36 \div 90$
UPS	$10 \div 100$	$5 \div 50$			$1800 \div 3600$
Автомобили	$35 \div 85$	≈ 1.8	$0.4 \div 1.2$	$25 \div 100$	$160 \div 420$

Основен режим, при които работят устройствата за съхранение на енергия в хибридните автомобили, е на „отдаване на енергията". При него съществуват два основни подрежима, наложени от работата на самите хибриди:

- *„Двоен режим"*: При работа в „двоен режим", приблизителните изисквания към устройството за съхранение на енергия са да осигури 50-60 вата на килограм маса на автомобила, необходими за ускоряване от 0 до 96 км/ч за времето от 10 до 12 секунди. Средно за един обикновен автомобил това означава осигуряване на енергия от порядъка на 60-100 kW и среден капацитет на устройството за съхранение на енергия от порядъка на 10kWh.
- *„Помощен режим"*: Изискванията към устройството за съхранение на енергия при работа в „помощен режим" са идентични на тези при работа в „в двоен" режим, като извадим мощността на основния енергиен източник.

В рамките на договор D00-106-5/ 12.2008 Националния фонд за научни изследвания към Министерството на образованието и науката ще бъде конструиран прототип на нов вид механичен KERS, който ще бъде създаден и изследван. Принципната схема е представена на (фиг. 6.а) и представлява електрическа машина тип мотор/генератор заобиколен от маховик. На (фиг. 6.б) може да се види и концептуалния 3D модела на системата.



а) принципна схема на концептуална система б) концептуален 3D модел на механичен KERS

Фиг. 6. Концептуален модел на електромеханична система за акумулиране на кинетична енергия

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Направеният преглед на възможностите за ползване на кинетично акумулирана енергия дава възможността да се изложат следните по-основни коментари:

- Акумулирането на кинетична енергия води до значително понижаване на вредните емисии и загубите на енергия в околната среда при транспортни средства.
- Направеният преглед на различни системи за акумулиране на енергия и съпоставката им с механичните системи за акумулиране на кинетична енергия показа ред предимства на последните по отношение на основните им характеристики.
- Развитието на системите за акумулиране на кинетична енергия с интегриран маховик и мотор/генератор е направление с добри възможности за оптимизация на работните параметри на транспортни средства, като допълнение към съществуващите решения с химически акумулатори.
- Създаването на такъв тип система ще намали драстично размерите и теглото на акумулаторната система, както и ще увеличи живота й по отношение на намален брой цикли зареждане/разреждане при старт/стоп режими на експлоатация.

Обобщавайки всичко до момента, може да се каже, че развитието на система за акумулиране на кинетична енергия с маховик и интегриран мотор/генератор, ще бъде предизвикателство, което ще доведе до широк спектър устройства, които ще могат да се възползват от предимствата на тази система.

БЛАГОДАРНОСТИ

Това изследване е осъществено с помощта на Фонд „Научни изследвания" при МОМН, във връзка с изпълнение на проект „Иновационен център за върхови научни постижения, развитие и трансфер на технологии" с насоченост в областта на микроелектромеханични системи (МЕМС) и рекуперииране на енергия, договор № Д002-106/15.12.2008г., както и във връзка с изпълнение на двустранния Българо-Китайски проект D002-11/05, Фонд „Научни изследвания" при МОМН.

ЛИТЕРАТУРА

1. Biermann, J., R. Schrau. *Schwungradspeicher als Antriebselement fur Schienenfahrzeuge*. ERT (32), **1983**.
2. Dann, R.*The revolution in Flywheels*. Machine design, May 17, **1985**, pp. 99 – 105.
3. Frank, A. *Flywheel-Engine Hybrid Power Source. Investigation for Forklift Trucks final report*. College of Engineering Propulsion Energy Management Group, University of Winsconsin – Madison, **1983**.
4. Graaf, R. van der, *An IC-Engine Flywheel Hybrid Drive for Road Vehicles*. EAEC conferences, Strassburg, June **1987**.
5. Kapellen, D., F. Jamzadeh, S. Wang, and A. Frank. *Analysis of Energy-Storage Concepts for Refuse Collection Trucks*. SAE paper 840056, **1984**.
6. Korkmaz, F. *Voraussetzungen fur einen Erfolg versprechenden Einsatz von Fahrzeug Antrieben mit Bremsenergie-Ruckgewinnung*. ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 82/4, **1980,** pp. 221-226.
7. Thoolen, F. *Overview of realized regenerative energy storage systems for vehicular applications*. Internal report C.C.M., Nuenen, The Netherlands, **1989**.
8. Thoolen, F. *Development of an advanced high speed Flywheel Energy Storage System, Eindhoven*. Eindhoven University of Technology, **1993,** pp. 24.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Георги ТОДОРОВ
кат. ТМММ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: gdt@tu-sofia.bg

чл. кор. проф. д.т.н. инж. Венелин ЖИВКОВ
кат. ТММ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: jivkov@tu-sofia.bg

доц. д-р инж. мат. Николай НИКОЛОВ
кат. ТММ, МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: nickn@tu-sofia.bg

маг. инж. Константин КАМБЕРОВ
лаб. „CAD, CAM, CAE в индустрията"
МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: kkamberov@3clab.com

бак. инж. Светослав СТОЕВ
лаб. „CAD, CAM, CAE в индустрията"
МТФ, ТУ-София
бул. „Кл. Охридски" 8
1000 София, БЪЛГАРИЯ
e-mail: sv.st.stoev@gmail.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

DYNAMIC ANALYSIS OF KINETIC ENERGY STORAGE SYSTEM DRIVING AUTOMOBILE IN DIFFERENT REGIMES OF MOVEMENT

Kostadin STOICHKOV **Venelin JIVKOV**

Abstract: *The work considers the question about using the kinetic energy storage system as device driving automobile. Three regimes of motion – accelerated motion, uniform motion and decelerated motion are considered. The equations for the condition of the kinetic energy storage are obtained for these three regimes.*

Key Words: *device, actuating, energy, storage, regimes.*

ДИНАМИЧЕН АНЛИЗ НА АГРЕГАТ ЗА ЗАДВИЖВАНЕ НА АВТОМОБИЛ С КИНЕТИЧЕН АКУМУЛАТОР НА ЕНЕРГИЯ ПРИ РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ НА ДВИЖЕНИЕ НА АВТОМОБИЛА

Костадин СТОИЧКОВ **Венелин ЖИВКОВ**

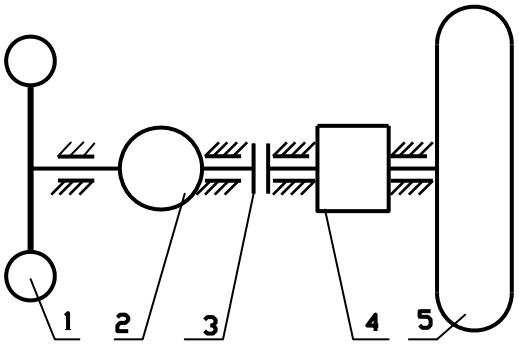
Резюме: *В работата се разглежда въпросът за използването на кинетичен акумулатор на енергия (маховик) в задвижващия агрегат на пътно транспортно средство (П.Т.С.). Разгледани са три режима на движение на П. Т. С. – ускоряване, движение с постоянна скорост, спиране. За трите режима са изведени уравненията за движение на маховика.*

Ключови думи: *устройство, задвижване, енергия, акумулатор, режими.*

1. УВОД

В публикациите [1, 2, 3] е разгледан въпросът за движението на кинетичен акумулатор на енергия (маховик) в режимите „празен ход”, ”зареждане„ и „отдаване на енергия” при условие, че триенето в лагерите и аеродинамичното съпротивление са единствените съпротивления, поглъщащи енергията на кинетичния акумулатор.

В настоящата работа кинетичният акумулатор на енергия (КАЕ) се разглежда като звено от агрегат за задвижване на автомобил при различни режими – ускоряване, движение с постоянна скорост и спиране на автомобила.



Фиг. 1. Принципна схема на агрегат, задвижващ автомобил посредством кинетичен акумулатор на енергия.

Звената участващи в принципната схема (фиг. 1), са както следва:

1 – кинетичен акумулатор на енергия (маховик);
2 – фрикционен вариатор;
3 – съединител;
4 – главно предаване на автомобила;
5 – колело.

2. УРАВНЕНИЕ ЗА ДВИЖЕНИЕ НА АВТОМОБИЛА

Диференциалното уравнение за движение на автомобил с маса m_a, при скорост V_a, по пътен участък с наклон α има вида

$$\delta m_a \frac{dV_a}{dt} = F_{пол.} - m_a \left[g\left(\sin\alpha + f\right) + k_w V_a^2 \right], \quad (1)$$

където:

$F_{пол.}$ – сила осигуряваща движението на автомобила;

δ – коефициент отчитащ инертността на останалите ротиращи детайли $\left(1{,}05 \le \delta \le 1{,}15\right)$;

f – коефициент на триене при търкаляне на гумите върху пътя $\left(0{,}05 \le f \le 0{,}12\right)$;

k_w – коефициент на челно аеродинамично съпротивление $\left(2 \le k_w \le 3\right)\left[1/kg\right]$;

g – земното ускорение - $9{,}81\left[m/s^2\right]$;

α – наклон на пътя;

V_a – скорост на автомобила $\left[m/s\right]$.

Ако се приеме, че радиусът на търкаляне на гумите е R_K и константното предавателно отношение на главното предаване (фиг. 1) е i_C то за $F_{пол.}$ е в сила равенството

$$F_{пол.} = \frac{M_{Зпол.} i_C}{R_K}, \quad (2)$$

където $M_{Зпол.}$ е моментът, необходим за преодоляване на полезните съпротивления, приведен към трети вал.

След заместване на (2) в (1) се получава уравнението

$$\delta m_a \frac{dV_a}{dt} = \frac{M_{Зпол.} i_C}{R_K} - m_a \left[g\left(\sin\alpha + f\right) + k_w V_a^2 \right] \quad (3)$$

от където може да изрази моментът $M_{Зпол.}$, необходим за движение на автомобила със скорост V_a при зададените условия. Въпросният момент се дава от изразът

$$M_{Зпол.} = \frac{R_K}{i_C}\left\{ \delta m_a \frac{dV_a}{dt} + m_a \left[g\left(\sin\alpha + f\right) + k_w V_a^2 \right] \right\}. \quad (4)$$

3. УРАВНЕНИЕ ЗА ДВИЖЕНИЕ НА МАХОВИКА (К.А.Е.)

Диференциалното уравнение за движение при привеждане към вала на маховика има вида

$$J_M \frac{d\omega_M}{dt} = -M_{TP} - k\omega_M^2 - M_{Зпол.} \frac{\omega_З}{\omega_M}, \quad (5)$$

където означенията са както следва:

J_M – масов инерционен момент на маховика;

ω_M – ъглова скорост на маховика;

ω_3 – ъглова скорост на трети вал;

$M_{3пол.}$ – момент за преодоляване на полезните съпротивления;

M_{TP} – момент на триене в лагерите;

k – коефициент на аеродинамично съпротивление на маховика.

От диференциалното уравнение (5) може да се изрази полезният момент $M_{3пол.}$ и да се запише изразът

$$M_{3пол.} = -\left(J_M \frac{d\omega_M}{dt} + M_{TP.} + k\omega_M^2 \right) \frac{\omega_M}{\omega_3}. \tag{6}$$

Като следствие от (6) и (4), след приравняване на десните им страни, се получава равенството

$$-\left(J_M \frac{d\omega_M}{dt} + M_{TP.} + k.\omega_M^2 \right) \frac{\omega_M}{\omega_3} = \frac{R_K}{i_C} \left\{ \delta.m_a \frac{dV_a}{dt} + m_a \left[g\left(\sin\alpha + f\right) \right] + k_w V_a^2 \right\} \tag{7}$$

От равенството (7) след съответните преобразувания и имайки предвид, че:

$$\frac{\omega_3 R_K}{i_C} = V_a, \tag{8}$$

както и, че $V_a = V_a(t)$, се стига до диференциалното уравнение

$$J_M \omega_M \frac{d\omega_M}{dt} + M_{TP.}\omega_M + k\omega_M^3 = -V_a(t) m_a \left[\delta \frac{dV_a(t)}{dt} + g\left(\sin\alpha + f\right) + k_w V_a(t)^2 \right], \tag{9}$$

чието решение при позната функция $V_a = V_a(t)$ ще даде функцията $\omega_M = \omega_M(t)$.

4. РЕШЕНИЕ НА ДИФЕРЕНЦИАЛНОТО УРАВНЕНИЕ ЗА ДВИЖЕНИЕ НА МАХОВИКА ПРИ РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ НА ДВИЖЕНИЕ НА АВТОМОБИЛА.

На фиг. 2 е дадена идеализираната графика, показваща различните режими на движение на автомобила във вида $V_a = V_a(t)$ в условията на градски цикъл. От графиката се вижда че за изобразеният цикъл с продължителност 60 секунди движението на автомобила се характеризира с три режима: от нулевата до десетата секунда – ускорение, от десетата до петдесетата – движение с постоянна скорост и от петдесетата до шестдесетата –спиране. За конкретния случай ускоренията са константи съответно при ускоряване $2m/s^2$, при спиране $-2m/s^2$, като движението с постоянна скорост е с $20m/s$

От условието за константно ускорение може да се запише

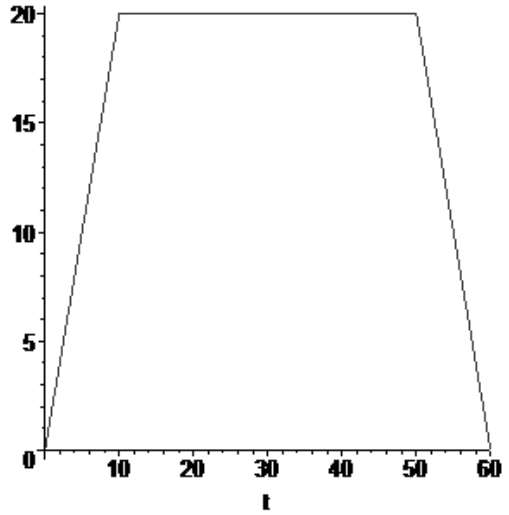
$$\frac{dV_a}{dt} = k_a, \tag{10}$$

където $k_a = const$. От (10) чрез интегриране може да се получи функцията $V_a = V_a(t)$:

$$\int_{Va0}^{Va} dV_a = k_a \int_{t0}^{t} dt \Rightarrow V_a = k_a\left(t - t_0\right) + V_0, \tag{11}$$

която за различните интервали от време съответства на различни режими на движение на автомобила(фиг. 2):

– ускоряване $0 < t < 10s$



Фиг. 2. Графика на функцията $V_a\left[m/s\right]=V_a\left(t\left[s\right]\right)$

$$V_a = k_a t, \quad k_a = 2\,m/s^2, t_0 = 0, V_0 = 0\,; \tag{12}$$

– движение с постоянна скорост $10s < t < 50s$

$$V_a = V_0 \quad k_a = 0, t_0 = 10, V_0 = 20\,m/s\,; \tag{13}$$

– спиране $50s < t < 60s$

$$V_a = k_a\left(t - t_0\right) + V_0,\ k_a = -2\,m/s^2,\ t_0 = 50,\ V_0 = 20\,m/s\ . \tag{14}$$

В следствие от (12), (13), (14) общото диференциалното уравнение (9) за движение на маховика ще добие съответният вид за всеки режим на движение :
– ускоряване $0 < t < 10s$

$$J_M \omega_M \frac{d\omega_M}{dt} + M_{TP.}\omega_M + k\omega_M^3 = -k_a t m_a\left[\delta\frac{dV_a(t)}{dt} + g\left(\sin\alpha + f\right) + k_w\left(k_a t\right)^2\right]; \tag{15}$$

– движение с постоянна скорост $10s < t < 50s$

$$J_M \omega_M \frac{d\omega_M}{dt} + M_{TP.}\omega_M + k\omega_M^3 = C_V, C_V \text{ -константа зависеща от } V_0\,; \tag{16}$$

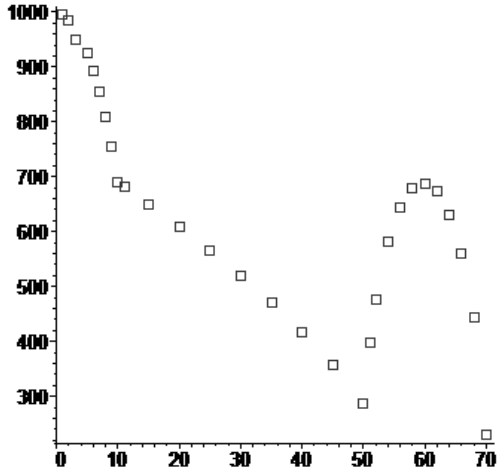
– спиране $50s < t < 60s$

$$\begin{aligned} &J_M \omega_M \frac{d\omega_M}{dt} + M_{TP.}\omega_M + k\omega_M^3 = \\ &= -\left[k_a\left(t - t_0\right) + V_0\right] m_a\left\{\delta\frac{d\left[k_a\left(t - t_0\right) + V_0\right]}{dt} + g\left(\sin\alpha + f\right) + k_w\left[k_a\left(t - t_0\right) + V_0\right]^2\right\} \end{aligned} \tag{17}$$

Уравненията (15), (16), (17) се решават числено, като решенията $\left[t_i, \omega_{Mi}\right]$ са намерени при следните стойности на параметрите, участващи в тях:

$J_M = 1\left[kg.m^2\right],\ M_{TP.} = 0,205\left[Nm\right],\ k_w = 2,5.10^{-4}\left[Nm/s^2\right],\ k\ = 3,6.10^{-6}\left[1/kg\right],\ m_a = 1000\left[kg\right]$
$\alpha = 0\,,\ f = 0,012$

Графиките на числовите решения на (15), (16) и (17), са дадени на фиг. 3, като за по-добра прегледност, са изобразени в една координатна система. Координатите на точките от графиките, са наредените двойки $\left[t_i, \omega_{Mi}\right]$.



Фиг. 3. Графика на функцията $\omega_M\left[rad/s\right]=t\left[s\right]$ ***за трите режима на движение на автомобила.***

5. МОДИФИЦИРАН ЗАКОН ЗА ДВИЖЕНИЕ НА МАХОВИКА

От графиката на фиг. 3 може да се направи извода че след спирането на автомобила в шестдесетата секунда маховикът продължава да се върти с намаляваща скорост в продължение на още десет секунди, а също така, че след развъртането си маховикът при спиране на автомобила $\left(50s\langle t\langle 60s\right)$ не е достигнал началната ъглова скорост от $1000rad/s$. Горните заключения пораждат въпроса не е ли възможно процесът да бъде изменен , така че в момента при, който $V_a=0$, маховикът да достигне началната ъглова скорост, т.е. графиката от фиг.3 да добие вида даден на фиг. 4., който условно ще бъде наречен „модифициран закон за движение на маховика". За удобство при разглежданията модифицираният и естественият закон за движение на маховика са изобразени в една и съща координатна система (фиг. 5).

Необходимото условие за реализация на модифицирания закон е:

$$E_m\left(t_2\right)-E_m\left(t_1\right)\le E\left(t_3\right)-E\left(t_2\right), \tag{18}$$

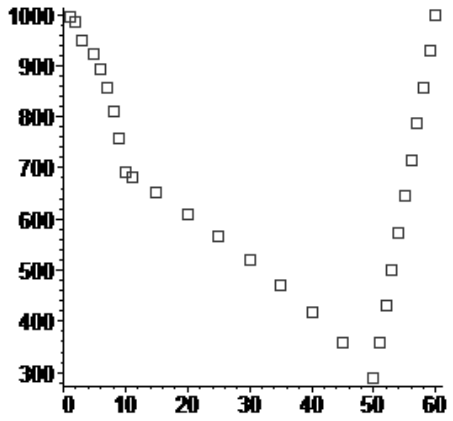
където $E\left(t_i\right)$ е енергията на маховика в съответния момент от времето отчетен от графика на фиг. 5, като $t_1=54s, t_2=60s, t_3=70s$. Енергиите $E_m\left(t_1\right), E_m\left(t_1\right)$ се отчитат от графиката на модифицираният закон, а $E\left(t_2\right), E\left(t_3\right)$ от графиката на естественият закон. След изразяване на енергиите посредством ъгловите скорости се получава

$$J_M\frac{\omega_{Mm}^2\left(t_2\right)}{2}-J_M\frac{\omega_{Mm}^2\left(t_1\right)}{2}=J_M\frac{\omega_M^2\left(t_2\right)}{2}-J_M\frac{\omega_M^2\left(t_3\right)}{2}. \tag{19}$$

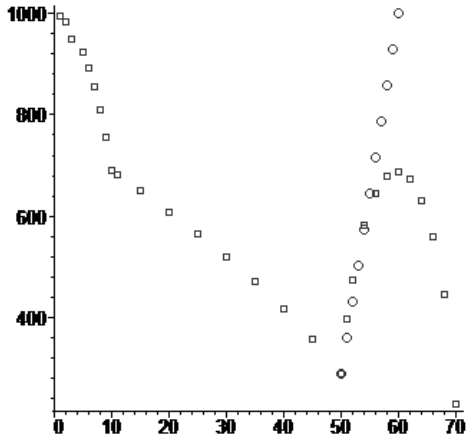
От (19) се изразява ъгловата скорост $\omega_{Mm}^2\left(t_2\right)$ и се получава

$$\omega_{Mm}\left(t_2\right)=\sqrt{\omega_M^2\left(t_2\right)-\omega_M^2\left(t_3\right)+\omega_{Mm}^2\left(t_1\right)}.. \tag{20}$$

Получената от (20) е максималната ъглова скорост на маховика, която може да се достигне в момента $t_2=60s$. при ефективно използване на енергията. При стойности $\omega_M\left(t_2\right)=688{,}19rad/s,\ \ \omega_M\left(t_3\right)=0,\ \ \omega_{Mm}\left(t_1\right)=588{,}63rad/s$ тя е $\omega_{Mm}\left(t_2\right)=914{,}18rad/s$.



Фиг. 4. Графика на функцията $\omega_M\left[rad/s\right]=t\left[s\right]$ ***за трите режима на движение на автомобила, при модифициран закон за движение на маховика.***



Фиг. 5. Графика на функцията $\omega_M\left[rad/s\right]=t\left[s\right]$ ***при естествен и модифициран закон за движение на маховика.***

Енергията $\left(\Delta E\right)$ необходима за реализиране на модифицирания закон за движение се намира от изразът

$$\Delta E = J_M \frac{\omega_{Mm}^2\left(t_2\right)}{2} - J_M \frac{\omega_{Mm}^2\left(t_1\right)}{2} \approx 245\left[kJ\right]. \qquad (21)$$

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В раздел 5 „Модифициран закон за движение на маховика" от настоящата работа е разгледан случай, при който в интервала $50 \le t \le 60$, отговарящ на режим спиране на автомобила, ъгловата скорост на маховика достига стойност $914{,}18\left[r/s\right]$, която значително се различава от стойността отчетена по т.нар. „естествен закон за движение"- $618{,}19\left[r/s\right]$. Това е възможно при два случая:

1. Маховикът да получи допълнителна енергия, чиято стойност се определя от изразът (21) т.5. На практика това може да се реализира, ако агрегатът с кинетичен акумулатор на енергия е монтиран на хибриден автомобил – система често прилагана от автомобилостроителите напоследък. В този случай електромоторът от хибридната схема ще изпълни ролята на двигател, осигуряващ развъртането на маховика до по-висока от естествената скорост.

2. Характеристика на движение на маховика, отговаряща на модифицирания закон, може да се постигне и чрез по ефикасно управление на процеса на отдаване на енергия от ходовите колела към маховика в спирачен режим от движението на автомобила. За осъществяване на това ефикасно управление е необходимо включването в схемата на агрегата устройство, което да го реализира. Този случай ще бъде разгледан от авторите в следващи работи, третиращи въпросите за машинни агрегати, използващи кинетични акумулатори на енергия.

В заключенията от настоящата работа е редно да се каже, че авторите не изключват и използуването на „естественият" закон за движение на маховика. Едно практическо приложение на този вариант е отново при автомобилите с хибридно задвижване. В случая енергията на все още, въртящият се след спиране на автомобила маховик би могла да се оползотвори за зареждане на електрическата батерия посредством работещият в генераторен режим електроагрегат на хибридния автомобил.

Друг важен извод, който може да се направи от настоящата работа е това, че при спрял автомобил маховикът е зареден максимално (т.е. върти се с максимална скорост), следователно е необходим и съединител, прекъсващ връзката между маховика и задвижващите колела на автомобила.

Въпреки усложненията изложени по-горе настоящата работа показва, че е напълно възможно акумулирането на отдаваната енергия при спиране, така че тя да бъда използвана при последващото ускоряване и движение на автомобила с постоянна скорост съобразно идеализираният цикъл даден в работата в градски условия.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията, отразени в настоящата статия, са частично финансирани по договор №102ни183-5/2010 „Теоретично и експериментално изследване на динамиката на високоскоростен ротор при въртящо се и стационарно изотропно еластично поле върху създаден за целта стенд" между НИС при ТУ-София и МТФ на ТУ-София.

ЛИТЕРАТУРА

1. Живков, В., Стоичков, К. *Управление на кинетичен акумулатор в режим „празен ход" посредством фрикционен вариатор.* Дни на механиката. Варна, **2009**.

2. Живков, В., Стоичков, К. *Управление на кинетичен акумулатор в режим „зареждане" посредством фрикционен вариатор.* Bultrib, **2009**.

3. Стоичков, К., Живков, В. *Управление на кинетичен акумулатор в режим „отдаване на енергия" посредством фрикционен вариатор.* VII[ми] Международен конгрес „Машини технологии материали", София, **2010**.

4. Живков, В. *Новата роля на маховика.* Механика на машините, №39 кн.1.

5. Джента, Дж. *Кинетические накопители енергий.*

6. Pullen, K., Ellis, C. *The Vehicle as Kinetic Energy System.* ATZ autotechnology, volume **8,** October **2008**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

гл .ас. д-р инж. Костадин СТОИЧКОВ
ТУ-София бул. „Кл. Охридски" №8
МТФ кат.ТММ
e-mail: kks@tu-sofia.bg

чл. кор. проф. д.т.н. инж. Венелин ЖИВКОВ
ТУ-София бул. „Кл. Охридски" №8
МТФ кат.ТММ
e-mail: jivkov@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

CONTROL OF KINETIC ENERGY STORAGE ACTUATING AUTOMOBILE THROUGH FRICTION C.V.T. IN DIFFERENT REGIMES MOVEMENT

Kostadin STOICHKOV **Venelin JIVKOV**

Abstract: *The work considers the question about using the kinetic energy storage as a driving system for the automobiles. Three regimes of movement – accelerated, uniform and decelerated motions are considered. The rules for the change ratio of C.V.T are also obtained for a keeping these three regime.*

Key Words: *energy, storage, kinetic, C.V.T.*

УПРАВЛЕНИЕ НА АГРЕГАТ ЗА ЗАДВИЖВАНЕ НА АВТОМОБИЛ С КИНЕТИЧЕН АКУМУЛАТОР НА ЕНЕРГИЯ ПОСРЕДСТВОМ ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР ПРИ РАЗЛИЧНИ РЕЖИМИ НА ДВИЖЕНИЕ

Костадин СТОИЧКОВ **Венелин ЖИВКОВ**

Резюме: *В работата се разглежда въпроса за използуването на кинетичен акумулатор на енергия (маховик) в задвижващият агрегат на пътно транспортно средство (П.Т.С.). Разгледани са три режима на движение на П. Т. С. – ускоряване, движение с постоянна скорост, спиране. За трите режима са намерени законите по които трябва да се изменя предавателното отношение на вариатора за поддържане необходимия режим на движение на П. Т. С. .*

Ключови думи: *енергия, акумулатор, маховик, вариатор.*

1. УВОД

Настоящата работа е продължение на публикацията „Динамичен анализ на агрегат задвижващ автомобил посредством кинетичен акумулатор на енергия” в която е получен законът за движение на маховика, на базата на идеализираната диаграма на изменението на скоростта на автомобила при движение в градски условия. Въведени и пояснени са понятията „естествен” и „модифициран” закон за движение на маховика.

2. ИЗМЕНЕНИЕ НА ЪГЛОВИТЕ СКОРОСТИ ω_2 И ω_3

Пояснение на проблемите, които разглежда настоящата работа, може да се направи с помощта на графиките изобразени на фиг. 1 и фиг. 2.
Функцията $\omega_2 = \omega_2(t)$ която дава зависимостта между ъгловата скорост на маховика и времето (виж. фиг. 1 и фиг. 2) е позната от [7]. За двата закона за движение на маховика. Функцията $\omega_3 = \omega_3(t)$ (виж. фиг. 1 и фиг. 2), показваща ъгловата скорост на входа на главното предаване на автомобила (фиг. 3), във зависимост от времето се дава с изразът

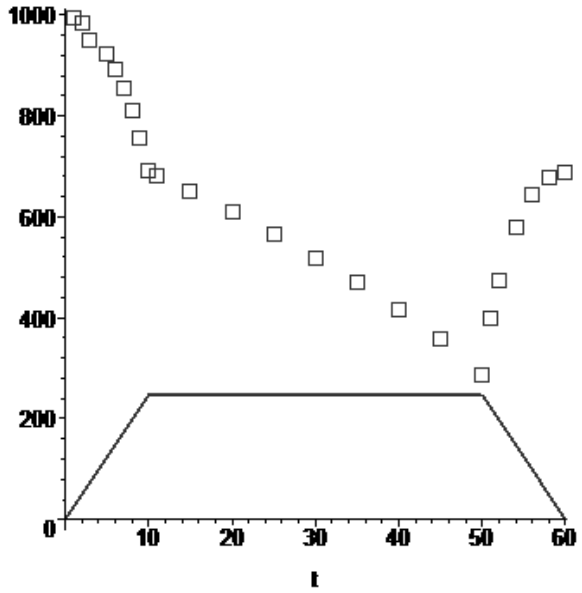
$$\omega_3(t) = \frac{i_C}{R_K} V_a(t), \qquad (1)$$

където: $i_C = 4,5$ е предавателното число на главното предаване на автомобила, $R_K = 0,365[m]$ - радиус на търкаляне на колелото, $V_a(t)$ - изменение на скоростта на

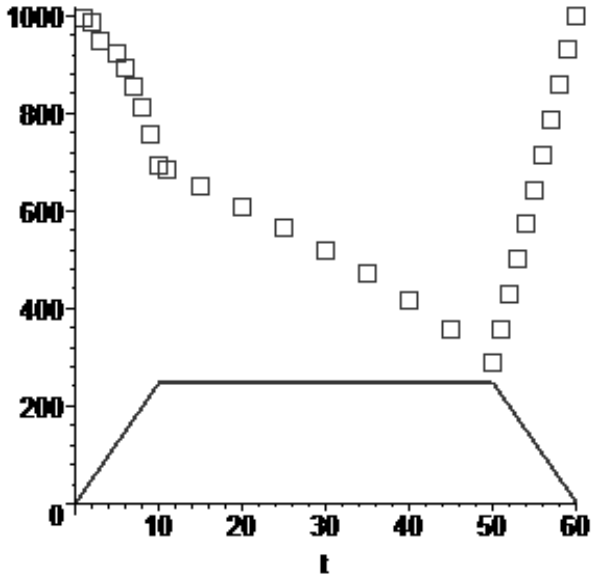
автомобила във функция на времето при различните режими на движение (връзката $V_a = V_a(t)$ е описана подробно в $[7]$).

На фиг. 1, са изобразени в една координатна система, като функции на времето ъгловата скорост ω_3 на входа на главното предаване и ъгловата скорост ω_2 при движение на маховика по „естествен" закон.

Същите функции но при движение на маховика по модифициран закон, са дадени на фиг. 2. От двете фигури ясно се вижда, че отношението между скоростите ω_2 и ω_3 значително се променя (в някои участъци на графиките в пъти), което означава, че между вала на маховика и входа на главното предаване трябва да се включи механизъм чието предавателно отношение (i_{23}) да се изменя по закона $i_{23} = \dfrac{\omega_2(t)}{\omega_3(t)}$.

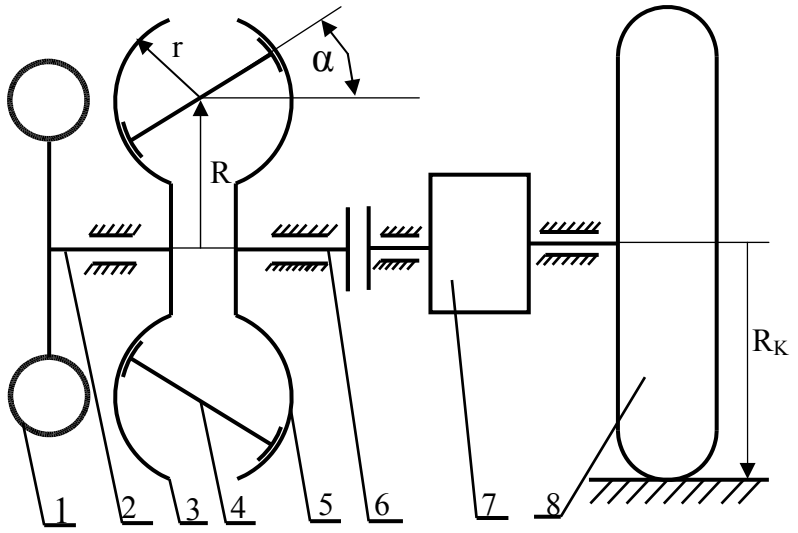


Фиг. 1. Графика на функциите $\omega_2 = \omega_2(t)$ -символ квадрати и $\omega_3 = \omega_3(t)$ - плътна линия, при „естествен" закон за движение на маховика



Фиг. 2. Графика на функциите $\omega_2 = \omega_2(t)$ -символ квадрати и $\omega_3 = \omega_3(t)$ - плътна линия, при „модифициран" закон за движение на маховика.

За оптимална работа на агрегата въпросният механизъм трябва да осигурява непрекъснато и безстепенно изменение на предавателното отношение ω_2/ω_3, което е във възможностите на фрикционните вариаторни механизми. Една схема на агрегат за задвижване на автомобил посредством кинетичен акумулатор, с включен в нея вариатор от тороиден тип е дадена на фиг. 3.



Фиг. 3. Схема на агрегат, задвижващ автомобил посредством кинетичен акумулатор на енергия.

Звената участващи в принципната схема (фиг. 1) , са както следва:

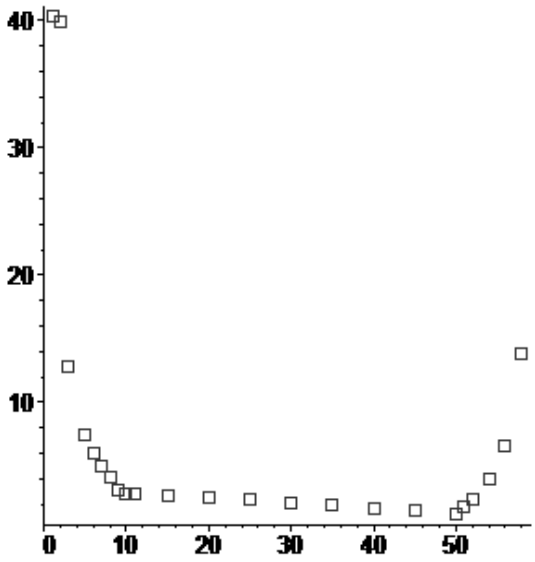
1 – Кинетичен акумулатор на енергия (маховик);
2 – Входящ вал на тороидния вариатор;
3 – Входящ тороид на вариатора;
4 – Междинни ролки на вариатора;
5 – Изходящ тороид на вариатора;
6 – Изходящ вал на тороидния вариатор;
7 – Главно предаване на автомобила;
8 – Колело.

3. ИЗМЕНЕНИЕ НА ПРЕДАВАТЕЛНОТО ОТНОШЕНИЕ НА ВАРИАТОРА

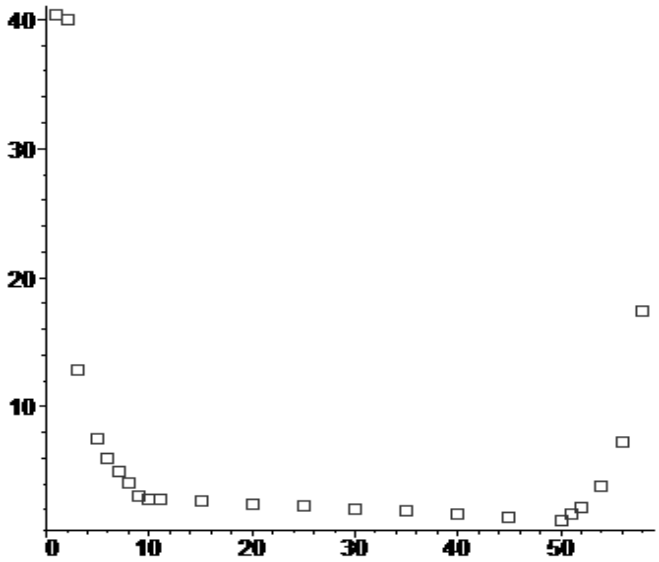
Предавателното отношение на вариатора (i_V), както се вижда от фиг. 3 е равно на отношението $\omega_2(t)/\omega_3(t)$. Функцията $\omega_2(t)$ е позната от числено решение на диференциалното уравнение за движение на маховика при различни режими на движение на автомобила $[7]$, а функцията $\omega_3(t)$ от първа точка на настоящата работа. При известни дискретни стойности на $\omega_2(t)$ и позната функция $\omega_3(t)$, се намират дискретни стойности от функцията $i_V = i_V(t)$, отговарящи на отношението

$$i_{Vi} = \frac{\omega_{2i}(t_i)}{\omega_{3i}(t_i)}. \qquad (2)$$

Графичният вид на функцията $i_V(t)$ е даден на фиг. 4 и фиг. 5 съответно за „естествен” и „модифициран” закон за движение на маховика.



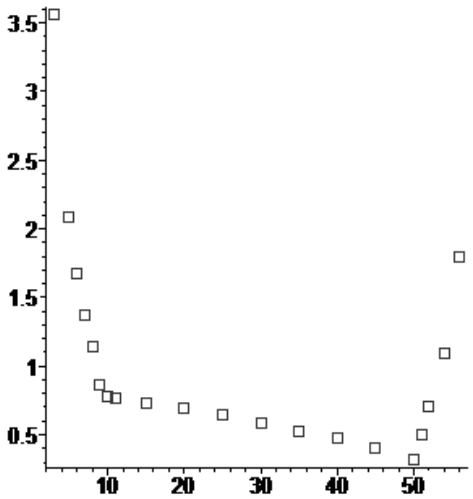
Фиг. 4. Графика на изменение на предавателното отношение на вариатора $i_V = i_V\left(t[s]\right)$ ***при „естествен" закон за движение***



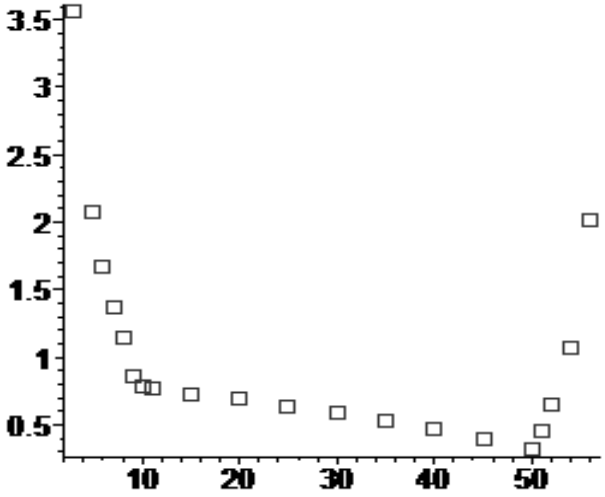
Фиг. 5. Графика на изменение на предавателното отношение на вариатора $i_V = i_V\left(t[s]\right)$ ***при „модифициран" закон за движение.***

От горните фигури се вижда, че в началото и края на графиката предавателното отношение нараства до стойности (за естественият закон при $t = 1s, i_V\left(t\right) = 40$ при $t = 58s, i_V\left(t\right) = 12$, , за модифицираният закон при $t = 1s, i_V\left(t\right) = 40$ при $t = 58s, i_V\left(t\right) = 17$),които са извън диапазонът на вариаторите тороиден тип, какъвто се използва в схемата на агрегата и, който има диапазон на регулиране $1/3,5 \div 3,5.$ Едно от решенията на горния проблем е агрегата да работи само в част от характеристиката $\left(3s \le t \le 56s\right)$, като в схемата се включи и зъбна предавка с предавателно число $i_{З.П.} = 3,6$ между маховика и входа на вариатора в следствие на което графиката от фиг. 4 и фиг. 5 добиват вида показан на фиг.6 и фиг.7.

На фиг. 6 и фиг. 7 се вижда, че при въведените по горе условия диапазонът на регулиране на вариатора се променя до стойности $0,28 \le i_V \le 3,5$, които могат да се реализират от тороиден вариатор.



Фиг. 6. Графика на изменение на предавателното отношение на вариатора $i_V = i_V(t)$ ***при „естествен" закон за движение и включване на зъбна предавка***



Фиг. 7. Графика на изменение на предавателното отношение на вариатора $i_V = i_V(t)$ ***при „модифициран" закон за движение и включване на зъбна предавка***

4. УПРАВЛЕНИЕ НА ВАРИАТОРА

Както е известно [2], [3] предавателното отношение на тороидния вариатор се променя посредством изменение на ъгъла α, като връзката между i_V и α е:

$$i_V(\alpha) = \frac{R + r\sin\alpha}{R - r\sin\alpha}, \tag{3}$$

от където може да се изрази

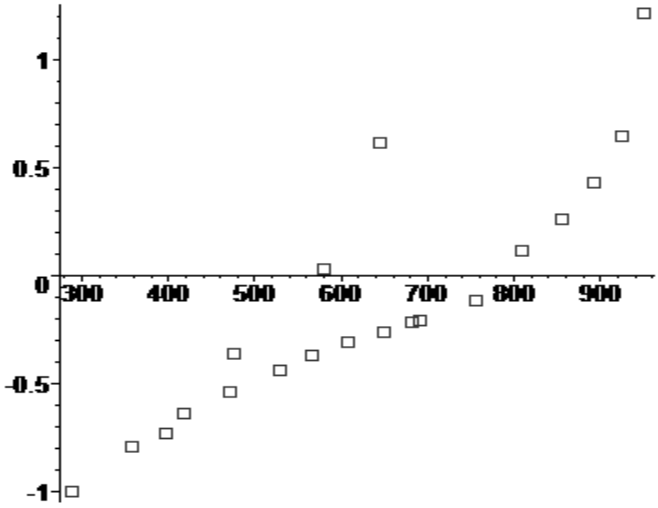
$$\alpha(i_V) = -\arcsin\frac{R(i_V - 1)}{r(i_V + 1)} \tag{4}$$

От до тук направените извеждания, са известни функцията $\alpha = \alpha(i_V)$ и дискретните стойности на функцията $i_{Vi} = i_{Vi}(t_i)$, следователно може да се получи поредица дискретни стойности на α от вида $\alpha_i = \alpha_i(t_i)$.

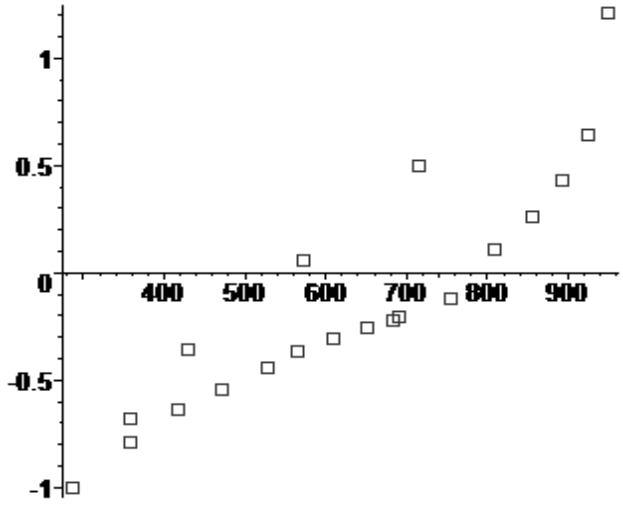
Практичният подход за определяне на стойностите α_i изисква те да бъдат определени във вида $\alpha_i = \alpha_i(\omega_{2i})$, защото в този случай управлението на вариатора ще получава сигнал от датчика за ъгловата скорост на маховика. Дискретните стойности α_i ще бъдат дадени от изразът

$$\alpha_i = -\arcsin\frac{R\left[i_{Vi}(\omega_{2i})-1\right]}{r\left[i_{Vi}(\omega_{2i})+1\right]}, \tag{5}$$

като $i_{Vi}(\omega_{2i})$ ще бъдат получени от наредените двойки $\left[t_i, \omega_{2i}(t_i)\right]$ и $\left[t_i, i_{Vi}(t_i)\right]$ след изключване на времето. Графичният образ на дискретните стойности $\alpha_i(\omega_{2i})$ е даден на фиг. 9, и фиг. 10 за съответните закони за движение на маховика като отчитането на ъгъл α започва по низходящата крива от точка с координати: $\omega_{2i} = 940\,rad/s.$, $\alpha_i = 1,21\,rad$, стига до стойност $\alpha_i = -1\,rad$ и след това расте отново до $\alpha_i = 1,21\,rad$ за модифицираният закон и до $\alpha_i = 0,7$ за естественият закон.



Фиг. 9 Графика на изменение на ъгъл $\alpha[rad] = \alpha\left(\omega_2[rad/s]\right)$ ***при „естествен" закон за движение и включване на зъбна предавка***



Фиг. 10 Графика на изменение на ъгъл $\alpha[rad] = \alpha\left(\omega_2[rad/s]\right)$ ***при „модифициран" закон за движение и включване на зъбна предавка***

5. ИЗВОДИ

От настоящата работа може да се направи важният извод, че за ефикасната работа на агрегат с кинетичен акумулатор, чието предназначение е задвижването на автомобил, в схемата на агрегата трябва да са включени следните звена : маховик, зъбен механизъм с подходящо избрано предавателно отношение, управляем съединител от фрикционен или друг тип, позволяващ плавно изравняване на ъгловите скорости на неговите входящ и изходящ вал, вариаторен механизъм с необходимият диапазон на изменение на предавателното отношение. При конструирането на разглеждания агрегат трябва да се има предвид загубата на енергия предизвикана от геометричното плъзгане във вариатора, както и мощността необходима за относителното преместване на звената на вариатора в процеса на изменение на предавателното отношение. Тези два параметъра, зависят от типа на вариатора монтиран в конструираният агрегат. Въпросите свързани със загубата на енергия от геометричното плъзгане и допълнителната мощност за регулиране предавателното отношение на вариатора ще бъдат разгледани в бъдещи работи на авторите.

За оптималното управление на вариатора, също така е необходима система за обратна връзка следяща скоростта на автомобила и ъгловата скорост на маховика, като последната показва с каква енергия е зареден кинетичният акумулатор.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията, отразени в настоящата статия, са частично финансирани по договор №ДОО-106-5/12.2008 „Иновационен център за върхови научни постижения, развитие и трансфер на технологии" с насоченост в областта на микроелектромеханични системи (МЕМС) и рекуперииране на енергия между НИС при ТУ-София и ФОНД „НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ", МОМН на РБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Живков, В., Стоичков, К. *Управление на кинетичен акумулатор в режим „празен ход" посредством фрикционен вариатор.* Дни на механиката. Варна, **2009**.

2. Живков, В., Стоичков К. *Управление на кинетичен акумулатор в режим „зареждане" посредством фрикционен вариатор.* Bultrib, **2009**.

3. Стоичков, К., Живков, В. *Управление на кинетичен акумулатор в режим „отдаване на енергия" посредством фрикционен вариатор.* VII[ми] Международен конгрес –„Машини технологии материали", София, **2010**.

4. Живков, В. *Новата роля на маховика.* Механика на машините, №39, кн.1.

5. Джента, Дж. *Кинетические накопители енергий.*

6. Pullen, K., Ellis, C. *The Vehicle as Kinetic Energy System.* ATZ autotechnology, volume **8,** October **2008**.

7. Живков, В., Стоичков, К. *Динамичен анализ на агрегат за задвижване на автомобил с кинетичен акумулатор на енергия при различни режими на движение на автомобила.* 26-та Международна научна конференция „65 години МТФ", Созопол, **2010.**

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

гл. ас. д-р. инж. Костадин СТОИЧКОВ
ТУ-София бул. „Кл. Охридски" №8
МТФ кат.ТММ
e-mail: kks@tu-sofia.bg

чл. кор.проф. д.т.н. Венелин ЖИВКОВ
ТУ-София бул. „Кл. Охридски" №8
МТФ кат.ТММ
e-mail: jivkov@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ONE POSSIBILITY FOR THE NUMERICAL SOLUTION OF THE PROBLEM FOR OPTIMAL CONTROL

Stefan GARABITOW

Abstract: *The article examines the state of the object described by a system of ordinary differential equations and changing under the influence of external factors - controls. If it is necessary to go from one state to another condition by optimal way, the problem is very complicated. Analytical solvable tasks are few and even the slightest deviation from their original form, greatly complicates the decision. Several direct numerical methods for determining the optimal management has developed, but only few can be used for practical tasks.*

Key Words: *Numerical solution, optimal control.*

ЕДНА ВЪЗМОЖНОСТ ЗА ЧИСЛЕНО РЕШАВАНЕ НА ЗАДАЧАТА ЗА ОПТИМАЛНО УПРАВЛЕНИЕ

Стефан ГАРАБИТОВ

Резюме: *При необходимост един управляем обект, описан с диференциални уравнения, да премине по оптимален критерий от едно начално състояние в друго състояние, то следва да бъде определена кривата в пространството на състоянията по която да стане преместването. В общия случай управлението не може да се избира произволно, тъй като реални технически условия му налагат определени ограничения. Теоретичното решение на такива задачи е неимоверно сложно и се налага използването на числени методи.*

Ключови думи: *числено решение, оптимален контрол.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМА

Състоянието на обект, описано със система от обикновени диференциални уравнения се изменя под въздействие на външни въздействия – управления. Функциите описващи състоянието на обекта – фазовите координати на обекта, зависят от фазовия вектор, който от своя страна е дефиниран във фазовото пространство. Състоянието на обекта зависи от големината на управляващите въздействия, които се обединяват във вектор на управлението в пространството на управлението.

Ако е необходимо обекта да премине от едно начално състояние в друго състояние, то кривата в пространството на състоянията, по която става това е траекторията, която следва да бъде определена. В общия случай управлението не може да се избира произволно, тъй като реални технически условия му налагат определени ограничения.

Новото състояние е достижимо, ако съществува допустимо управление, което довежда системата от началното състояние в крайното.

При еднакви начални състояния на дадената динамична система, но при различни допустими управления се получават в общия случай различни функции на състоянието и, следователно различни процеси. Затова има смисъл да се говори за такъв процес, който е оптимален в определен смисъл. Съответстващото на оптималния процес е оптималното управление, съответстващото състояние е оптимално, а съответната траектория е оптимална. В конкретните задачи често трябва да се реализира управление за достигане целта за минималното възможно време, или с минимални разходи на енергия, или с максимален икономически ефект и пр.

2. ПРОБЛЕМ

За решаване на подобни задачи се е развил математически раздел, изучаващ некласически вариационни задачи. Задачите, който позволяват обаче аналитично решение, са малко на брой и

дори малкото отклонение от първоначалния им вид усложнява решението неимоверно. Има разработени и няколко преки метода за числено определяне на оптималното управление, като едва напоследък, вследствие нарастващата мощ на изчислителните машини, могат да се използват за практически задачи. Тази статия е един опит за прилагане на класически числов метод в среда на МАТЛАБ без ограниченията върху броя на променливите, налагани в класиката.

Дискретно оптимално управление [1,2].

Зададена е динамична система, описана с дискретните уравнения:

$$x_{i+1} - x_i = f_i(x_i, u_i), x_i \in \Re^{\nu}, u_i \in \Re^{\mu}, i = 0,1,...,k-1, \tag{1}$$

където x_i - е фазовото състояние на системата, а u_i - действащото на системата управление в момент i. Да се намери последователността от управления:

$$U = (u_0, u_1, ..., u_{k-1}) \tag{2}$$

и съответстващата и траектория:

$$X = (u_0, u_1, ..., u_k), \tag{3}$$

определено от (1), минимизиращо целевата функция:

$$\sum_{i=1}^{u-1} f_i^0(x_i, u_i) + \phi(x_k), \text{ при ограниченията } \begin{array}{ll} s_i(u_i) \le 0, & i = 0,1,...,k-1 \\ g_i(x_i) = 0, & i = 0,1,...,k \\ q_i(x_i) \le 0, & i = 0,1,...,k-1 \end{array} \tag{4}$$

Тук всички функции $f_i : \Re^{\nu} \times \Re^{\mu} \to \Re^{\nu}$, $f_i^0 : \Re^{\nu} \times \Re^{\mu} \to \Re^1$, $\phi : \Re^{\nu} \to \Re^1$, $s_i : \Re^{\mu} \to \Re^{\mu_i}$, $g_i : \Re^{\nu} \to \Re^{l_i}$, $q_i : \Re^{\nu} \to \Re^{m_i}$ са непрекъснато диференцируеми. Цялото число *к* задава продължителността на управляемия процес.

3. ПРЕДЛАГАНО РЕШЕНИЕ

За зададената динамична система:

$$r = f(x_0, x_1, ..., x_k, u_0, u_1, ..., u_{k-1}) \tag{5}$$

се въвежда се вектор:

$$z = (x_0, x_1, ..., x_k, u_0, u_1, ..., u_{k-1}) \tag{6}$$

и се полага:

$$f(z) = \sum_{i=1}^{u-1} f_i^0(x_i, u_i) + \varphi(x_k) \tag{7}$$

$$r(z) = \begin{pmatrix} x_1 - x_0 - f_0(x_0, u_0) \\ \vdots \\ x_k - x_{k-1} - f_{k-1}(x_{k-1}, u_{k-1}) \\ g_0(x_0) \\ \vdots \\ g_k(x_k) \end{pmatrix} \tag{8}$$

$$f(z)=\begin{pmatrix} q_0(x_0) \\ \vdots \\ q_k(x_k) \\ s_0(u_0) \\ \vdots \\ s_{k-1}(u_{k-1}) \end{pmatrix} \tag{9}$$

Тогава задачата за дискретното оптимално управление добива вида на задача от нелинейното програмиране:

$$\min\left\{f^0(z) \mid \ f(z)\le 0, r(z)=0\right\} \tag{10}$$

Тази задача може да се реши лесно с готовите пакети на приложните програми като MATLAB, Mathematica и др.

4. ПРИМЕР

4.1.Аналитично решение:

За поясняване на предлагания метод може да се разгледа пример на базата на аналитично решим пример за оптимално управление. Зададената механична система се описва с:

$$\begin{aligned} &\dot{y}=v \\ &\ddot{y}=\dot{v}=u \\ &y(0)=v(0)=0\,,\ y(1)=v(1)=1\,. \end{aligned} \tag{11}$$

Да се намери оптимално управление, при което се минимизира интеграла:

$$\Im=\int_0^1 u^2 dt\,. \tag{12}$$

След решение, според принципа за максимума на Понтрягин[3], се получава:

$$u(t)=-6t+4 \tag{13}$$

4.2.Числено решение:

Първоначално за изясняване на процеса са избрани само 5 интервала на разделяне на изследвания период.

$$k=5,\qquad \Delta t=\frac{1}{5},\qquad z=\left(y_1,y_2,...,y_5,v_1,v_2,...,v_5,u_1,u_2,...,u_5\right) \tag{14}$$

$$r(z)=\begin{vmatrix} \dfrac{y_1-y_0}{\Delta t}=v_1 \\ \dfrac{v_1-v_0}{\Delta t}=u_0.v_0+k.y_1 \\ ... \\ \dfrac{y_5-y_4}{\Delta t}=v_5 \\ \dfrac{v_5-v_4}{\Delta t}=u_4.v_4+k.y_5 \end{vmatrix} \qquad r(z)=\begin{vmatrix} \dfrac{x_2-x_1}{\Delta t}=x_8 \\ \dfrac{x_8-x_7}{\Delta t}=x_{13}.x_7+k.x_2 \\ ... \\ \dfrac{x_6-x_5}{\Delta t}=x_{12} \\ \dfrac{x_{12}-x_{11}}{\Delta t}=x_{17}.x_{11}+k.x_6 \end{vmatrix}$$

$$r(z)=\begin{vmatrix} x_2 - x_1 - x_8\Delta t = 0 \\ x_3 - x_2 - x_9\Delta t = 0 \\ x_4 - x_3 - x_{10}\Delta t = 0 \\ x_5 - x_4 - x_{11}\Delta t = 0 \\ x_6 - x_5 - x_{12}\Delta t = 0 \\ x_8 - x_7 - x_{13}.x_7.\Delta t - k.x_2.\Delta t = 0 \\ x_9 - x_8 - x_{14}.x_8.\Delta t - k.x_3.\Delta t = 0 \\ x_{10} - x_9 - x_{15}.x_9.\Delta t - k.x_4.\Delta t = 0 \\ x_{11} - x_{10} - x_{16}.x_{10}.\Delta t - k.x_5.\Delta t = 0 \\ x_{12} - x_{11} - x_{17}.x_{11}.\Delta t - k.x_6.\Delta t = 0 \\ x_1 = 1 \\ x_7 = 1 \\ x_6 = 0 \\ x_{12} = 0 \end{vmatrix} \quad (15)$$

Задачата се свежда до минимизация на:

$$\Im = \int_0^1 u^2 dt = \left(\sum_{13}^{17} x_i^2 \right), \quad (16)$$

$$\vec{A} \times \vec{X} = \vec{b}, \quad (17)$$

$$\vec{X} = \left(x_1, x_2, ... x_{12} \right) , \quad (18)$$

$$\vec{b} = \left(b_1, b_2, ... b_{12} \right) , \quad (19)$$

$$\vec{A}(14 \times 17) \text{ се определят от } \begin{vmatrix} \frac{1}{\Delta t} x_1 - \frac{1}{\Delta t} x_0 - v_0 = 0 \\ \frac{1}{\Delta t} x_2 - \frac{1}{\Delta t} x_1 - v_1 = 0 \\ \frac{1}{\Delta t} x_{i+1} - \frac{1}{\Delta t} x_i - v_i = 0 \\ ... \\ y_0 = 0 \\ v_0 = 0 \\ y_5 = 1 \\ v_5 = 1 \end{vmatrix} \quad (20)$$

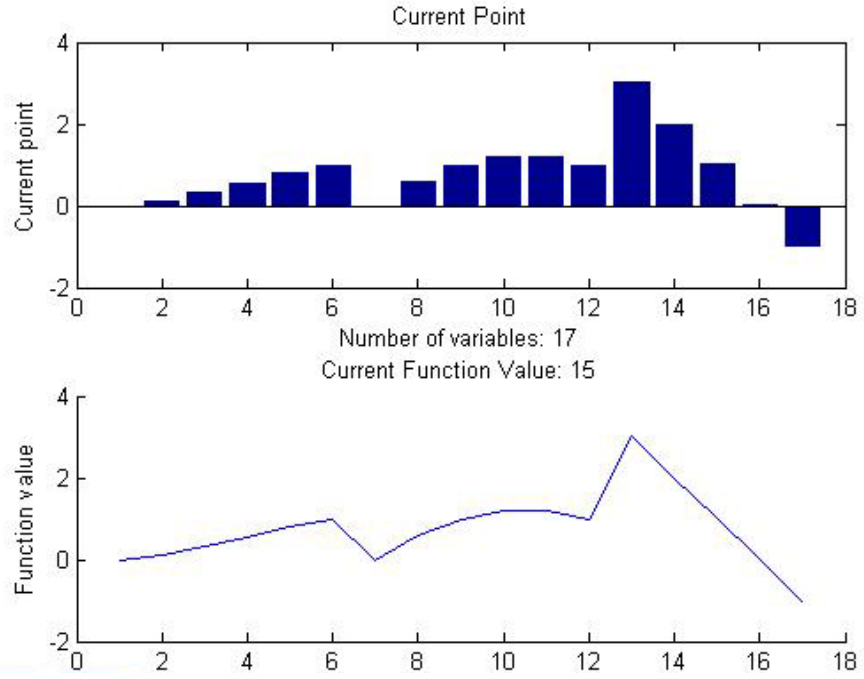
$\vec{A} =$

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}
	y_0	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	v_0	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4
1	-1	1						-1/k									
2		-1	1						-1/k								
3			-1	1						-1/k							
4				-1	1						-1/k						
5					-1	1						-1/k					
6							-1	1					-1/k				
7								-1	1					-1/k			
8									-1	1					-1/k		
9										-1	1					-1/k	
10											-1	1					-1/k
11	1																
12							1										
13						1											
14												1					

$\vec{b} =$

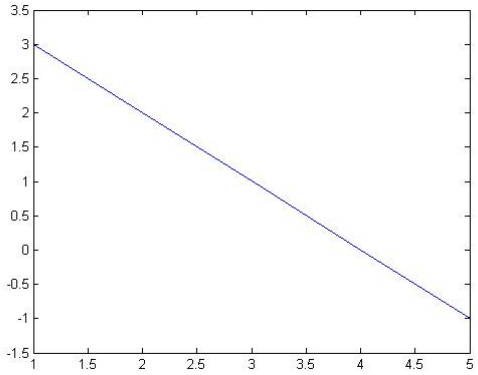
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_6	b_7	b_8	b_9	b_{10}	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{14}	b_{15}	b_{16}	b_{17}
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Резултатите след оптимизацията са показани на Фиг. 1.



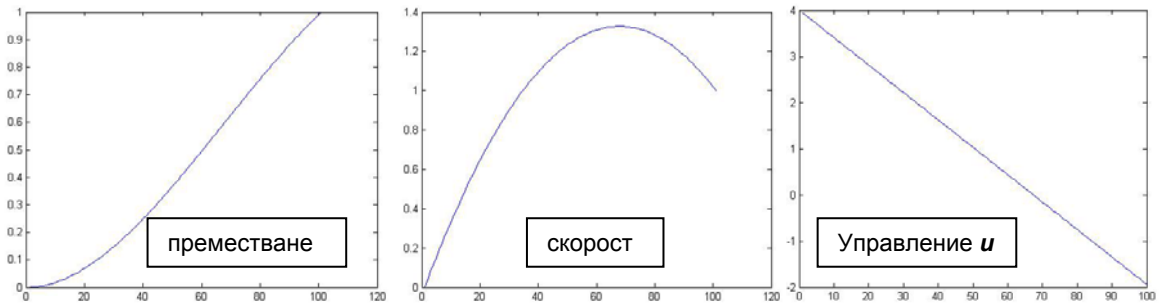
Фиг. 1. Резултати след оптимизацията

Полученото оптимално управление $u = f(t)$ е показано на Фиг. 2.



Фиг. 2. Резултати след оптимизацията

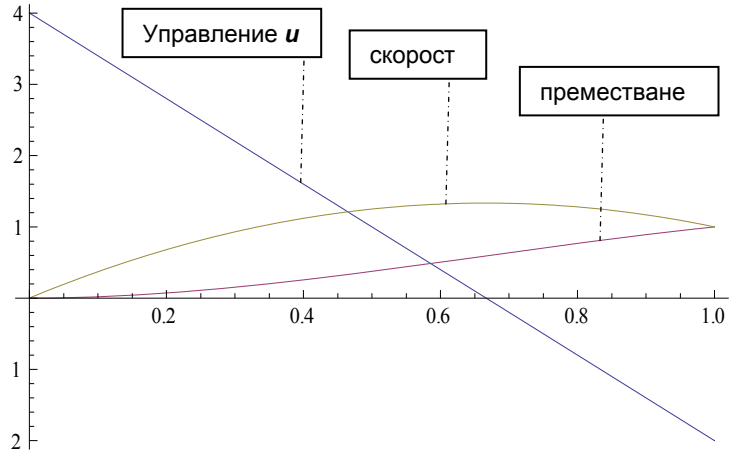
Посоченият брой на интервалите е само за обяснение на процеса. За по точно решение на задачата интервала е разделен на 100 т.е. $k = 100$. Резултатите след оптимизацията са показани на Фиг. 3.:



Фиг. 3. Резултати след оптимизацията при к=100

5. СРАВНЕНИЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Сравняването на теоретичното решение, чиято графика е показана на Фиг. 4, с полученото чрез числено решение, чиято графика е показана на Фиг. 3, показва пълно съвпадение при брой на интервалите $k = 100$.



Фиг. 4. Резултати от теоретичното решение

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При брой на интервалите к=100 и повече решенията получени по теоретичен път и тези по цифров, се покриват напълно. Т.е. прилагането на класически числов метод за нелинейно програмиране позволява решението на задачи от оптималното управление без ограниченията върху броя на променливите налагани в класиката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эльголц, Л. ДифференциалЬные уравнения и вариационное исчисление. ИздателЬство „Наука”, Москва, **1965**.
2. Алексеев, В.М., Тихомиров, В.М., Фомин, С.В. Оптимальное управление. Москва, Наука, **1979**.
3. Математическая теория оптимальных процессов. 2 изд.. М., **1969** (авт. Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко); Красовский Н. Н., Теория управления движением. М., 1968; Моисеев Н. Н., Численные методы в теории оптимальных систем, Москва, **1971**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р Стефан ГАРАБИТОВ
ТУ-София, МТФ, кат. ТММ
e-mail: stefang@tu-sofia.bg

МЕХАТРОНИКА И МЕХАТРОННИ СИСТЕМИ

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEAMS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

DYNAMICS AND OPTIMISATION IN MECHATRONICS

Petko KIRIAZOV **Ivanka VENEVA**

Abstract: *We consider the problem of overall design optimization of mechatronic systems (MS) like robot manipulators, controlled vehicles, or engineering systems with active shape/vibration control. Along with the basic design requirement for strength/load capacity, additional design criteria are needed to meet the continuously increasing demands for faster response, motion precision, and reduced energy cost. Several examples will be given to illustrate the main features and advantages of the proposed integrated structure-control design concepts.*

Key Words: *integrated structure-control design, optimization*

ДИНАМИКА И ОПТИМИЗАЦИЯ В МЕХАТРОНИКАТА

Петко КИРЯЗОВ **Иванка ВЕНЕВА**

Резюме: *Разгледан е проблемът за цялостното оптимално проектиране на мехатронни системи, каквито са манипулационните и мобилните роботи, както и механични конструкции с активно управление на форма или вибрации. Наред с основното изискване за якост и товароносимост, необходими са допълнителни оптимизационни критерии, за да се отговори на непрекъснато нарастващите изисквания за бързина, точност на движението и намален разход на енергия. Ще бъдат дадени няколко примера, за да се илюстрират главните черти и предимства на предложените концепции.*

Ключови думи: *мехатронни системи, оптимизация на конструкция и управление.*

1. INTRODUCTION

Difficulties to study MS are mainly due to their complex dynamics and external disturbances. To design and control such complex systems, appropriate nominal dynamic models are needed and they have to be easily and accurately identifiable. At first, the structure of the input-output relations between the subsystems has to be defined, i.e., numbers and locations of inputs and outputs and their interconnections. This structure reflects the type of the control subsystem: centralized or decentralized. In practice, the decentralized manner of control has been adopted for its main advantages to the centralized one: simplicity, reliability and faster response. A common feature of the design methods for linear, time invariant, systems with such control structure is that stability in the face of parameter uncertainties can be ensured if the control transfer matrix (TM) is generalized diagonally dominant (GDD), [1-3]. The GDD-condition on TM has been found to be necessary and sufficient for MS to be robust against arbitrary, but otherwise bounded disturbances, [4-6].

Our study is motivated by the need of efficient methodologies for design optimisation of MS like robot manipulators, controlled vehicles, or engineering systems with active shape/vibration control. Along with the basic design requirement for strength/load capacity additional design criteria for MS are needed to meet the continuously increasing demands for faster response, improved precision and reduced energy consumption. As MS present functionally directed compositions of mutually influencing components: control, actuator, mechanical, and sensor subsystems, it is indispensable to have a conceptual framework for their integrated structure-control design. In addition, the time and cost of the overall research and design process have to be competitive.

Nominal dynamic models can be derived considering the flexible in general MS as compositions of rigid bodies connected by joints, springs, dampers, and actuator forces. Using such a model, we define control TM playing a central role in our approach for integrated structure-control design. Applying the nonnegative matrix theory, relevant design criteria are derived on the basis of necessary and sufficient conditions for robust decentralized controllability. The main feature of these criteria is

that they enable a decomposition of the overall design task into a sequence of design solutions for the MS components, *Fig.1*. Thus the work of the different design teams can be coordinated and performed very efficiently.

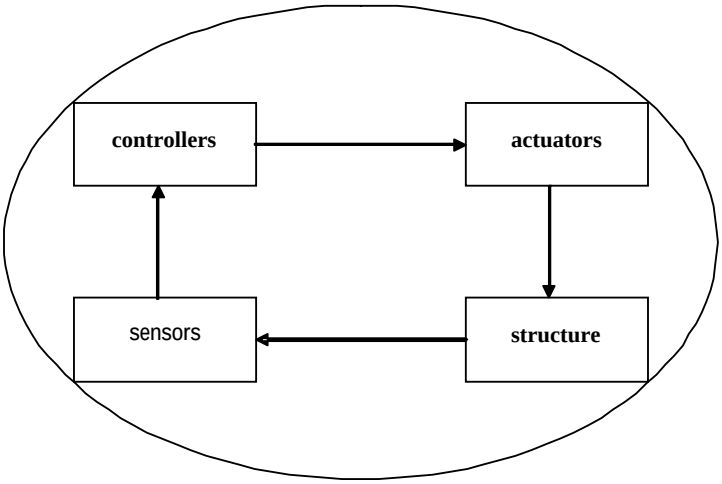


Fig. 1. MS - compositions of mutually influencing components

The proposed design methodology has the following main steps:

1) Model structure identification including optimal input-output assignment;
2) Design of the MS hardware based on the proposed criteria and the basic design requirement for strength/load capacity;
3) Parameter identification for control design purposes; decomposition of the overall identification task into several easy-to-solve problems, [7];
4) Optimization of the feedforward and feedback control to achieve best dynamic performance.

The efficiency of our methodology will be demonstrated on several examples of robot manipulators and space platforms with decentralized controllers.

2. ON DESIGN OPTIMIZATION OF MECHATRONIC SYSTEMS

The conflicting demands to MS for better accuracy, faster response and reduced energy cost impose stringent requirements to its subsystems:

- control subsystem has as small as possible sampling frequency; the feedforward control laws are time/energy optimized and the feedback controllers are optimal and robust;
- actuators are as light and powerful as possible; their placements are most appropriate for both the mechanical and control subsystems;
- mechanical subsystem is as light and inflexible as possible; it may be equipped with springs and dampers in order to reduce undesirable vibration motion;

The requirements stated above are rather contradictory and we should search for optimal trade-offs between them. To do that, we need some quantitative relations between the design parameters and an overall design criterion which optimization leads to the best possible dynamic performance of the MS. Further, as the design of the subsystems of MS is usually performed by different design teams, our main guideline in setting and solving the overall design problem will be such that this problem can be decomposed into a series of design problems for the sub-systems.

Before setting the problem of robust integrated design of a MS, we have to define the structure of the input-output relations between its subsystems. First, we have to define those outputs to be controlled which, on one hand, can be measured or quickly estimated in some way, and on the other hand, best characterize the MS performance. Then, for each controlled output we have to define such a control (manipulated) input which mostly influences (affects) it. That can be done by a sensitivity analysis using a model properly representing the MS or merely by engineering intuition.

3. MATHEMATICAL MODELLING FOR DESIGN AND CONTROL

3.1. Dynamics Modeling

MS are in general highly non-linear dynamical systems due to dynamic couplings, friction, backlash, elasticity, actuator limits, and load change. The mechanical subsystem, though actually

flexible, can be approximated by a composition of rigid bodies connected by joints, springs, dampers, and actuator forces, [8]. Applying this approach, the dynamic performance can be described by the following system of differential equations

$$\ddot{q} = M(q)^{-1}(Bu - C(q,\dot{q}) + g(q)) \tag{1}$$

where, *q* is the vector of the links' rotation angles, *M* is the inertia matrix, *C* is the vector of velocity forces, *g* stands for friction and gravitation forces, matrix *B* represents the actuator location, and *u* is the vector of actuator torques.

By feedforward control, we can compensate to some extent for the inertia, velocity, friction and gravitation forces. Then, the following reduced model for the error dynamics can be used for the purpose of feedback control

$$\ddot{e} = A(q)u + d \tag{2}$$

where $e = q - q^{ref}$ and $A = M(q)^{-1}B$ is the control TM; vector *d* stands for uncompensated terms, as well as for measurement and environment noises.

3.2. Design Criteria

As a measure of tracking precision, we take the absolute value of $s = \dot{e} + \lambda e$, $\lambda > 0$. We consider decentralized controllers, which means that, during motion, the stabilizing control force u_i of each actuator depends solely on the corresponding controlled output s_i.

A decentralized controller is robust against random disturbances *d* with known upper bounds $\overline{d}$ if it gets the local subsystem state $(\dot{q}, q)$ at each joint to track the desired state $(\dot{q}^{ref}, q^{ref})$ with maximum allowable absolute values $\overline{s}$ of errors *s*. A necessary and sufficient condition for a dynamic system (1) to be robustly controlled by a decentralized controller is that matrix *A* be GDD, [4-6]. With *A* being GDD, the non-negative matrix theory [8] states that there always exists a positive vector $\overline{u}$ solving the following system of equations

$$A_{ii}\overline{u}_i - \sum_{j \neq i} |A_{ij}| \overline{u}_j = \overline{d}_i \tag{3}$$

Eqs. (3) present optimal trade-off relations between the bounds of model uncertainties and the control force limits. The greater the determinant *D* of this system of linear equations, the less control forces are required to overcome the disturbances. In other words, *D* quantifies the capability of MS to be robustly controlled in a decentralized manner. For these reasons, *D* can be taken as a relevant integrated design index for the subsystems whose parameters enter the control TM.

4. INTEGRATED STRUCTURE-CONTROL DESIGN

The linearity of (3) makes it possible a decomposition of the overall design problem into design problems for the MS's components: (1) mechanics, (2) actuators, and (3) controls. This order will correspond to the hierarchy in a multi-level optimization procedure in which a series of design problems for these subsystems are to be solved.

A. Mechanics
- design parameters: all inertial/geometrical data;
- design constraints: strength and GDD conditions;
- design objective: maximize *D*;

B. Actuators
- design parameters: actuator masses and positions;
- design constraints: strength and GDD conditions;
- design objective: maximize *D*;

C. Controls
- design parameters: control gains;
- design constraints: optimal trade-off relations (3);
- design objective: minimize the control effort;

The overall design problem for MS with decentralized control structure thus can be decomposed into a convergent sequence of design solutions for their subsystems.

For the feedback stabilization, we can use sliding-mode controllers or other bounded-input controllers, and the magnitudes of the control functions are estimated from the optimal trade-off relations (3). To avoid chattering, the following continuous control functions of saturation type can be used

$$u_i(s_i) = \bar{u}_i \, \mathrm{sat}(s_i / \delta_i), i = 1,...,n \tag{4}$$

where: $\mathrm{sat}(y) = y$ if $|y| < 1$; $\mathrm{sat}(y) = \mathrm{sgn}(y)$ if $|y| \geq 1$

5. CASE STUDIES

5.1. Bounce/Pitch Motion of a Platform, Fig.2

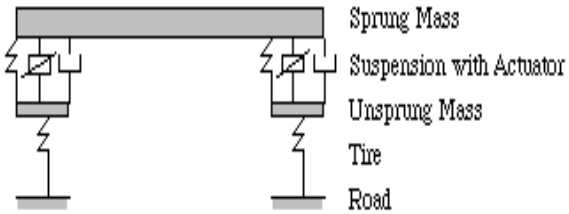


Fig. 2. Bounce/pitch motion of a platform

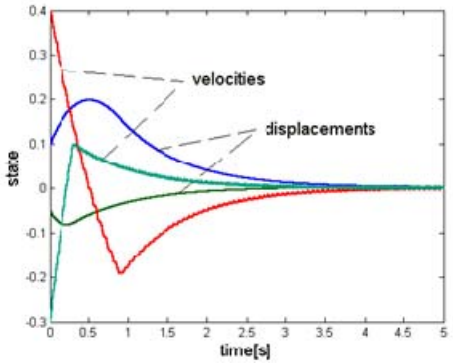


Fig. 3. Motion stabilisation

Such a dynamic system satisfies the GDD-condition and our control design approach can be applied. The minimum control force limits that are needed to cope with the disturbances and provide the robot with a decentralized controllability have to be determined from the following system of linear equations:

$$\begin{aligned} &(I + ml_f^2)\bar{u}_f - \left|I - ml_f l_r\right|\bar{u}_r = gmI + \bar{d}_f \\ &-\left|I - ml_f l_r\right|\bar{u}_f + (I + ml_r^2)\bar{u}_r = gmI + \bar{d}_r \end{aligned} \tag{5}$$

In the numerical considerations, random disturbances with non-zero mean value are applied. It was found that the motion stabilization control can be robust even when the disturbance magnitudes take values up to 80% of the nominal accelerations (produced by the nominal control forces). The robust transient behaviour, starting from a non-zero initial state, is depicted in *Fig. 3*.

5.2. Manipulator with Elastic Joints

The dynamic performance of a rigid-link elastic-joint manipulator, *Fig. 4*, can be described, by a system of differential equations, [9]:

$$\begin{aligned} &M(q)\ddot{q} = K(q_{mot} - q) - v(q,\dot{q}) - g(q) \\ &J(q)\ddot{q}_{mot} = u - K(q_{mot} - q) - C\dot{q}_{mot} \end{aligned} \tag{6}$$

Here, u are the motor torques, q_{mot} and q represent the motor and the corresponding link rotations, and the diagonal constant matrices *K, J,* and *C* represent the elasticity, inertia, and damping of the joint actuators, respectively. The motors do not, however, directly drive the manipulator. According to Eq. $(6)_1$, its driving torques are $K(q_{mot} - q)$, generated due to the joints elasticity. Thus, we have a complicated MBS to control but we can take advantage of the fact that the response of the actuators can be much faster than that of the manipulator.

Using design relations (3), we find first the optimal ratio between the magnitudes of the driving torques. Then, we design a stabilizing controller composed of two PD controllers: one is to provide the necessary magnitudes for the driving torques and the other is for tracking the required accuracy.

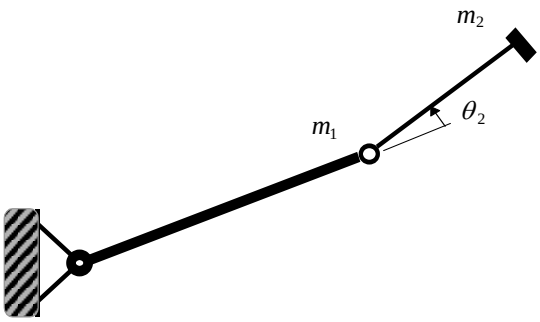


Fig. 4. Manipulator with rotational joints

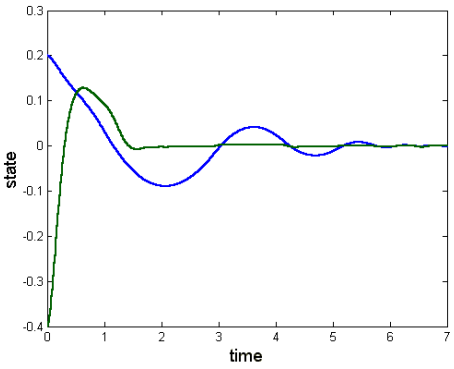


Fig. 5. Link position errors

A computer simulation is done in the worst case of stretched-out manipulator configuration. It is found that, even with substantial external disturbances, the link position errors converge to zero, as shown in *Fig. 5*.

5.3. On Designing Active Orthoses

We have designed a control system for ankle-foot orthosis with one degree of freedom which foot segment is connected to the shank segment by a rotational joint. A direct drive actuator is attached laterally to the AFO, [10]. The control signals are received from two sensor arrays incorporated in the foot part of AFO and in the insole of the healthy leg which is basement of the control algorithm, *Fig.6*. A feedback with Proportional-Integral-Derivative control was used to estimate the trajectory of the foot and positioning the actuated foot segment of AFO when the foot rotates about the ankle. During each gait cycle a microcontroller estimates forward speed and modulates swing phase flexion and extension in order to assure automatic adaptation of the joint torque, [11, 12]. The ankle foot orthoses device and the applied PID control discussed in this paper can be used in cases of the drop foot treatment and also for possible applications of this device in rehabilitation.

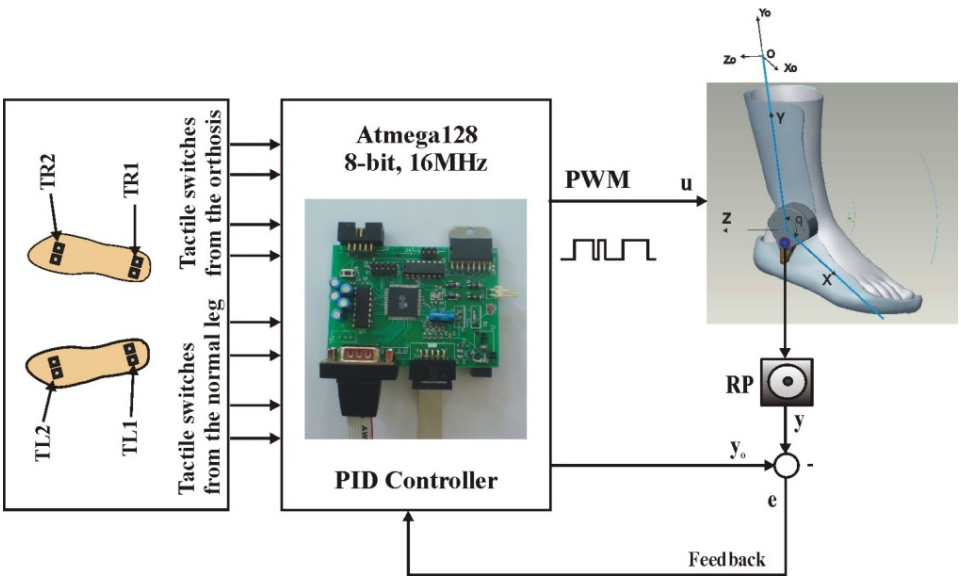


Fig.6. Autonomous Control System with Active Ankle-Foot Orthoses

When one has to design control systems for orthoses with more than one degree of freedom, such rehabilitation devices have to be robust enough with respect to external disturbances. The power of the actuators and the gains of the controllers can be optimally determined following the methodology presented in the previous sections.

6. CONCLUSION

The proposed design optimisation criteria do not conflict with the basic design requirement for strength/load capacity. Moreover, they allow for a decomposition of the overall design problem into easy-to-solve design problems for the MS's components. In this way, we can successively optimize the mechanical structure, the sizes and locations of the actuators, and at the final design stage, decentralized controllers with maximum degree of robustness can be designed. Further research will be devoted on studying the integrated structure-control design of rehabilitation devices.

REFERENCES

1. Lunze, J. *Feedback Control of Large-Scale Systems*. Prentice Hall, UK, **1992**.
2. Nwokah, O. D. I., C.-H. Yau. *Quantitative Feedback Design of Decentralized Control Systems*. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 115 , **1993**, pp.452-466.
3. Siljak, D. *Decentralized Control of Complex Systems*. Academic Press, **1991**.
4. Kiriazov, P. *Necessary And Sufficient Condition for Robust Decentralized Controllability of Robotic Manipulators.* Proceedings .of American Control Conference, Baltimore MA, **1994**, pp.2285-2287.
5. Kiriazov, P. *Robust Decentralized Control of Mechanical Systems*. Solid Mechanics and its Applications, Vol.52, Ed. D. van Campen, Kluwer Acad. Publ., **1997**,pp.175-182.
6. Kiriazov, P., E. Kreuzer, F.C. Pinto. *Robust Feedback Stabilization of Underwater Robotic Vehicles*. Journal of Robotics and Autonomous Systems, Vol. 21, **1997**, pp.415-423.
7. Kiriazov, P. *Efficient Approach For Dynamic Parameter Identification and Control Design of Structronic Systems*. Solid Mechanics and its Applications, Vol. 89, Eds. U. Gabbert and H. Tzou, Kluwer Publ, **2001**, pp.323-330.
8. Schiehlen, W. (Ed.) *Multibody Systems Handbook*. Berlin: Springer, **1990.**
9. Lim, S. Y., D.M. Dawson, J. Hu, M.S. de Queiroz. *An Adaptive Link Position Tracking Controller for Rigid-Link Flexible-Joint Robots Without Velocity Measurements*. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part B, vol. 27, No.3, **1997**, pp.412-427.
10. Veneva, I., S. Milusheva, Y. Toshev. *Control of Active Ankle-Foot Orthosis and Applications in the Rehabilitation Robotics*. 8th International Robotics Conference, Varna, Bulgaria, **2005**, Proceedings of Papers, pp.157-162.
11. Veneva, I., Y. Toshev. *Control Algorithm For Ankle-Foot Orthosis and Applications*. 9th International Robotics Conference, Varna, Bulgaria, **2007**, Proceedings of Papers, pp. 225-230
12. Veneva, I., G. Boiadjiev. *Mathematical Model of Electromechanical Controlled Module in Orthopedics*. 6th International Conference on Bionics and Prosthetics, Biomechanics and Mechanics, Mechatronics and Robotics, Varna, Bulgaria, **2008**, Proceedings of Papers, pp. 22-26.

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof. PhD Petko KIRIAZOV
Institute of Mechanics, Bulgarian Academy of Sciences
Acad. G. Bonchev Str., bl.4, BG-1113 Sofia, Bulgaria
E-mail: kiriazov@imbm.bas.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ВГРАДЕНА СИСТЕМА ЗА ДОСТЪП НА НЕЗРЯЩИ ДО КОМПЮТЪРНИ РЕСУРСИ

Димитър КАРАСТОЯНОВ Станислав СИМЕОНОВ

Резюме: *Докладът разглежда видовете групи хора с увредено зрение, които се затрудняват да ползват съвременните компютърни ресурси чрез графична потребителска среда. Описаната в статията разработка си поставя за цел концептуално изграждане на прототип на комбиниран тактилно-гласов интерфейс, улесняващ работата на хора с увредено зрение с компютрите. Системата ще включва: входно устройство (Touch Screen), управляващ контролер, специализирана (Брайлова) клавиатура, гъвкава тактилна матрица, тонколони и микрофон.*

Ключови думи: *увредено зрение, компютърен интерфейс, гласова обратна връзка.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Нека започнем с някой факти (данните са цитирани от Dark&Light mission in relation to the Millenium Development Goals), [2]:

Всеки пет секунди на света ослепява човек, а всяка минута ослепява дете;

Приблизително 90% от слепите хора живеят в развиващите се страни;

Около три четвърти от слепите деца в са в развиващи се страни в Азия и Африка.

2. НАПРАВЛЕНИЯ, ПО КОИТО СЕ РАБОТИ

В международен мащаб, проблематиката за достъп на незрящи до компютърни ресурси е много актуална. Световните и европейските изследвания са насочени в няколко направления, [4]:

a) социална адаптация на незрящите — позволяват адаптация на хора със зрителни увреждния и тяхното обучение по професии, свързани с използването на компютри и ИТ-технологии;

b) разработка на брайлови терминали и принтери, и адаптацията към компютърни системи- налично е производството на брайлови терминали и принтери от доста водещи европейски и световни фирми. Неудобството при тях се състои във факта, че не съществува единна система за изобразяване на графични и математически елементи (напр. интеграл, корен — в математически смисъл и др.). Брайловите терминали са с ограничена употреба в страната поради високата цена и не удобни за съвременните потребителски инттерфейси;

c) гласови синтезатори или друга форма на обратна връзка - тези технологии, разработени доста преди графичните интерфейси дават възможност за създаване на опростена обратна връзка към потребителите във вид на гласови текстови команди. Наличието на графични интрерфейси и налагането им като стандарт за използване от потребителите значително усложняват работата на незрящите със съвременната компютърна техника, [5];

d) разработка на специализирани хептични интерфейси на базата на електрически адресируем и деформиращ се полимерен слой или електролити. За момента не съществува работещ протоптип и той поне в началото ще е прекалено скъп, [3].

3. ОСНОВНА ИДЕЯ

С помощта на информационните технологии ние разработваме апаратно и програмно опростен комбиниран интерфейс за хора с увредено зрение, позволяващ на незрящите да работят с графични потребителски среди и улесняващ навигацията при работа с Интернет приложенията.

3.1. Маркетингов преглед

3.1.1. Таргетна група

Изхожда се Dark&Light mission in relation to the Millenium Development Goals. Таргетната група, към която се насочваме е представена в таблица 1. В нея цитираме данни и предвиждания от световната здравна организация.

Таблица 1. Статистика и предвиждания на хората с увредено зрение

Година	Общ брой незрящи	Пълно слепи	Незрящи деца
2002	161 000 000	37 000 000	1 400 000
2010	310 000 000	72 000 000	2 100 000

На този етап остъавяме горе цитираните числа без коментар. Социалната насоченост на нашата разработка мотивираме посредством факта, че 25% от незрящите живеят в западния пацифик, 19% са в Африка, 34% са в Югоизточна Азия, 7,4% в Европа, 6,6% в Америка и т.н.

3.1.2 Незрящи в ИТ технологиите

В момента се наблюдава тенденция на увеличаване броя на хората с увредено зрение, които работят с компютри. В европейските страни и водещите световни икономики е масова практика да се асоциират незрящите в ИТ-технологиите. Прилагането на тези познания ще позволи интеграцията на тези хора в обществото и тяхната реализация не само в традицонни до сега сфери – икономика, право, филология, социални дейности. Те ще могат да се реализират все по успешно като системни и мрежови администратори, като специалисти в практико-приложни направления – от програмиране и настройка на компютърно и комуникационно оборудване – до работа с клиенти в т.н. Центрове за телефонно обслужване, [6].

3.1.3. Незрящи и съвременното общуване с компютъра

През последното десетилетие, естествената еволюция на потребителските интерфейси се ориентира към стандартен модел базиран изключително към визуалните представяния. Този процес ограничава хората с увреждания при използването на компютрите и при достъпа им до новите технологии. Разработката на приложения за такива хора изисква използване на нови технологии, инструментариум и комуникационни медии. За един незрящ потребител е невъзможна самостоятелната работа с CMOS setup utility, той не може да инсталира OS, дори да работи в safe mode в MS Windows. За незрящия потребител е трудна навигацията в рамките на нрастващия брой интерактивни мрежови приложения.

Стила на общуване с компютърната система е основно понятие, което описва начина по който потребителя комуникира и/или общува със същата. В най-общи линии това са менюта, директна манипулация на файлове и естествени езици. Въвеждането на графичните интерфейси води своето начало още през 1980г., с т.н. псевдо графически представяния на помощни елементи. След 1990г., графичните интерфейси навлязоха масово не само в рамките на управлението на отделни програми, но и като помощно средство за ефективно управление на ресурси в операционните системи. Графичните интерфейси се характеризират с принцип на работа базиран на директна манипулация на обекти на средата от страна на потребителя. Такива интерфейси се характеризират с интерпретация на директни потребителски действия (като селектиране, изтегляне и др.) върху визуалните представяния на интерфейсните обекти (напр. икони), използвайки определени входни устройства. Тази дефиниция на стил, е възможно да се обобщи и като стил от тип WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointers). Това понятие се използва в съответствие с графичния потребителски интерфейс (GUI). Такива интерфейси използват графично представяне на елементи като прозорци, бутони и икони. За манипулация с отделните графични обекти се използват специализирани входни устройства, позволяващи интуитивни действия на потребителите. Потребителите изпълняват определени действия върху тези обекти, използвайки входните устройства. Стилът WIMP лесно се изучава и използва. Повечето приложения притежават единен начин на изображение и единен стил за работа, улеснявайки по този начин потребителите. Очевидно, много от придобивките, които носи със себе си стила WIMP нямат приложение при хората с увредено зрение. След 1990г. при миграцията от текстови интерфейси в офисите и компаниите, работните места на много хора с увредено зрение бяха застрашени, [7].

4. МОТИВАЦИЯ И СИСТЕМНО ОПИСАНИЕ

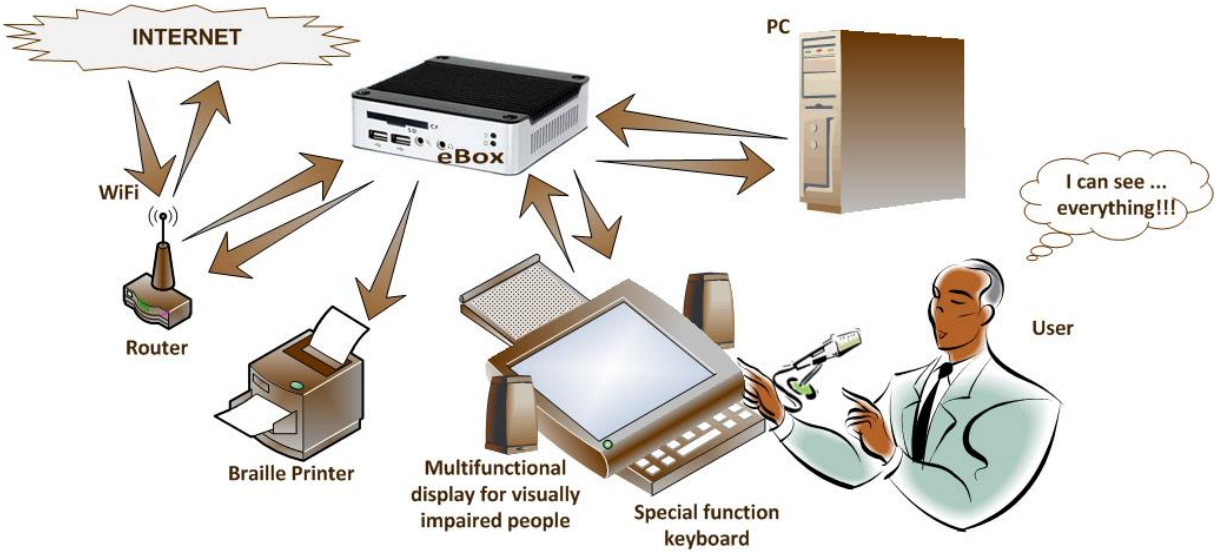
4.1. Цел на разработката

От гледна тока на операционната система, интерфейсът представлява най-високия слой, посредством който се осъществява комуникацията от тип човек-компютър, [1]. Организацията на графичната опериращa структура на интерфейса, позиционирането на командите, осветените пространства, клавиши, икони и др., улесняват работата на нормално виждащите компютърни потребители много повече, отколкото преди. Графичната структура на интерфейса е един много мощен инструмент. Навлизането и широкото приложение на графичните интерфейси доведе със себе си голямо количество проблеми на хората с увредено зрение. Графичните интерфейси, изградени на базата на визуални представяния и директна манипулация върху обекти възпрепятства хората с увреждания на зрението при пълноценното използване на компютъра.

С нашата разработка си поставяме за цел: **концептуално изграждане, проектиране и създаване на прототип на комбиниран тактилно-гласов интерфейс, позволяващ и улесняващ работата на хора с увредено зрение с компютрите, без оглед на вид потребителския интерфейс, операционна система и ориентиран към графични повърхности.** Така дефинирана, целта е насочена към осигуряване условия за работа на хора с увредено зрение. В този аспект е необходимо да се прави разлика между различните категории потребители с увредено зрение:

- хора с частично увреждане на зрението, но над 80%, което чувствително ограничава тяхната мобилност;
- хора с пълна загуба на зрение, в резултат на злополука, болест и други обстоятелства, които в активен житейски период са притежавали нормално зрително възприятие;
- хора с пълна загуба на зрение, в резултат на наследствено заболяване, увреждане и други обстоятелства, които не са притежавали нормално зрение в активен период от живота си, т.е. не познават визуалното представяне на предметите в действителност.

4.2. Обща системна архитектура



Фиг. 1. Системна архитектура и мястона интерфейса за незрящи

На фиг. 1 е показана обща схема на разработвания от нас интерфейс и мястото му в рамките на компютърна система, работеща в мрежа.

Централна роля в него играе изборът на eBox-3310AMSJK. Причината е неговата функционалност, малки размери и универсалност. В изграждания прототип той в комбинация с Windows Embedded CE ще позволи сравнително улесняване при изграждането на апаратната и програмна част.

4.3. Компоненти на системата

В таблица 2 са представени предвидените апаратни компоненти на интерфейса.

Таблица 2 Спецификация на основните блокове

Компонент	Функционално описание
Touch Screen	Входно устройство за незрящи
eBox-3310A-MSJK	Основен управляващ компонент
Специализирана клавиатура	Реализира превключване на режими
Брайлова матрица (евн. 64x64)	Изображение на графични нерегнисцируеми елементи
Тонколони (слушалки)	Гласов канал към потребителя
Микрофон	Гласов (команден) канал от потребителя

4.4. Функционално описание

По същество, това автономно устройство се базира на основата на архитектурата на персоналните компютри, снабдено с операционна система от тип реално време. Автономността на проектираното устройство е предпоставка за реализация на формализираните функции, без значение от типа на операционната система, която ще се използва в компютъра на потребителя. В това отношение Windows предлага по добри възможности за работа с графични обекти. На практика, ще се реализира комуникация между автономното устройство, което ще представлява специализирания интерфейс за незрящи и компютъра на незрящия потребител. На самото устройство се предвижда вграждане на специализирана клавиатура, която да притежава допълнителна функционалност и е удобна за работа на незрящи. Тя е локална за автономното устройство и ще компенсира функционално компютърната мишка. Touch Screen-а, в комбинация с вибрационно устройство и гласовия канал към и от потребителя ще предоставят тактилна възможност за комуникация на потребителя с компютъра. Независимо от липсата на визуален контакт, хората с увредено зрение се сдобиват с информация за обкръжаващия ги свят използвайки други свои сетива, особено докосването. Посредством докосването, човекът с увредено зрение може да възприеме форма, големина, текстура, позиция в пространството и др. Този процес, в сравнение с визуалното възприемане на информация е труден за осъществяване, но позволява на хората с увреждане на зрението да получат добра степен на разбиране на обкръжаващата ги среда. Експериментирайки с колеги, с увредено зрение, установихме, че в процеса на възприемане на околната среда, те си изграждат ментален модел за възприемане на околния свят. Той представлява съвкупност от операции, които са много сходни между всички незрящи. Съществува набор от точно определени движения на ръката и пръстите, интуитивно използвани от хората за възприемане на различни физични свойства на обектите чрез докосване Тези съвкупности, формално наречаме проучвателни процедури. Такава формализация ни позволява да търсим решението на проблема по използване на графични повърхности посредством създаване на обратна връзка към индивида, която ще е не само тактилна, но и гласова.

В програмно отношение ще се работи в две направления. Едното е свързано с модификация на функции в ядрото, предоставящи възможности за работа от тип реално време. Другото направление е създаване на специализирана библиотека за класификация на графичните елементи от хоста, към който е свързан интерфейса. На този етап не се предвижда изграждане на собствена възпроизвеждаща гласова система, като екипа е добре запознат с наличната speech система в новите версии на MS Windows – Windows 7. Експериментите показаха доста добри резултати при възпроизводство на глас.

5. СТРАТЕГИЯ НА ПРОЕКТИРАНЕ И РАЗРАБОТКА

Задачата, която сме си поставили и формализирали е доста сложна и обемна. В стратегията по проектиране и създаване на Embedded System-та е заложена последователност от задачи за изпълнение, които са обсъждани преди това и с други институции. Ето последователността, която ще изпълним за реализация на основната цел на проекта:

- Уточняване на крайния клиент който ще се яви потребител за целта установихме контакти с Министерство на образованието, Министерство на труда и социални грижи, Центрове за подпомагане и обучение на невзрящи и други недържавни организации;
- Обособяване на отделните функционални блокове, описани в таблица 2;
- Формално описание на комуникация незрящ-компютър, съобразявайки отделните групи - хора с частично увредено зрение, хора с пълна загуба на зрение и хора с пълно увредено по рождение зрение;

- Уточненяване на типовете апаратни блокове и избор на управляващия модул – евентуално вградена система подобна на eBox-3310A-MSJK, touch screen, брайлова матрица и специализиран клавиатурен блок, функционални клавиши;
- Дефиниция на комуникационните интерфейси между отделните компоненти, включително итерфейс-хост;
- Вграждане на системата в рамките на интерфейса, както физически, така и билдване на необходимия имаге; На този етап са налични вече готови модули и драйвери, които работят коректно на настолен персонален компютър, което е предпоставка за тяхното сравнително безпроблемно портиране в Embedded средата;
- Това представлява най-тежкия етап от реализацията – установяване на унифицирани програмни интерфейси към приложните програми. Самото приложно програмиране за реализация на отделните функции не представлява голям проблем, но унификацията на обръщенията на приложните програми, извън програмните пакети на Microsoft, ще представлява един от обозримите проблеми. Екипът се концентрира нпреди всичко към програмни пакети на Microsoft;
- Практически тест на системните функции и основна функционалност на интерфейса Етапът не е обемист от гледна точка на програмирането, но е много важен за цялостната реализация на проекта;
- Последен етап при реализация на разработката - предоставяне необходимата документация след проектирането на всеки един модул.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектираната система ще улесни работата на хора с увредено зрение с компютрите, без оглед на вид потребителския интерфейс, операционна система и е ориентирана към графични повърхности. Планирани са резултати в основните направления за работа – социална адаптация на незрящи, брайлови терминали и принтери, връзка чрез гласови синтезатори, специализирани хептични интерфейси.

БЛАГОДАРНОСТИ

Докладът е спонсориран по проект с НФНИ-МОМН № ДИД 02/14 - 2009 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карастоянов, Д., *Управление на мехатронни системи*., Акад. Издателство “Марин Дринов”, София, **2006**

2. *A Step toward the Light*. **2007**, LLP-LdV-TOI-**2007**-TR-067.

3. Brewster, S. The Impact of Haptic ´Touching´ Technology on Cultural Applications. Proc. of **EVA2001**, Glasgow, UK, Vasari UK, s28, **2001**. pp1-14. Retrieved November, 13, **2004.**

4. *Dosvox . Projeto DOSVOX. Grupo de Computação Eletrônica, Universidade Federal do Rio de Janeiro*, **1998**, Portuguese, Retrieved November, 13, **2004**

5. Kamel, H. M., P. Roth, & R. R. Sinha. *Graphics and User´s Exploration via Simple Sonics (GUESS): Providing Interrelational Representation of Objects in a Non-visual Environment.* Proceedings of the International Conference on Auditory Display, Espoo, Finland, **2006**.

6. Vanderheiden, G. C. *Fundamental Principles and Priority Setting for Universal Usability*. Proceedings of the ACM Conference on Universal Usability, **2006**

7. Zajicek, M. *Increased accessibility to standard Web browsing software for visually impaired users..* International Conference on Computers for Handicapped Persons (ICCHP), Karlesruhe, **2004.**

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

ст.н.с. д-р Димитър КАРАСТОЯНОВ
Централна лаборатория по мехатроника и приборостроене – БАН
1113 София, ул. “ак. Г. Бончев” бл. 2
e-mail: dimikara@abv.bg, GSM 0885-533-517

доц. д-р Станислав СИМЕОНОВ
Бургаски свободен университет
8001 Бургас, ул. “Сан Стефанов” № 62
e-mail: stan@bfu.bg, GSM 0887-878-427

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

EDUCATION IN MECHATRONICS AT THE TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA

Todor NESHKOV **Lubomir DIMITROV**

Abstract: *The new demands of the industry have lead the Technical University of Sofia, Bulgaria, to develop a new course in Mechatronics. In February 2000, a "Mechatronics Education" symposium was organized in Sofia. The participants were members of the departments of Mechanical and Electrical Engineering at TU-Sofia and from the similar Departments of TU-Ilmenau, Germany, TU-Nish, Yugoslavia, and TU-Skopie, Macedonia. This event lead to the establishment of an academic network for co-operation in this area. The purpose of the co-operation is to set up the basis of the education in Mechatronics. The co-operation has been successfully implemented through the common participation in a DAAD-financed international project called "Mechatronics" under the coordination of Prof. Helmut Wurmus from TU-Ilmenau. Partners in this project are also the Department of Automation of Discrete Production Engineering at TU-Sofia and the Institute of Fine Mechanics and Optics-TU Budapest, Hungary.*

Key words: *academic network, international co-operation, education in Engineering, Mechatronics.*

1. INTRODUCTION

The new demand on engineers for interdisciplinary skills and knowledge and the ability to produce fresh ideas and products for the fast changing market caused the development of educational programs in IMS and Mechatronics in many countries around the world. These programs vary to some extent in their concepts and contents. Different universities offer whole undergraduate or graduate courses or just separate disciplines in these specialties. However almost all educating institutions stress on the integration of the basic engineering areas: Mechanical, Electrical, Computer and Control Engineering. Another common feature of the proposed programs is the need for hands-on experience that allows the students gain the ability to design intelligent manufacturing systems and mechatronic systems on their own and the perspective to start promising engineering careers. There are differences in the number and kind of taught disciplines, the instruction approach, and the structure of laboratory exercises, the projects tasks and requirements. This paper reviews attitudes toward and program features of IMS and Mechatronics education in some countries. It also presents the concepts and the curriculum of the course of Mechatronics in the Mechanical Engineering Department in Technical University – Sofia in Bulgaria and the IMS discipline incorporated in this course.

2. IMS AND MECHATRONICS EDUCATION AROUND THE WORLD

The broad areas of IMS and Mechatronics education provide for the different approaches of preparing students for the dynamic market of highly integrated products. Some universities organize such education programs within a given department (Mechanical, Electrical, and Control Engineering Department) or with the cooperated efforts of several departments. Some programs include subjects not from all four basic engineering areas or are concentrated around one spinal discipline (e. g. control engineering). The differences are caused by the views of the educating bodies and by the needs of the local industries.

Craig (2001) puts the stress on the “balance between modeling/analysis skills and hardware implementation skills”. He also asserts the need for mechanical engineers to be proficient in control design in order to produce novel concepts in their design activities. They should include modeling, simulation, analysis, and mathematics together with their former hardware experience in generating new prototypes together with engineers from other areas. There are two senior elective courses in the Rensselaer Polytechnic Institute, “Mechatronics” and “Mechatronic System Design”, each lasting for one semester. Craig describes the programs as helpful for the engineers in learning how to apply the

classical control designs as an incorporated part of their own design. Students are taught with an emphasis on understanding the physical and mathematical fundamentals. The main issues are Modeling and Analysis of Dynamic Systems, Feedback Control of Dynamic Systems, analogue and digital electronics and control implementation and simulation with latest software products. The first course includes lab exercises with five mechatronic systems, while the second one includes projects for four-person teams that fully develop mechatronic systems and present them in written and oral form. Craig also emphasizes on the need of experience of the instructing stuff in order to teach modeling.

Wikander et al. (2001) claim that a new mechatronic approach is needed where a shift from mechanical hardware to computer software to be established in implementation of functionality. According to them the older subsystem-based approach of designing the separate homogeneous subsystems and interfacing them afterwards does not provide the full integration of the design process of a given mechatronic system. They propose as an educational approach the system in the Swedish Royal Institute of Technology with a five-year curriculum where interdisciplinary courses are integrated in an existing program of mechanical engineering. The courses usually deal mostly with the design process and the acquired knowledge of the various engineering disciplines by the students is achieved by problem-based learning, with team organization. Examples of courses in the Institute above following the given principles are: “Microcomputers in Embedded Systems”, “Advanced Course in Mechatronic System Design”, “Real-Time Control and Programming”. Alciatore (2001) asserts restructuring the core mechanical engineering undergraduate curriculum toward mechatronics program, as well.

Siegwart (2001) provides a discussion on mechatronics education in the Swiss Federal Institute of Technology of Lausanne (EPFL) and ETHZ, Zurich, and particularly the “Smart Product Design” course in the latter one. Students there “bond” their basic interdisciplinary knowledge of elements of mechatronic systems, electric circuits, sensors, actuators, controllers, control and artificial intelligence, etc. with the help of design, system integration, teamwork, project management, communication and controlling activities. They gain all the skills through projects where theory meets practical illustration. The projects consist of building mobile robots, where every student team receives a kit (“smartROB design kit”) and an assignment for the tasks the robot should be able to fulfill. Before starting, the participants in the “Smart Product Design” course have both lecture and laboratory work. Various subjects are covered that are not all familiar to the students and the latter communicate with engineers from different areas in order to achieve the integration required in the mechatronic system design. In the end of each course, all robots from the projects participate in a contest. This element adds more motivation to the studies.

The practical education is an emphasis also in the Ritsumeikan’s Department of Robotics (Nagai, 2001). The exercises in the courses of advanced robotics there are held from the second until the last year in the university. As for the previous case system, integration is a basic purpose for the students to achieve. Despite the great difficulties they meet, they receive background knowledge and experience in order to proceed with their careers and research in robotics.

Tomizuka (2002) states: “Issues surrounding integration as well as working in team cannot be taught in lecture courses. Students must experience them, and in this regard laboratory courses are essential in mechatronics education.”

In addition, he emphasizes on the need for drawing the attention of students toward mechatronics at an early stage (high school and college) and that IT tools have to be broadly incorporated into engineering education. Tomizuka describes a 15-week course in mechatronics design that covers various disciplines and ends with the presentation of projects developed by 3-4-person teams.

Brown and Brown (2002) express their preference toward the approach of project based practical engineering and to support it with theoretical learning. They place the basic questions concerning mechatronics education about the owner of this type of courses, the contents, and the way to “teach such a different philosophy with such a wide range of diverse subjects”. The solution attained at Hull University is the control engineering part to be the spinal subject and other subjects come from other departments. The four-year mechatronics program contains mostly project work and supporting lectures. Active learning and quick adaptation are aimed by solving a large-scale design problem, which is put in place of traditional predetermined laboratory exercises. According to the representatives of the university above, self-reliance, motivation, creativity and understanding are built in students by following that approach.

Mechatronic education at the University of South Carolina is being developed together with programs of Smart Structures and Adaptive Materials in the Mechanical Engineering Department in cooperation with the departments of Electrical Engineering and Computer Science and Engineering. Giurgiutiu et al. (2002) discuss the work at that university toward finding methods to teach multidisciplinary courses and organizing multidisciplinary project working teams. They state: “Today’s and tomorrow’s products are intertwined blend of mechanisms, sensors, actuators, electronics, and

information technology. The ideal graduate should be able to hit the ground running in all these areas concurrently in order to achieve maximum performance with minimum training/adaptation time. … Of course the “ideal graduate” is not a physical reality but a graduate with a broad Mechatronics education will come pretty close to it.”

A track system, similar to that in the University of Washington, is proposed, where the courses are to be covered by the Electrical and Mechanical Engineering Departments and the one of the tracks is Mechatronics.

The course sequence in Mechatronics in the University of Arkansas at Little Rock described by Wright (2002) is a supplementary one for the system-engineering program there. The pursued task is to teach mechanical design to the students of that program. The multidisciplinary character of this type of undergraduate education is formed by the following sequence: Introduction to Engineering, C Programming, Elements of Mechanical Design, Circuits and Systems, Digital Systems, Control Theory, Instrumentation and Measurements, and Mechatronics (in the senior level) together with CAD/CAM laboratories and lectures. The design skills are the target of a free-form design project where students have to develop, analyze, simulate and produce a prototype, concerning also cost and budgets. A special competition (US FIRST design competition) in building a teleoperated mobile robot in 42 days is an additional task for the students of the university to enhance their training in cooperation with pre-college students.

The graduate Mechatronics course in the Woodruff School of Mechanical Engineering at Georgia Institute of Technology (Ume et al., 2002) is concentrated on the microprocessors and microcontrollers in mechanical systems. The course contains considerable part of hands-on design and work (usually in teams of couples of students) and ends with a final project also organized in teams. Computer programming and electrical engineering disciplines are mostly covered. Laboratories have large workspace and are devoted to particular skills. The projects are given additional time so that the students can develop proper aesthetic and packing features of their mechatronic products.

An open-ended project is developed for the undergraduate mechatronics course of Stanford University. Carryer (2002) describes it and states: “The intent is to teach mechanical Engineering students enough about electronics and software so that they will be able to be effective interdisciplinary team members and leaders. The philosophy is that the best way to learn the capabilities of the technology is to actually learn to apply them oneself.”

One-quarter course contains this project, while a four-quarter sequence in Mechatronics is provided at the same university at the same graduate level.

3. IMS AND MECHATRONICS IN TECHNICAL UNIVERSITY – SOFIA, BULGARIA

The education in IMS and Mechatronics emerged gradually in Bulgaria during the last six years in the Mechanical Engineering Department and the English Language Department of Engineering (ELDE) of Technical University – Sofia. This academic year the former department offers a graduate program in Mechatronics. IMS is taught within the course in CIM. The graduate program of ELDE in Industrial Engineering provides a one-semester course in both disciplines.

The basics of IMS and Mechatronics have been seeded during the last decade with the fast changing demands of engineering specialists in automation and computer integrated manufacturing. Still in 1991 an educational concept in this area exists although the interdisciplinary idea is not yet well estimated. An emphasis in this concept is placed on the students’ preparation for increased computer technology application, broad technical knowledge, and design skills concerning functionality and improvement tendencies, CAD, manufacturing processes development and control, basic economic knowledge. The educational process is proposed to be more problem-oriented and less specialized. A training complex is integrated in the training programs that contains modules for producing and assembling small wooden or plastic parts and is used to simulate a real computer integrated manufacturing system. The discipline of adaptive control has been included in the education program of the Mechanical Engineering Department with the help of the Chair of Automation of Discrete Manufacturing, and the disciplines of Technical Image Processing and Artificial Intelligence in Manufacturing have been developed with the help of TEMPUS projects. There has been useful collaboration within the TEMPUS program with CCTA – Wales and De Monfort University, Leicester, UK that have been supplying the department with modern computers, software didactic materials and scientific literature.

In February 2000, a symposium has been held in Sofia on the theme of "Mechatronics Education". The participants have been from: the Departments of Mechanical Engineering and Electrical Engineering, Technical University - Sofia, the Departments of Mechanical Engineering of Technical University - Illmenau, Germany, Technical University - Nish, Yugoslavia, and Technical University - Skopie, Macedonia. The reports have been connected with the research and educational experience of the different universities. A mutual intention has appeared for the creation of a net of

universities to cooperate in this area. The purpose of the future cooperation is to provide for the basis of Mechatronics education aimed at application in the machine building, automatic and precise devices, as well as in micro-technologies and bio-technologies. Another important purpose is to create a common taxonomy for teaching Mechatronics.

Some professors in the Chair of Automation of Discrete Manufacturing participate in a project financed by DAAD (a German organization for academic exchange), in the part of "Mechatronics" with its leader - Professor Helmut Vurmus. An enlargement of this cooperation is planned connected with the Institute of Fine Mechanics and Optics in Technical University - Budapest, Hungary.

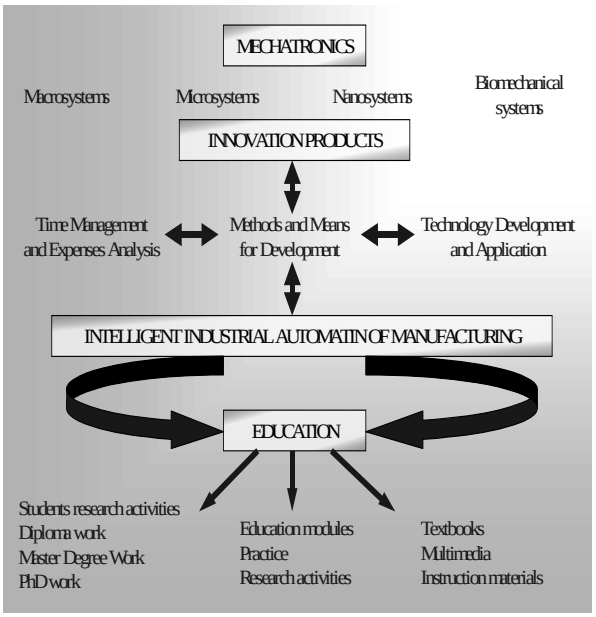


Fig. 1. The Concept of the Future Activities in the Mechatronics Education

The Chair of Automation of Discrete Manufacturing has training and research laboratories in CAD, Assembly Automation, Control Systems and CIM class where most of the practical exercises are held. The training in IMS and Mechatronics is combined with intensive use of information technologies, multimedia, teamwork, and reports preparation, making successful presentations.

Strategies for IMS and Mechatronics education have been blended with those for CIM course. Some special modules introduced there are Hardware and Software CIM Platforms, Integrated Manufacturing, Non-automated Factory of the Future, Multimedia Technologies in Design, Concurrent Engineering, and Low Cost CIM for Small and Medium Enterprises. The existing teaching experience is proposed to be transferred to IMS courses concerning the following problems: the use of systematic approach for successful and effective automation; application of optimization techniques; analysis of artificial intelligence application in manufacturing systems in the aspects of adaptive control in production and assembling, artificial vision, intelligent CAD/CAM/CAE systems.

The Mechatronics program at the Mechanical Engineering Department is aimed at: providing students with interdisciplinary knowledge and skills, integrated design approach, manufacturing and maintenance of products and processes. More precisely the topics that are to be covered in this program include: system design (selection of sensors, actuators, electronic components and computer simulation), microprocessor technology (system architecture, digital systems, memory storage devices, input/ output devices), interfacing techniques, digital communications, software development, and control systems. IMS education is incorporated as a subject in the course of Mechatronics in the department above and in the graduate course of ELDE.

Training in IMS and Mechatronics are supported still in the undergraduate level in both departments mentioned above. The first two years provide knowledge of fundamental principles of engineering sciences with the disciplines of Mathematics, Physics, Theory of Machines and Mechanisms, Electrical and Electronics Engineering, Computing, etc. the next two years provide special topics and some disciplines are elective. The Mechanical Engineering Department offers for example Low Cost Automation, Design of Automatic Machines, Computer Science, Quality Control, Technology of Discrete Production, Computer Integrated Manufacturing, Control Systems, etc. The ELDE program ends with Bachelor Degree in Manufacturing Engineering and interdisciplinary subjects in the second two years include: Control Engineering, Measurement and Instrumentation, Elements of Industrial Automation, Computing, Industrial Electronics, Manufacturing Design with projects and course works, CIM, CAD, Advanced Control Theory, etc.

IMS and Mechatronics in the graduate course of ELDE are taught as two separate modules of one and same subject in the Bulgarian Academy of Sciences by professors from the Institute of Mechanics and Biomechanics and the Central Laboratory of Mechatronics and Instrumentation.

The IMS discipline is incorporated in the Mechatronics course and is taught during the third semester. Here follow details about the Mechatronics course in the university (Fig. 2)

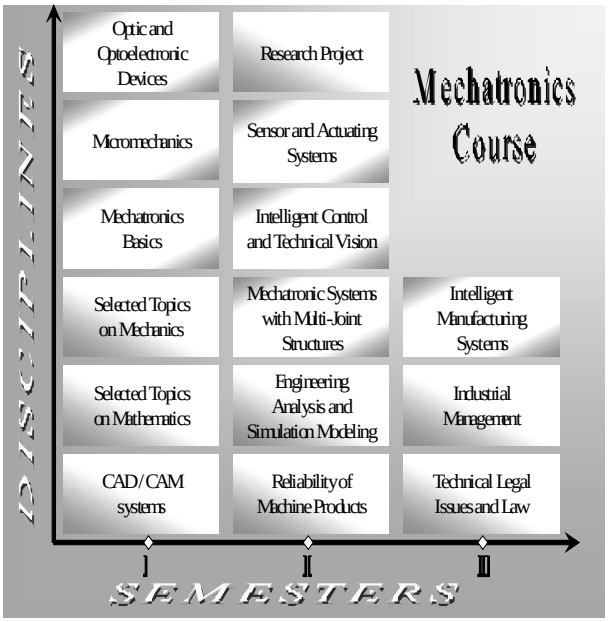


Fig. 2. The Mechatronics Course Program in the Mechanical Engineering Department of Engineering

The purpose of the CAD/CAM Systems subject is to get the students familiar with the development and application of these systems and provide them with the ability to choose the suitable system for a given task. The laboratory exercises are devoted to work with AutoCAD, Mechanical Desktop and SolidWorks, as well as to the use of the corresponding CAM systems and the generation of the program code for a given CNC machine. The Selected Topics in Mathematics are aimed at the increased practical knowledge of set theory, images, mathematic statistics, experiment planning, graph theory, probability theory, etc. Selected Topics on Mechanics is an extension of the “Mechanics I and II” from the undergraduate program. It contains topics from the analytical mechanics and vibrations theory, and discrete multimass systems connected with the design and analysis of transport and hoisting machines, building machines, robots and manipulators.

The Basics of Mechatronics course provides knowledge of the structure, functions, environment of the mechatronic systems, as well as their basic elements. An emphasis is placed on the methods for mechatronic systems design; concept preparation, planning, object design, etc. The theoretical bases for mechatronic systems modeling and different models of mechanical building elements, electric actuators and machines are reviewed. Various technologies and technological processes are taught in the Micromechanics subject, which are used for the production of micromechanical structures. Technological equipment for their production and operations control means is reviewed. The design methods of micromechanical elements, the production technology development, and assembly methods are covered. The laboratory exercises provide an analysis of the available equipment design, optimal technological parameters settings of the equipment, and concrete production operations of the students for preparing micromechanical modules.

The theoretical issues of the optical and optoelectronic devices and specific solutions of some groups of such devices are covered in the subject Optic and Optoelectronic Devices. There are included the principle schemes of the basic types of optical, optoelectronic and laser systems that are used in industry and for research, the typical units of these systems, optical and fiber-optical sensors. The laboratory exercises give the students some skills in the operation in the use of optical and optoelectronic equipment, the ability to choose the right one for a given task in their future engineering careers, and to communicate with specialists in the given area.

The lecture material in Reliability of Machine Products deals with the problems and methods for planning, determining, normalizing, providing the reliability of products during their design, manufacturing and exploitation. Some issues here are basic reliability models, Markov models and processes application, processes that impede reliability and the influence of design and technology on

them, methods for diagnostics of machines, systems and processes, etc. The laboratory exercises include some the investigation of the processes that impede reliability, calculation methods and the creation of algorithmic methods for reliability modeling and analysis, as well as diagnostic experiments with specialized equipment and software. The discipline of Engineering Analysis and Simulation Modeling covers the types of models, their application in engineering analysis, practical problems in machine and appliance building through static and dynamic models, stochastic processes, experiment data analysis, regression analysis, dispersion analysis, correlation analysis, experiment planning, simulation methods. Students are provided with skills in working with the basic software products in this area.

The purpose of the subject Mechatronic Systems with Multi-joint Structures is to introduce the students with the kinematics and dynamics of these mechatronic systems, the method of impedance control, mechatronic systems with closed multi-joint structures, and new types of mechatronic systems. The experimental work is carried out with software programs for dynamic modeling and simulation and analysis of the results is made. Intelligent Control and Technical Vision subject covers topics on the methods of modeling, identification, and simulation of incompletely defined structures, digital, adaptive and intelligent control, synthesis and optimization in control problems, increase of system autonomy through artificial intelligence and acquisition of sensor information, technical vision systems, object recognition, video information processing, communication and integration of these systems with the other components of the mechatronic systems. Both laboratory models and industrial devices and software are used. Sensor and Actuating Systems contains issues on acquisition, conversion and processing of information from sensors, integrated sensor schemes, integration of sensor, actuator and control systems. The laboratory exercises improve the understanding of the theoretical material.

The subject of Technical Legal Issues and Law presents basic knowledge about the application of normative acts in two directions: the normative order of the firms and economic units according to the issues of the civil and trades law; the obligatory and the voluntary regulations for manufacturing and selling safe ant qualitative machine products. The purpose of the Industrial Management discipline is to provide knowledge about the basic problems in managing the industrial organizations, management thinking and functions. The lectures review also the contemporary concepts and systems for the effective business management. The practical exercises are in the form of cases, tests and problems.

Intelligent Manufacturing Systems provides the students with knowledge about the application of artificial intelligence and the integration of manufacturing and computer systems. Main issues are: historical development and today's problems of artificial intelligence, data bases, and knowledge bases connected with machine building, expert systems, IMS in robotics, etc. An emphasis is placed on the application of IMS as a base for the "Factory of the Future".

4. SOME FACTS ABOUT THE EDUCATION IN THE FIELD OF MECHATRONICS IN TU-SOFIA (AS OF THE BEGINNING OF JULY, 2010)

In the beginning of July 2010 the total number of students at the Mechanical Engineering Faculty is 1195. The number of Bachelor students at the same time is 890, including:

- Mechanical Engineering courses – 261 students;
- Engineering Design courses – 369 students;
- Mechatronics courses - 130 students;

Number of Master students at the Mechanical Engineering Faculty is 175, inclusing:

- Mechanical Engineering courses – 52 students;
- Engineering Design courses – 62 students;
- Mechatronics courses – 18 students;
- Engineering Logistics courses – 22 students;
- Quality control courses - 21 students;

Dynamics of the development of the education in Mechatronics from the beginning of the program up to the moment is.

Number of Bachelors per academic year:

- 2005/2006 – 45 students
- 2006/2007 – 43 students
- 2007/2008 – 61 students
- 2008/2009 – 69 students
- 2009/2010 – 68 students

The Master's program started in 2009. The number of students enrolled in the 2009/2010 academic year was 18.

A new bachelour course in Mechatronics, taught in English, started in 2008. The students enrolled in this course are as follows:

- 2008/2009 – 43 students
- 2009/2010 – 64 students

We started a Mechanical Engineering course in English. The first group includes 23 students.
In 2010 a new Master course in Mechatronics in English will start with about 25 students.

5. CONCLUSION

The most important features of the education in Mechatronics concerning the world experience according to the information we have gathered are: project-oriented programs, team working and communication with engineers from different areas, systems integration in the design process, and competitive approach in pursuing project tasks.

The education in IMS and Mechatronics in Technical University – Sofia has started its development, but it still lacks the hands-on approach because of the economic difficulties that all the country meets today.

It is extremely useful for us to become familiar with the foreign programs and experience and to implant them in our programs for Mechatronics and IMS engineers. It is essential for our university to have cooperation in the education of such specialists. Furthermore, our graduate and undergraduate students can work on projects connected with their own studies in Bulgarian and foreign firms in our country. These initiatives are the steps we can make to produce competitive Mechatronic engineers.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to express our acknowledgements toward professor Dr. Eng. Helmut Wurmus, coordinator of DAAD project “Suedosteuropa – Mechartonik” and National Scientific Council of Bulgaria – project 1008/00 for the financial and methodological support.

REFERENCES

1. Boyadjiev, I. K., T. D. Neshkov. *Erfahrungen auf dem Gebiet der Intelligenten Fertigungssysteme*. *DAAAM-95, 6. Internationales DAAAM Symposium*, Krakow, Poland, **1995,** pp. 39-40

2. Brown, N. J., O. T. Brown. *Mechatronics “a Graduate Perspective“.* Mechatronics*,* Vol. 12, **2002**, pp.159-167

3. Carryer, J. E. *March Madness: a Mechatronics Project Theme.* Mechatronics*,* Vol. 12, **2002,** pp. 383-391

4. Cetinkunt, S. *Mechatronics*, John Willey & Sons, **2007**.

5. Craig, K. *Finding a Balance between Modeling/Analysis Skills and Hardware Implementation Skills Is Key to Mechanical Engineers Becoming Successful Mechatronics Engineers.* IEEE Robotics & Automation Magazine*,* June **2001**, pp. 12-19

6. Ganovski, V., I. K. Boyadjiev, T. D. Neshkov. *Eine Konzeption für Ausbildung von Fachleuten auf dem Gebiet der Komplexautomatisierung und CIM. Ingenieurpädagogik’91, 20.* Internationales Symposium, Dresden, Germany, **1991**, pp. 721-726

7. Giurgiutiu, V., A. E. Bayoumi, G. Nall (**2002**). Mechatronics and Smart Structures: Emerging Engineering Disciplines for the Third Millennium. *Mechatronics,* Vol. 12, pp. 169-181

8. Kostadinov, K. *Mechatronics. An Approach to go inside*. Lecture notes, Universsitatea "Dunarea de Jos", din Galati, Romania, **1997,** p.59.

9 Nagai, K. *Enabling Students to Acquire the Knowledge and Experience Necessary to Produce Advanced Technologies.* IEEE Robotics & Automation Magazine*,* June **2001**, pp. 39-43

10. Neshkov, T. D., V. Ganovski, I. K. Boyadjiev. *Computer Integrated Manufacturing – Basis for Building Intelligent Manufacturing Systems.* 6th International Conference on Flexible Technologies, MMA’97*,* Novi Sad, Yugoslavia, **1997** pp. 831-837

11. Neshkov, T. D., C*.* Velkov*. Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing in Education.* The Tenth International IFIP WD 5.2/5.3 Conference Prolamat 98, Trento, Italy, **1998.**

12. Neshkov, T. D. *Mechatronic and Computer Integrated Manufacturing – an Educational Approach.* Symposium Mechatronik*,* Sofia, **2000**, pp. 66-72

13. Siedwart, R. *“Hands-on Education Best Enables Students to Integrate Knowledge from the Many Disciplines Involved in Designing and Building the Mechatronics Product of Today.* IEEE Robotics & Automation Magazine, June **2001**, pp. 27-34

14. Tomizuka, M. *Mechatronics: from 20th to 21st Century.* Control Engineering Practice, Vol. 10, **2002**, pp. 877-886

15. Ume, I. C., A. Kita, S. Liu, S. Skinner. *Graduate Mechatronics Course in the School of Mechanical Engineering at Georgia Tech.* Mechatronics, Vol. 12, **2002**, pp. 323-335

16. Wikander, J., M. Törngren, M. Hanson. *Emphasizing Team Building in a Problem-Based Curriculum to Meet the Challenges of the Interdisciplinary Nature of this Field.* IEEE Robotics & Automation Magazine, June **2001**, pp. 20-26

17. Wright, A. B. *Planting the Seeds for a Mechatronic Curriculum at UALR.* Mechatronics*,* Vol. 12, **2002,** pp. 271-280

CORRESPONDENCE

Prof. Todor NESHKOV, PhD
Technical University – Sofia, Bulgaria
8 Kliment Ochridski Blvd.
Faculty of Mechanical Engineering
Email: tnesh@tu-sofia.bg

Assoc. Prof. Lubomir DIMITROV, PhD
Technical University – Sofia, Bulgaria
8 Kliment Ochridski Blvd.
Faculty of Mechanical Engineering
Email: lubomir_dimitrov@tu-sofia.bg

ТЕХНОЛОГИЯ НА МАШИНОСТРОЕНЕТО И ПРОИЗВОДСТВЕНА ТЕХНИКА

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

DIAGNOSTIC OF TECHNOLOGICAL DRILLING USING REUSABLE FUNCTION BLOCKS

Totiu GESHEV Idilia BATCHKOVA Georgi POPOV Hristo KARAMISHEV Grigor STAMBOLOV

Abstract: *Currently industrial control technology experiences a strong trend towards distributed systems for control and diagnostic. This leads to separation of centralized hardware and software elements into smaller individual components used in the automated production system. IEC-61499 standard supports the development of distributed control systems, which enables portability and interoperability of programmable logic controllers, along with an easy implementation to arbitrary distributed networking hardware configurations. This paper provides a systematic approach for developing diagnostic models as a part of the control system for drilling operations using IEC-61499 based reusable functional blocks.*

Key Words: *IEC 61499, diagnostic system, automation manufacturing system, drilling.*

ДИАГНОСТИКА НА ТЕХНОЛОГИЧНИ ОПЕРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТВАНЕ НА ОТВОРИ ЧРЕЗ ПРЕИЗПОЛЗВАЕМИ ФУНКЦИОНАЛНИ БЛОКОВЕ

Тотю ГЕШЕВ Идилия БАЧКОВА Георги ПОПОВ

Христо КАРАМИШЕВ Григор СТАМБОЛОВ

Резюме: *В съвременните индустриални приложения за управление на производствени процеси се наблюдава тенденция към използването на разпределени системи за управление и диагностика. Това води до разделяне на централизираните хардуерни и софтуерни елементи на по-малки самостоятелни компоненти, които се използват в рамките на автоматизираната производствена система. IEC-61499 е стандарт подпомагащ разработката на разпределени системи за управление, който позволява постигането на преносимост и оперативна съвместимост на програмируемите логически контролери (PLC), както и лесното им имплементиране към произволно разпределени конфигурации от металорежещи машини. В настоящия доклад е представен систематичен подход за разработка на диагностични модели като част от системата за управление на технологични операции при обработване на отвори чрез използването на IEC-61499 базирани многократно използваеми функционални блокове.*

Ключови думи: *диагностика, разпределени системи за управление, функционални блокове, IEC-61499, онтология.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Към съвременните производствени системи (ПС) се поставят все по-високи изисквания за безотказността на машините, които са в състава и. Спирането на дадено производство може да доведе до огромни загуби. Ето защо е необходим мониторинг и диагностика на ПС. Техническата диагностика (ТД) може да се разглежда в два аспекта [1, 2, 3, 4]:

- да се установи текущото състояние на обекта на диагностика, без неговото разглобяване;
- да се установи мястото, видът и причината за възникване на отклонението (на технологичен параметър) или неизправността/повредата (на машина, възел, механизъм).

При автоматизираните металорежещи машини (ММ), те сами трябва да контролират, да откриват смущенията и дефектите, да предприемат мероприятия, като [1]:

- издаване на съобщение за възможна повреда;
- преустановяване на работата на машината;
- вътрешно-машинно коригиране на отклоненията, което да се извърши своевременно с цел да се избегнат дефектите.

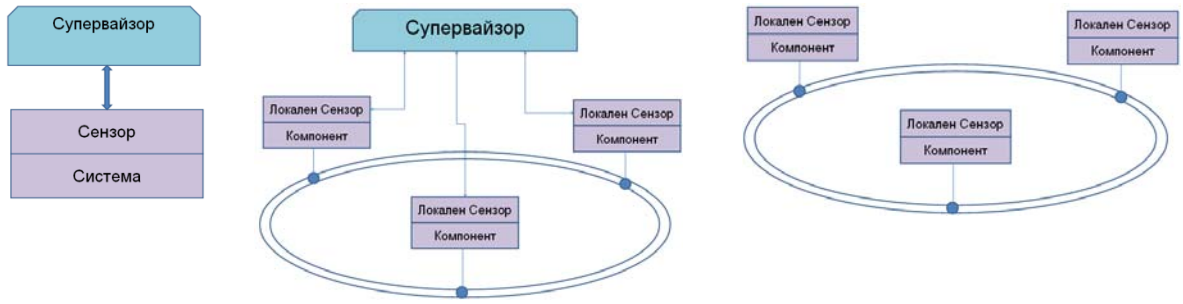
Състоянието на ММ се установява посредством мониторинг, който включва мероприятия за установяване стойностите на редица параметри на машините или процесите, които представят тяхното действително (моментно) състояние. Сравняването на състоянието се изразява в това, текущото състояние да се сравни с предварително зададено референтно състояние, определено чрез същите параметри. Те могат да бъдат температура, налягане, сила, въртящ момент, мощност, електрически ток или напрежение, трептения (честота и амплитуда), честота на въртене, подавателна скорост, времена на включване в ново състояние, ниво на течност, разход на течност или газ, геометрия на обработвания детайл и др., като измерванията на тези параметри извън определени граници (обикновено с интервал с горна и долна граница) обуславят появата на дефект [1].

ТД може да бъде функционална, параметрична и по време [5]. В ПС функционалната диагностика се извършва от самата система за управление (СУ). По същество логиката на работа на същата система е такава, че при невъзможност да се извърши определено действие, поради инцидентно възникнала неизправност, технологичният процес спира в мястото на отказа. Диагностиката по време се състои в измерване на времената за извършване на отделни действия и при определени условия може да се използва като добра алтернатива на параметричната диагностика. За реализиране на диагностиката по време и параметричната диагностика е необходимо използване на диагностични модели. Те трябва да генерират очакваните стойности на измерваните величини за параметрите, с които протича технологичния процес [6].

Основните изисквания към диагностичните системи в машиностроенето са [7]: модулност, реконфигурираща се структура, възможност за измерване и преработване на голям брой аналогови/цифрови сигнали, способност за взимане на сложни, многопараметрични решения.

Диагностичната система може да има една от следните архитектури [8]:

- Централизирана система – мониторингът на системата се осъществява от система/набор от сензори, а супервайзорът изпълнява задачите по диагностика на системата (фиг. 1а).
- Децентрализирана система - в нея са вградени няколко локални сензора, всеки от които има местен/локален поглед върху цялата система. Сензорите не са синхронизирани и глобалният супервайзор изпълнява диагностика на системата. Това е типичен пример за съвременна архитектура в телекомуникациите (фиг. 1б).
- Разпределена система - тук няма супервайзор, следователно сензорите съдействат за изграждането на съгласувана диагностика на цялата система (фиг. 1в).



Фиг. 1. Архитектура на диагностичната система

2. ДЕФИНИРАНЕ НА ЗАДАЧАТА ЗА ДИАГНОСТИКА НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ ПРОЦЕСИ И СИСТЕМИ

Важно значение за повишаване надеждността, сигурността и производителността на производствените системи оказва използването на съвременни методи и подходи за мониторинг и диагностика на производствените процеси. Основните изисквания към тези методи са [9]:

- Откриване на неизправности с различно динамично поведение - внезапни, постепенни и периодично появяващи се за кратко време;
- Диагностика на неизправности в изпълнителни механизми, технологичните процеси и сензорите;
- Супервайзерно управление на процесите в преходно състояние.

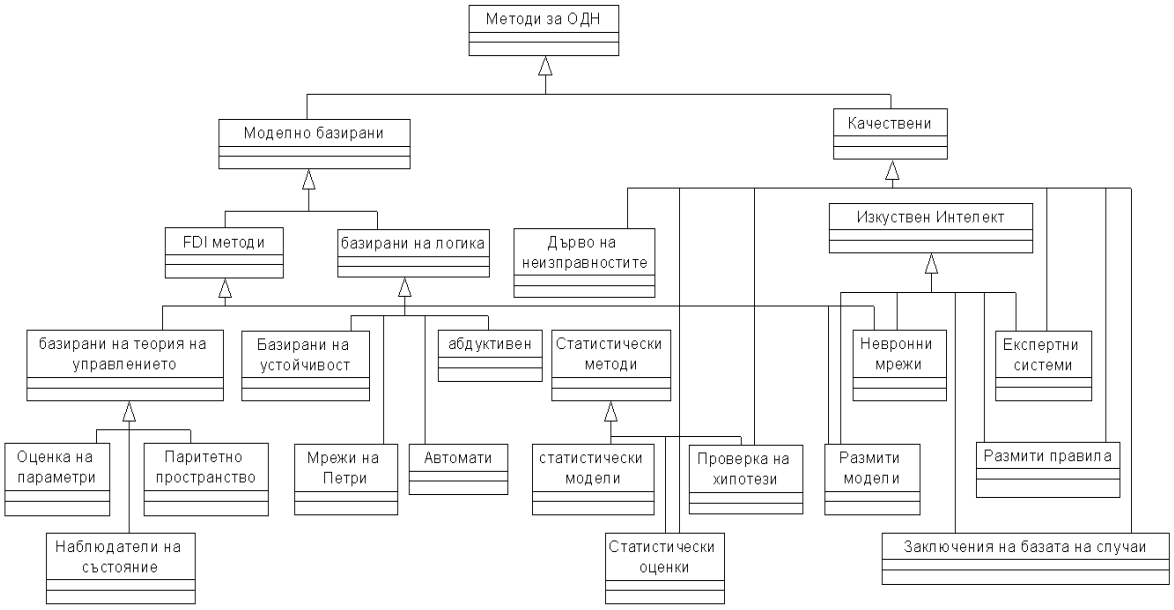
Първите изследвания в областта на диагностиката датират от началото на 60-те години, като следващите десетилетия се характеризират с прогресивно нарастване на изследванията в тази област. Едни от най-успешните разработки и методи за диагностика в този период са обобщени в

книгите на Patton&Frank&Clark [10], Gertler [11], Himmelblau [12], и др. Най-общо методите за диагностика могат да бъдат класифицирани в две основни групи: количествени и качествени. На фиг. 2 е представена примерна таксономия на най-широко използваните подходи и методи за диагностика. За целта е използвана диаграма на класовете, като всяка група от методи е представена като абстрактен клас. Класовете са свързани с релация от типа “is –a”, която в средата на унифицирания език UML и средата Rational Rose е представена като генерализираща релация.

Качествените методи са едни от първите методи, използвани в задачите за диагностика, като сред тях най-голяма популярност имат дърветата на неизправност, статистическите оценки на базата на предистории на процесите. По-късно популярност придобиват методите на изкуствения интелект, базирани на асоциативно знание, каквито са експертните системи.

Количествените методи или още наречени моделно-базирани методи се развиват от различни перспективи, като най-често използваните са теория на управлението, изкуствен интелект, логика, статистика и дискретно-събитийни системи. Общопризнати са две основни изследователски направления – традиционните методи за диагностика, базирани на теория на управлението и логическите методи.

Методите базиращи се на теорията на управление, известни още като FDI методи, са сред най-успешните и широко използвани количествени методи. Основни представители на този клас са методите с наблюдатели на състоянието [12, 13], методите, базирани на оценката на параметри [14] и на паритетните пространства [15]. В основата на всички тях е аналитичното резервиране [11], изразяващо се в определяне на т.н. резидиуми (остатъци) на базата на получените данни от измерванията и резултатите за същите тези променливи, получени от модела. Тенденция в развитието на този клас методи е нарастващото прилагане на методите на Изкуствения интелект като различни видове невронни мрежи, размити модели или генетични алгоритми.

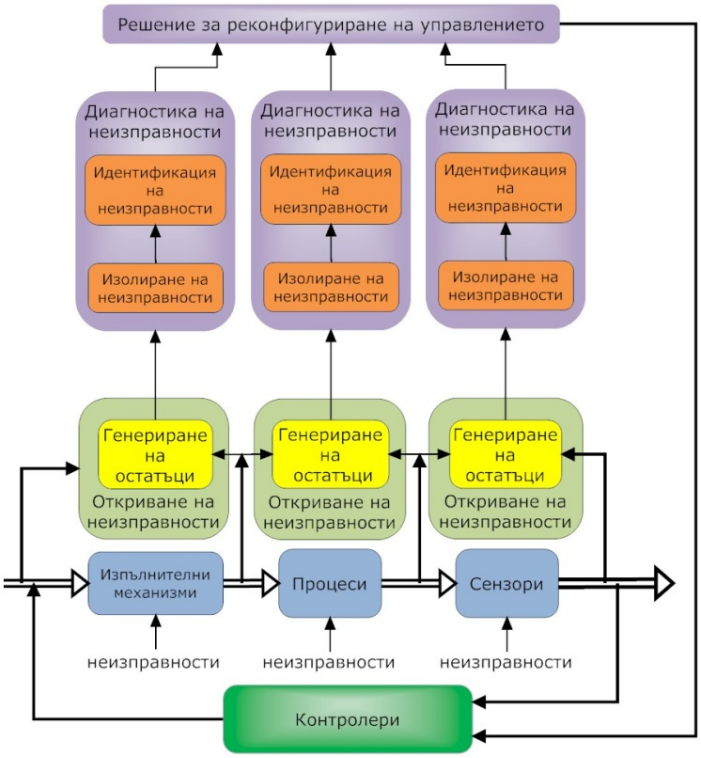


Фиг. 2. Таксономично представяне на методите за диагностика

Методите, базирани на логика, известни още като DX методи, водят началото си от развитието на компютърната наука и изкуствения интелект и се базират на явни модели от типа “бяла кутия”, които са компонентно ориентирани [16]. Те отразяват двата основни аспекта - поведение и структура на системата. Методите в този клас се базират на два различни принципа: принцип на потвърждение и принцип на опровержение. За прилагане на методите, базирани на принципа на потвърждение (абдуктивни методи) са необходими модели на неизправностите, на базата на които се проверява дали измерените данни потвърждават съответния модел на неизправностите. За съжаление тези модели се получават сравнително по-трудно и със значителни съмнения относно тяхната коректност и точност. Методите, базирани на принципа на опровержение се изграждат на базата на модела на системата в нормален режим на работа, като не са необходими предварителни знания за неизправности и откази. Едни от най-известните представители на този клас методи са методът на логическото съгласуване [17], различни методи базирани на различни по вид автомати, мрежи на Петри [18] и др.

Анализът и съпоставката на двата основни, базирани на модели, методи за диагностика и техните най-успешни представители показва, че те се допълват взаимно от гледна точка на предпоставки за тяхното прилагане, областите и условията на приложимост. Така например FDI методите са по-успешни при откриване на неизправности, докато DX методите - при тяхната диагностика. За разлика от FDI методите, DX методите са приложими за диагностика на множество от неизправности и не изискват предварителното им дефиниране, като допускат диагностика при много на брой и различни режими. По-големи са затрудненията, обаче, при създаването и използването на динамични модели.

Важен извод от анализа на базираните на модели методи е, че всички те, най-общо погледнато, включват решаването на едни и същи задачи, а именно: задача на откриване на неизправности (на генериране на остатъци), задача за диагностика, включваща подзадачите за изолиране и идентификация на неизправности и задача за вземане на решение за реконфигуриране на управлението или други дейности по предпазване от последващ отказ в производствената система (фиг. 3). Този факт е добра предпоставка за създаване на онтология на задачите в областта на диагностиката, която би подпомогнала по-лесната и бърза интеграция на различните подходи, а с това и би съдействала за подобряване на качеството на процесите на диагностика.

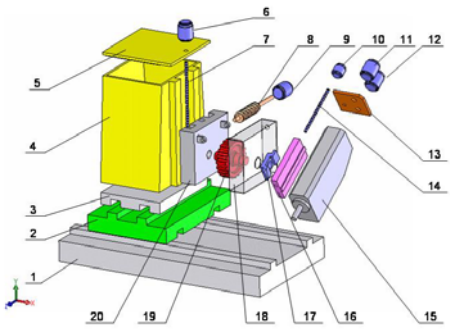


Фиг. 3. Концептуализация на задачата за диагностика

3. РАЗПРЕДЕЛЕНА ДИАГНОСТИКА НА ПРОБИВНИ ОПЕРАЦИИ, ЧРЕЗ ПРЕИЗПОЛЗВАЕМИ IEC 61499-ФУНКЦИОНАЛНИ БЛОКОВЕ

3.1. Обект на разпределена диагностика

На фиг. 4 е показана реконфигурираща машинна станция за фрезово-пробивни операции. Тя е с възможност да обработва повърхнини под произволен ъгъл, чрез завъртане на пробивната глава, поз.15. Това се осъществява чрез електромотор поз.9 и механизъм съставен от поз.8 и поз.19 (при този компоновъчен вариант – червячна предавка) по ос A (около ос X). Подавателното движение по ос Y се получава по следната кинематична верига: регулируем електромотор поз.6, сачмено-винтова предавка поз.7 и подавателна маса поз. 20. Кинематичните вериги за другите оси за праволинейно подавателно движение са идентични, като по ос X се задвижва подавателна маса поз.2, а по ос Z се задвижва подавателна маса поз.3. Кинематичната верига по ос D (ос D съвпада с ъгъла, под който трябва да се обработва повърхнината) включва регулируем електромотор поз.10, сачмено-винтова предавка поз.14 и подавателна маса поз.16.



Фиг. 4. Реконфигурираща машинна станция за фрезово-пробивни операции

3.2. IEC 61499 диагностични функционални блокове за избрани диагностични параметри

Характерни параметри, които могат да се следят и да се получава диагностична информация за състоянието на машините от състава на ПС или изпълнявания технологичен процес са шум, износване, температура, вибрация и др. След анализ на библиотеката от ФБ на организацията PLCOpen [13] се установи, че за целите на диагностиката на ПС за механична обработка, такива ФБ не са създадени, което наложи тяхната разработка.

На фиг. 5 е представен IEC-61499 базиран ФБ за диагностика на шум на главен превод *FB_Diagnostic_Noise_Main*. Входното събитие за този ФБ е *Noise_Out_of_Range*. То се инициира от ФБ за мониторинг на шум и постъпва, когато стойността на реалната честота/амплитуда на шума превишава граничните стойности на референтната такава. Във функционалния блок *FB_Diagnostic_Noise_Main* постъпват сигнали от сензори в следните входове за данни:

- *Noise_Sense_Spindle_Bearing_1* – сензор за шум, монтиран в предния край на вретенния възел;
- *Noise_Sense_Spindle_Bearing_2* – сензор за шум, монтиран в задния край на вретенния възел;
- *Noise_Sense_ Belt_Drive* – сензор за отчитане на шума от ремъчната предавка;
- *Noise_Sense_Motor_Main* – сензор за отчитане на шума от главния електромотор;
- *Noise_Sense_Toothed_Gear* – сензор за отчитане на шума от зъбна предавка (тук са предвидени сензори за четири предавки).

Във ФБ, като вътрешни данни, са въведени граничните стойности на еталонната честота/амплитуда на шума за съответния параметър, който се следи. При постъпване на някой от входовете за сигнал за такъв с по-голяма честота/амплитуда се генерира едно от следните изходни събития:

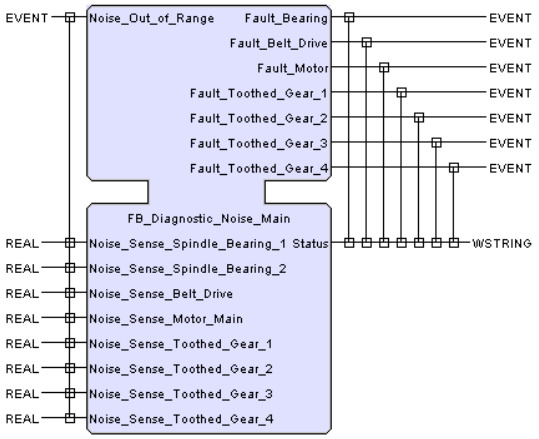
- *Fault_Bearing* – неизправност в лагеруването;
- *Fault_Belt_Drive* – неизправност в ремъчната предавка;
- *Fault_Motor* – неизправност в главния електромотор;
- *Fault_Toothed_Gear* – неизправност в зъбна предавка.

На фиг. 6 е представен IEC 61499 базиран ФБ за диагностика на шум на подавателен превод *FB_Diagnostic_Noise_Feed*. Входното събитие за този ФБ е *Noise_Out_of_Range*. То се инициира от ФБ за мониторинг на шум на подавателен превод, аналогично на това при главен превод. Във функционалният блок *FB_Diagnostic_Noise_Feed* постъпват сигнали от сензори в следните входове за данни:

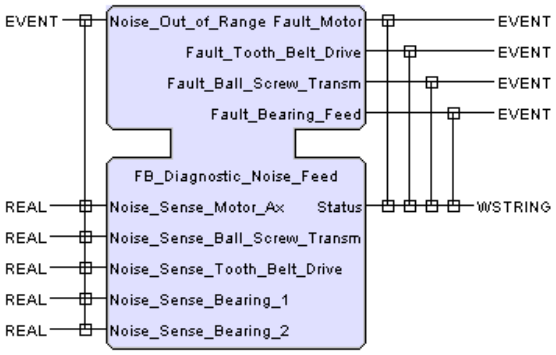
- *Noise_Sense_ Motor_Ax* – сензор за отчитане на шума от електромотора, задвижващ подавателния превод по съответната ос;
- *Noise_Sense_ Ball_Screw_Transm* – сензор за отчитане на шума от сачмено-винтовата предавка по наблюдаваната ос;
- *Noise_Sense_Tooth_Belt_Drive* – сензор за отчитане на шума от зъбно-ремъчната предавка;
- *Noise_Sense_Bearing_1* – сензор за отчитане на шума от лагеруването в предната опора (откъм електромотора);
- *Noise_Sense_Bearing_2* – сензор за отчитане на шума от лагеруването в задната опора.

Във ФБ, като вътрешни данни, са въведени граничните стойности на еталонната честота/амплитуда на шума за съответния параметър, който се следи. При постъпване на някой от входовете за сигнал за такъв с по-голяма честота/амплитуда се генерира едно от следните изходни събития:

- *Fault_Motor* – неизправност в електромотора за подавателно движение по съответната управляема ос;
- *Fault_Tooth_Belt_Drive* – неизправност в зъбно-ремъчната предавка;
- *Fault_Ball_Screw_Transm* – неизправност в сачмено-винтовата предавка;
- *Fault_Bearing_Feed* – неизправност в лагеруването.



Фиг. 5. IEC 61499-ФБ за диагностика на шум на главен превод



Фиг. 6. IEC 61499-ФБ за диагностика на шум за подавателни преводи

На фиг. 7 е представен IEC 61499 базиран ФБ за диагностика на температура в характерни точки на главен превод *FB_Diagnostic_Temperature_Main*. Входното събитие за този ФБ е *Temperature_Out_of_Range*. То се инициира от ФБ за мониторинг на температура и постъпва, когато стойността на текущата температура превиши граничните стойности на референтната такава. Във функционалния блок *FB_Diagnostic_Temperature_Main* постъпват сигнали от сензори в следните входове за данни:

- *Temp_Sense_Spindle_Bearing_1* – сензор за температура, монтиран в предния край на вретенния възел;
- *Temp_Sense_Spindle_Bearing_2* – сензор за температура, монтиран в задния край на вретенния възел;
- *Temp_Sense_Motor_Main* – сензор за отчитане на температурата на главния електро-мотор.

Във ФБ, като вътрешни данни, са въведени граничните стойности на температурите в характерните места, в които се следят. При постъпване на някой от входовете за сигнал за такъв с по-голяма от допустимата стойност се генерира едно от следните изходни събития:

- *Fault_Bearing* – неизправност в лагеруването;
- *Fault_Motor* – неизправност в главния електромотор.

На фиг. 8 е даден IEC-61499 базиран ФБ за диагностика на температура в характерни точки на подавателен превод *FB_Diagnostic_Temperature_Feed*. Входното събитие за този ФБ е *Temperature_Out_of_Range*. То се инициира от ФБ за мониторинг на температура и постъпва, когато стойността на текущата температура превишава граничните стойности на еталонната такава. Във функционалния блок *FB_Diagnostic_Temperature_Feed* постъпват сигнали от сензори в следните входове за данни:

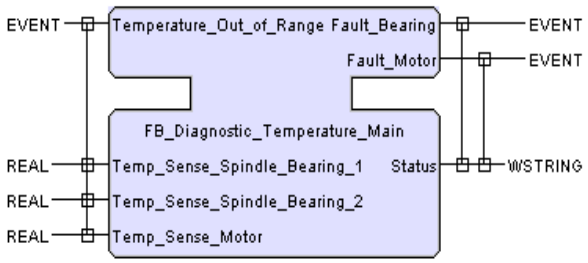
- *Temp_Sense_Motor_Ax* – сензор за отчитане на температурата на електромотора по съответната ос;
- *Temp_Sense_Ball_Screw_Transm* – сензор за отчитане на температурата на сачмено-винтовата предавка по съответната ос;
- *Temp_Sense_Bearing_1* – сензор за температура, монтиран в предния край на винта на СВД;
- *Temp_Sense_Bearing_2* – сензор за температура, монтиран в задния край на винта на СВД.

Във ФБ, като вътрешни данни, са въведени граничните стойности на температурите в характерните места, в които се следят. При постъпване на някой от входовете за сигнал за такъв с по-голяма от допустимата стойност се генерира едно от следните изходни събития:

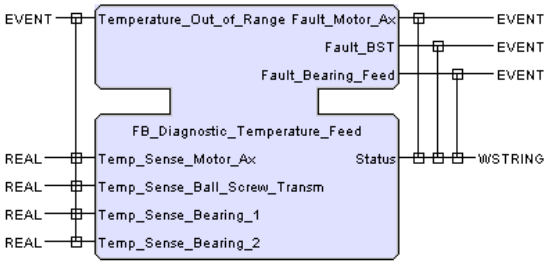
- *Fault_Motor_Ax* – неизправност в електромотора по съответната управляема ос;
- *Fault_BST* – неизправност в сачмено-винтовата предавка;
- *Fault_Bearing* – неизправност в лагеруването.

На фиг. 9 е даден IEC 61499 базиран ФБ за диагностика на вибрация на главен превод *Diagnostic_Vibration_ Main*. Входното събитие за този ФБ е *Vibration_Out_of_Range*. То се инициира от ФБ за мониторинг на вибрация и постъпва, когато стойността на текущата амплитуда на вибрацията превишава граничните стойности на еталонната такава. Във функционалния блок *Diagnostic_Vibration _Main* постъпват сигнали от сензори в следните входове за данни:

- *Vibr_Sense_Motor* – сензор за отчитане на вибрацията на главния електромотор;
- *Vibr_Sense_Spindle_Bearing_1* – сензор за вибрация, монтиран в предния край на вретенния възел;
- *Vibr_Sense_Spindle_Bearing_2* – сензор за вибрация, монтиран в задния край на вретенния възел;
- *Vibr_Sense_Belt_Drive* – сензор за отчитане на вибрацията на ремъчната предавка.



Фиг. 7. IEC 61499-ФБ за диагностика на температура на главен превод



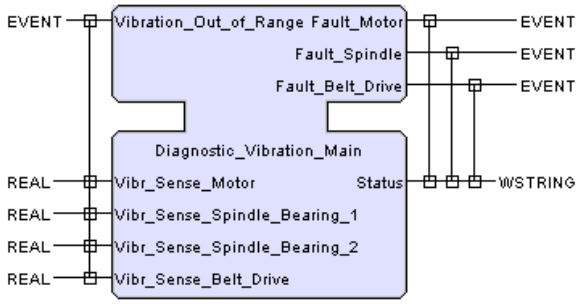
Фиг. 8. IEC 61499-ФБ за диагностика на температура за подавателни преводи

Във ФБ, като вътрешни данни, са въведени граничните стойности на амплитудата на вибрациите в места/възлите, в които се следят. При постъпване на някой от входовете за сигнал за такъв с по-голяма от допустимата стойност се генерира едно от следните изходни събития:

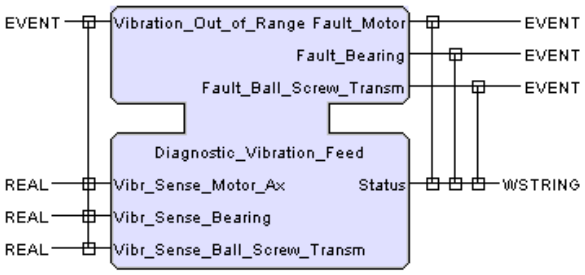
- *Fault_Motor* – неизправност в главния електромотор;
- *Fault_Spindle* – неизправност във вретенния възел;
- *Fault_Belt_Drive* – неизправност в ремъчната предавка.

На фиг. 10 е представен IEC 61499 базиран ФБ за диагностика на вибрация на подавателен превод *Diagnostic_ Vibration_Feed*. В него постъпват сигнали от сензори в следните входове за данни:

- *Vibr_Sense_Motor_Ax* – сензор за отчитане на вибрацията на електромотора по съответната управляема ос;
- *Vibr_Sense_Bearing* – сензор, отчитащ вибрацията на лагеруването на винта на СВП;
- *Vibr_Sense_Ball_Screw_Transm* – сензор за отчитане на вибрацията на ремъчната предавка.



Фиг. 9. IEC 61499-ФБ за диагностика на вибрации на главен превод



Фиг. 10. IEC 61499-ФБ за диагностика на вибрации за подавателни преводи

Във ФБ, като вътрешни данни, са въведени граничните стойности на амплитудата на вибрациите в места/възлите, в които се следят. При постъпване на някой от входовете за сигнал за такъв с по-голяма от допустимата стойност се генерира едно от следните изходни събития:

- *Fault_Motor* – неизправност в електромотор по съответната ос;
- *Fault_ Bearing* – неизправност в лагеруването;
- *Fault_ Ball_Screw_Transm* – неизправност в сачмено-винтовата предавка.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложен е функционален блок FB_Diagnostic_Noise_Main за диагностика на шум за главен превод на ММ.
2. Предложен е функционален блок FB_Diagnostic_Noise_Feed за диагностика на шум за подавателен превод на ММ.
3. Предложен е функционален блок FB_Diagnostic_Temperature_Main за диагностика на температура за главен превод на ММ.
4. Предложен е функционален блок FB_Diagnostic_Temperature_Feed за диагностика на температура за подавателен превод на ММ.

5. Предложен е функционален блок Diagnostic_Vibration _Main за диагностика на вибрация за главен превод на ММ.
6. Предложен е функционален блок Diagnostic_Vibration_Feed за диагностика на вибрация за подавателен превод на ММ.

БЛАГОДАРНОСТИ

В настоящата разработка са представени резултати, постигнати в рамките на изследователския проект ВУ-ТН-208/06 „Създаване на методология за управление и диагностика на реконфигуриращи се производствени системи в индустрията", финансиран от НФНИ при МОН, на който авторите изказват своята благодарност.

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов, Г., *Поддържане, ремонт и модернизация на металорежещите машини,* Изд. на ТУ-София, София, **2003**.
2. Гешев, Т., *Метод и средства за комплексна диагностика на металорежещи машини,* Дисертационен труд за получаване на научната степен „доктор", София, **2000**.
3. Недев, А., Тенекеджиев, К. *Техническа диагностика и разпознаване на образи*, Изд. на ТУ-Варна, Варна, **1994**.
4. Eichler, Cr., *Instandhaltungstechnik*. VEB Verlag Technik, Berlin, **1990.**
5. Карамишев, Хр., Бачкова, И., Попов, Г., Гешев, Т. *Анализ на процесите на механично обработване за целите на диагностиката в РПС.* МТ'06, Варна, **2006,** стр. 25-28.
6. Бачкова, И., Карамишев, Хр., Попов, Г., Гешев, Т. *Онтологични модели в задачите за диагностика на производствени процеси.* МТ'06, Варна, **2006**, стр. 29-32.
7. Hu, W., Schroeder, M., Starr, A. G. *A knowledge-based real-time diagnostic system for PLC controlled manufacturing systems*. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, IEEE SMC '99, Conference Proceedings, Vol. 4, pp. 499-504, **1999**.
8. Fabre, E., Benveniste, A., Jard, C. *Distributed diagnosis for large discrete event dynamic systems*. Proceedings of Papers, IFAC, July **2002**.
9. Isermann, R., *Model-based fault-detection and diagnosis – status and applications.* IFAC, **2004,** pp. 639-652.
10. Patton, R.J., Frank, P.M., Clark, P.N. *Issues of fault diagnosis for dynamic systems.* Springer, Berlin, **2000**.
11. Gertler, J. *Fault detection and diagnosis in engineering systems*. Marcel Dekker, New York, **1998**.
12. Himmelblau, D.M. *Fault detection and diagnosis in chemical and petrochemical processes*. Elsevier: Amsterdam,**1978**, pp. 343-393.
13. Frank, P.M. *Advanced fault detection and isolation schemes using nonlinear and robust observers*. 10th IFAC Congress, München, Vol. 3, **1987**, pp. 63-68.
14. Frank, P.M., *Fault diagnosis in dynamic systems using analytical and knowledge-based redundancy.* Automatica, Vol. 26, **1990**, pp. 459-474.
15. Isermann, R., *Supervision, fault-detection and fault diagnosis methods - An introduction*. Control Eng. Practice, Vol.5, No. 5, pp. 639-652, **1997**.
16. Isermann, R., Ballé. *Trends in the application of model based fault detection and diagnosis of technical processes*. Control Engineering Practice, Vol. 5, No 5, pp. 709-719, **1997**.
17. Reiter, R., *A theory of diagnosis from first principles*. Artificial Intelligence, Vol. 32, No 1, pp.57-96, **1987**.
18. De Kleer J., Mackworth, A., Reiter, R., *Characterizing diagnoses and systems*. Artificial Intelligence, Vol. Vol. 56, No 2-3, pp. 197–222, **1992**.
19. Келърт, Р., *Технология на експертните системи – Разработване и приложение*. ДИ „Техника", София, **1990**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Тотю ГЕШЕВ
Технически Университет-София
Машинно-Технологичен Факултет
София,1000
бул „Св. Кл. Охридски" 8
e-mail: t_geshev@tu-sofia.bg

доц. д-р инж. Идилия БАЧКОВА,
ХимикоТехнологичен и Металургичен Университет-София
София,1000,
бул. „Св. Кл. Охридски" 8
e-mail: idilia@uctm.edu

проф. д.т.н. инж. Георги ПОПОВ
Технически Университет-София
Машинно-Технологичен Факултет
София,1000
бул „Св. Кл. Охридски” 8
e-mail: gepop@tu-sofia.bg

гл. ас. д-р инж. Григор СТАМБОЛОВ
Технически Университет-София
Машинно-Технологичен Факултет
София,1000
бул „Св. Кл. Охридски” 8
e-mail: gstamb@tu-sofia.bg

гл. ас. инж. Христо КАРАМИШЕВ
Технически Университет-София
Машинно-Технологичен Факултет
София,1000
бул „Св. Кл. Охридски” 8
e-mail: hristo_karamishev@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

CONTROL OF MILLING AND DRILLING OPERATIONS USING REUSABLE FUNCTION BLOCKS

Grigor STAMBOLOV Idilia BACHKOVA Totiu GESHEV Georgi POPOV Hristo KARAMISHEV

Abstract: The software part in control systems is increasing continuously, leading to an increasing design and development time. This requires the use of new approaches, methods and tools in the domain of software engineering for control. On the other hand more often software adaptation is imposed by the introduction in the production of new products or by occurrence of internal or external disturbances. In order to tackle these problems, in this paper an approach based on the use of IEC-61499 based models at the component level for development of distributed control systems through appropriate networking of the various components is proposed. The reference architecture and models offered in the standard allow the design of reusable function blocks with varying degrees of complexity. The approach is applied to design a control system for drilling and milling machine operations.

Key Words: *IEC 61499, control system, automation manufacturing system, milling, drilling*

УПРАВЛЕНИЕ НА ФРЕЗОВИ И ПРОБИВНИ ОПЕРАЦИИ ЧРЕЗ МНОГОКРАТНО ИЗПОЛЗВАЕМИ ФУНКЦИОНАЛНИ БЛОКОВЕ

Григор СТАМБОЛОВ Идилия БАЧКОВА Тотю ГЕШЕВ

Георги ПОПОВ Христо КАРАМИШЕВ

Резюме: *Софтуерната част в системите за управление нараства непрекъснато, което води до удължаване на времето за проектиране и разработка. Това налага използването на нови подходи, методи и средства в областта на софтуерното инженерство. От друга страна все по-често се налага адаптация на софтуера за управление, наложена от въвеждането в производството на нови продукти или настъпили външни или вътрешни смущения. С оглед да се справи с тези проблеми в настоящата разработка е предложен подход, свързан с използването на IEC-61499 базирани модели на компонентно ниво за целите на изграждане на разпределени системи за управление, чрез подходящо свързване в мрежа на различните компоненти. Предлаганите в стандарта референтна архитектура и модели позволяват проектирането на многократно използваеми функционални блокове с различна степен на сложност. Подходът е приложен за проектирането на система за управление на фрезови и пробивни операции в машиностроенето.*

Ключови думи: *IEC-61499 стандарт, системи за управление, автоматизирани производствени системи, фрезови и пробивни операции*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременната индустрия през последните години навлизат нов тип системи за управление, които позволяват съчетаване на производителност и гъвкавост при производството на различни по тип и серийност детайли чрез реконфигуриране на самата производствена система на ниво управление. Напредъкът в развитието на микроелектрониката, софтуерните технологии и комуникациите създава възможности за изграждане на функционални разпределени системи за управление, притежаващи характеристики като модулност, интегрируемост, конвертируемост и възможности за диагностициране на производствените процеси. Изискванията към автоматизираните и производствени системи се измениха съществено след последните разработки в областта на информационните системи. Новите изисквания в голямата си част са продиктувани от възможностите за комуникация на

производствената система и нейните елементи с други части на същата система, необходимостта от модернизация и модификация на системата, както и универсалност при езиците за програмиране. Една от задачите при проектирането на подобен тип управление е разработването на приложения за управление на задвижванията в металорежещите машини чрез преизползваеми функционални блокове, базирани на стандарта IEC-61499 [1]. Този стандарт предлага референтна архитектура, която подпомага разработката на разпределени системи за управление чрез използването на съвкупност от модели, базирани на концепцията за използване на функционални блокове (FB), отразена в стандарта IEC-61131 [2]. Моделите на функционалните блокове, съгласно стандарта IEC-61499, могат да бъдат използвани за дефиниране на преизползваеми софтуерни компоненти, които да бъдат използвани в етапите на проектиране на разпределени системи за управление с различна степен на сложност.

През последните години се осъществяват множество научни проекти и разработки в областта на разпределеното управление на базата на стандарта IEC-61499. Публикувани са множество резултати в областта на проектирането на разпределени системи за управление, част от които са анализирани от Вяткин в [3], където още се прави оценка на основните предимства и недостатъци от индустриалното внедряване на стандарта и перспективите, които се очертават пред него. В [4] се дискутират и представят различни систематизирани подходи за проектиране на разпределени контролери в областта на системите за индустриална автоматизация, а в [5] е представена реализацията на йерархичен подход за управление чрез многослойна архитектура. Също така се работи и в областта на постигане на реконфигурируемост на системите за управление, като една от последните в тази област разработки предлага методология, базирана на интеграция между планирането на високо ниво с управлението на ниско ниво и онтологично-базиран реконфигуриращ агент [6]. Друга важна насока на използване на стандарта е в посоката на създаване на нова CNC архитектура, базирана на STEP-NC модели за данни и IEC-61499 функционални блокове [7]. Авторите на настоящата публикация са осъществили множество разработки в областта на проектиране на системи за управление, мониторинг и диагностика за целите на Реконфигуриращите се Производствени Системи (РПС). В досегашните си публикации авторите са използвали обектно-ориентирания подход за проектиране на отворени разпределени системи, целящ разширяване на съществуващите възможности на базираните на стандарта средства чрез тяхното интегриране с моделиращите средства на UML [8], както и към IEC-61499 базирано управление на подавателни движения при пробивни и фрезови операции [9]. В областта на мониторинга и диагностиката на РПС са постигнати резултати при проектирането на системи за мониторинг и диагностика на резбообработващи операции [10], както и при съгласувани движения по две [11] и повече от три оси на управление [12].

В настоящата статия е представено използването на референтна архитектура за проектирането на системата за управление на ниво устройство, ресурс и приложение за фрезови и пробивни операции в машиностроенето чрез многократно използваеми функционални блокове, базирани на стандарта IEC-61499.

2. IEC 61499 РЕФЕРЕНТНА АРХИТЕКТУРА ПРИ АВТОМАТИЗИРАНИТЕ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ

При проектирането на софтуера в системите за управление е необходимо са бъдат анализирани и отразени изграждащите компоненти на тези системи и въз основа на направените изводи да бъде разработена референтна архитектура. За целта е необходимо проектът да включва графично представяне на различните аспекти на системата за управление. Графичното представяне се отнася както за абстрактни аспекти на проекта, така и за физическата реализация на софтуера. Изгледите, включени в модела на графично представяне са следните:

- Логически изглед – отразява функционалните изисквания към системата за управление и включва дефиниране на основните функционални блокове и интерфейсите помежду им;
- Изглед на процесите – представя системата за управление като логическа мрежа от комуникиращи си програми, разпределени на различни хардуерни ресурси;
- Изглед “разработка” – отразява организацията на използваните в системата за управление софтуер, библиотеки и модули, както и съществуващите връзки и ограничения между тях;
- Физически изглед – отразява използваните в системата за управление физически устройства и контролери, като показва и комуникационните връзки между тях.

Стандартът IEC-61499 дефинира основните понятия и референтна архитектура при разработката на модулни, многократно използваеми и отворени системи за разпределено

управление. Основният изграждащ компонент, дефиниран в IEC-61499, е функционалният блок (ФБ), като всяка система за управление може да бъде описана като логически свързани помежду си функционални блокове чрез техните входно/изходни данни и събития. Стандартът IEC-61499 предлага три вида функционални блокове:

- Основен ФБ – включва интерфейс на входните и изходни данни и събития, граф за управление на изпълнението (Execution Control Chart – ECC), вътрешни данни и алгоритми;
- Съставен ФБ – обединява множество от основни функционални блокове, свързани чрез входните и изходни данни и събития в сложна функционална мрежа;
- ФБ на интерфейс на услуги – предоставя комуникация чрез еднопосочен (publish/subscribe) и двупосочен (client/server) интерфейс.

Стандартът IEC-61499 дефинира четири вида модели, които позволяват проектирането на разпределени системи за управление: системен модел, модел на устройствата, модел на ресурсите и модел на приложение (фиг. 1). Моделите на ниво "приложение" се изграждат на базата на мрежа от основни и/или съставни функционални блокове и могат да бъдат изпълнявани от едно или повече устройства, съдържащи един или повече ресурси.



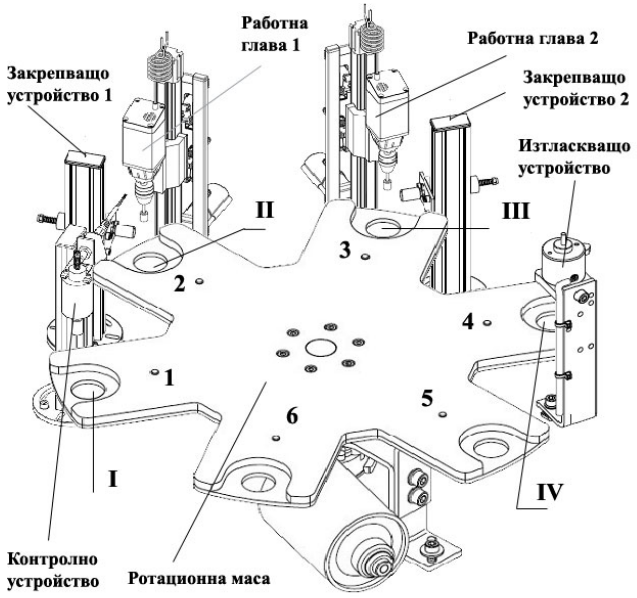
Фиг. 1. Основни модели в стандарта IEC-61499

Моделите на ниво "ресурс" осигуряват изпълнението на управлението на базата на определен времеви график и комуникационните интерфейси. Моделите на ниво "устройство" представляват един или повече хардуерни компонента, съдържащи блок за управление с един или няколко модела на ниво "ресурс", които определят специфичните функции на производствения процес. Тези модели се проектират с два типа интерфейси – за комуникация със съответните съставляващи ги ресурси, както и за комуникация с други модели на ниво "устройство". Моделите на ниво "система" съдържат изграждащите ги модели на ниво "устройство", които са свързани помежду си в глобална или локална комуникационна мрежа.

3. АВТОМАТИЗИРАНА РАБОТНА СТАНЦИЯ ЗА МЕХАНИЧНА ОБРАБОТКА

В зависимост от нуждите на производството съвременните производствени системи са изградени от една или няколко работни станции, свързани помежду си с транспортни устройства (конвейери, манипулатори и т.н.). На всяка от работните станции се извършват различни по своята специфика обработващи операции. За описание на системата за управление е избран пример на работна станция за механична обработка, осъществяваща пробивни и фрезови операции за призматично корпусни детайли, показана на фиг. 2. Компоновката на работната станция е проектирана по аналогия на автоматизирана работна станция на фирмата FESTO [11], като е модифицирана чрез добавяне на втора работна глава с цел увеличаване капацитета на производствената система. Наличието на две работни глави

увеличава функционалността на системата и дава възможност за реализиране на различни производствени сценарии. Разглежданата работна станция се явява част от автоматизираната производствена система за изработване на призматично корпусни детайли и предлага възможности за комуникация с други станции (заготвителни, транспортни, измервателни, складови и т.н.) от производствената система.



Фиг. 2. Автоматизирана работна станция за механична обработка [11]

Представената работна станция за механична обработка е изградена от следните устройства:

- Работна шест-позиционна ротационна маса;
- Контролно устройство;
- Работна глава – 2 бр.;
- Закрепващо устройство – 2бр.;
- Изтласкващо устройство.

Призматично корпусният детайл за обработка на работната станция се транспортира чрез манипулатор и базира на шест-позиционната работна маса. Тя се задвижва от постояннотоков електромотор. Управлението на ротационната маса е релейно. Достигането до фиксирана позиция се регистрира от индуктивен сензор. Контролното устройство чрез електромагнит (поз.1) проверява правилността на базиране на детайлите. Работната глава (поз.2 и поз.3) осъществява обработващия процес чрез въртеливо движение на инструмента (главно движение) и подавателно движение по линейна ос, характеризиращо се с бърз и работен ход. Подавателното и реверсираното движение се осъществяват чрез зъбна ремъчна предавка. Чрез смяна на работната глава, която е изградена на модулен принцип, е възможно обработването да се осъществява във вертикална, хоризонтална или наклонена под ъгъл ос чрез пробивни и фрезови инструменти. Закрепващите устройства (поз.2 и поз.3) фиксират, закрепват и освобождават (след приключване на работния процес) обработваните детайли в работната зона. Изтласкващото устройство (поз.4) транспортира вече обработеният детайл към следваща работна станция.

Работната станция обработва детайлите в строга последователност. Изходната позиция на работната станция е следната:

- Ротационната маса е позиционирана;
- Буталото на сензора от контролното устройство е повдигнато;
- Работният модул е в горна позиция (важи за двата работни модула);
- Електромоторите на работните модули са изключени;
- Закрепващото устройство е в освободено състояние.

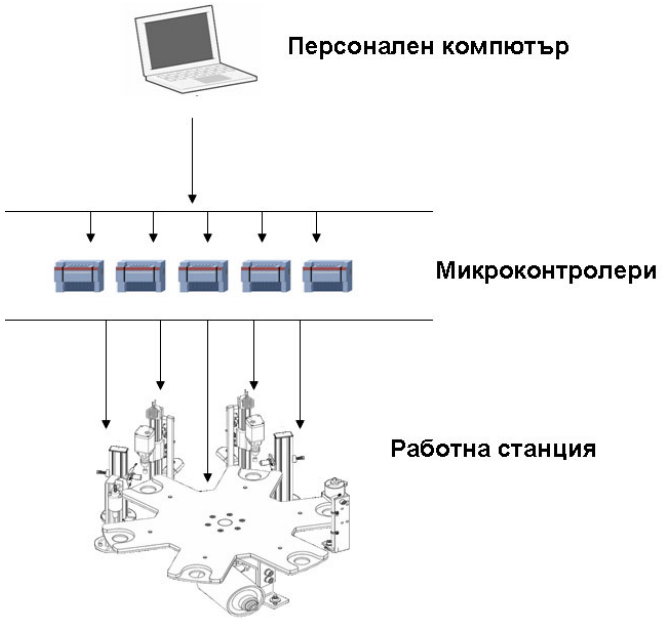
Работният цикъл се изпълнява от поз.I към поз.IV в следната последователност:

- Позиция I – Ротационната маса е в изходна позиция с установен на нея детайл. Буталото на сензора се спуска надолу и проверява за наличие на детайл. Ротационната маса се завърта до поз.2, ако резултатът от проверката е удовлетворителен;
- Позиция II – Затягащо устройство 1 закрепва детайла в работната поз.2. Електромоторът на работната глава 1 се включва и вретеното със закрепения на него инструмент се подава по оста си към детайла – осъществява се пробивна или фрезова операция. След завършване на обработващия процес движението на подаването се реверсира и работната глава се завръща в изходна позиция. Електромоторът на работната глава се изключва, затягащото устройство освобождава детайла и ротационната маса се завърта в поз.3;
- Позиция III – Действията, извършвани в тази позиция са аналогични на тези в поз. 2, но в изпълнение от затягащо устройство 2 и работна глава 2. След завършване на обработващата пробивна или фрезова операция ротационната маса се завърта в поз. 4;
- Позиция IV – В тази позиция се активира изтласкващото устройство, което транспортира обработения детайл към следваща станция или складово стопанство.

Работният цикъл може да се повтори отново, ако в първата позиция на ротационната маса постъпи нов детайл. Позиции ***5*** и ***6*** на ротационната маса са празни, но при съответна планираща стратегия е възможно да бъдат използвани за транспортиране на детайли към други работни, измервателни или складиращи станции чрез манипулатори.

4. РАЗРАБОТВАНЕ НА IEC-61499 БАЗИРАНА АРХИТЕКТУРА НА РАБОТНА СТАНЦИЯ ЗА МЕХАНИЧНА ОБРАБОТКА

Реализацията на разпределено управление е свързана с проектирането на архитектура от отворен тип, на базата на стандарта IEC-61499, която позволява добавяне, модифициране и отстраняване на компоненти, необходими в процесите на управление при механична обработка. На фиг. 3 е предложена следната комуникационна структура за разпределено управление на представената работна станция за механична обработка.



Фиг. 3. Комуникационна структура за разпределено управление на работна станция за механична обработка

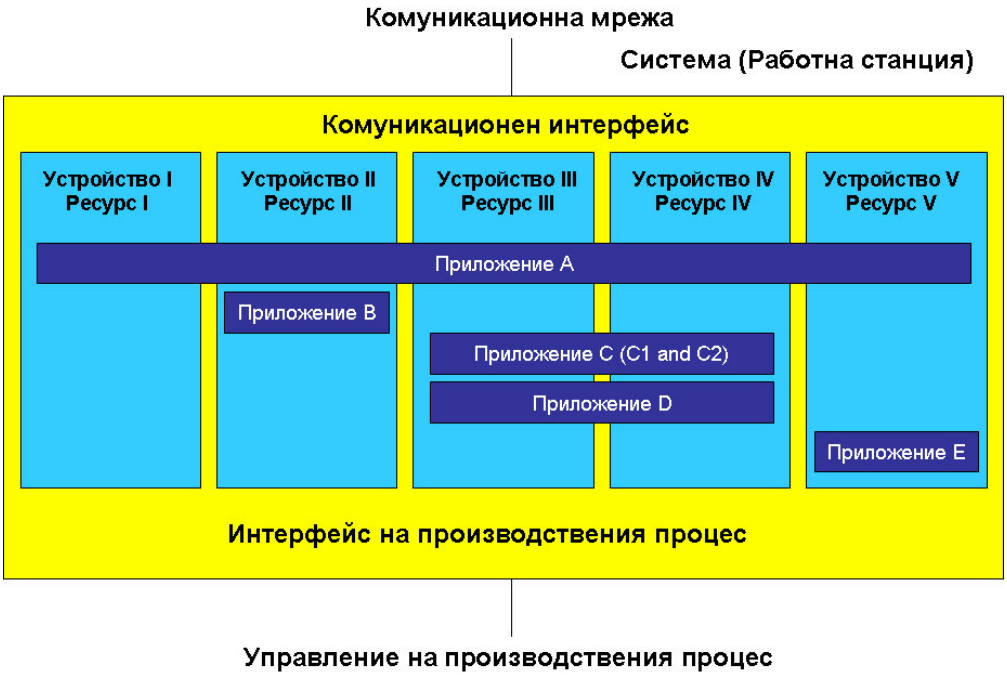
Основните елементи, необходими за реализиране на системата за управление от отворен тип са следните:

- Персонален компютър (PC), съдържащ разработените модели за управление на движенията на изграждащите елементи на работната станция (ротационна маса, работни глави и т.н.). За реализиране на комуникационната схема е необходимо използването на USB и RS 485 интерфейси;
- Програмируеми микроконтролери с необходимите входове и изходи за сензори, изпълнителни механизми и комуникационни интерфейси (CAN bus, Wire bus).

Програмируемите микроконтролери съответстват за всяко устройство на представената работна станция с цел осъществяване на разпределено управление;

- Работна станция с прилежащите й устройства (ротационна маса, работни глави и т.н.).

Системният модел за управление на работната станция е представен илюстративно на фиг. 4 и обхваща както ресурсите за управление на операциите, така и устройствата, нужни за тяхното реализиране. Така представения модел позволява преизползване на ресурсите, изразяващо се в създаване на нови екземпляри на функционалните блокове в рамките на определен ресурс, асоцииране на фрагменти от функционален блок в определено приложение, създаване на връзки по данни и събития между функционални блокове или между тях и интерфейсите, изтриване на функционални блокове с техните екземпляри и свързаните с тях събития и т.н.



Фиг. 4. Системен модел за управление на работна станция

Разглежданата работна станция е представена на ниво система, ниво ресурс и ниво приложение. На ниво приложение са разработени следните екземпляри на основни функционални блокове:

- IEC-61499 основен функционален блок за движение на ротационната маса (Приложение A);
- IEC-61499 основен функционален блок за движение на соленоидния сензор на контролното устройство (Приложение B);
- IEC-61499 съставен функционален блок за движение на работния модул (Приложение C), съставен от две подприложения (C1 и C2), съответно за главното и подавателно движение;
- IEC-61499 основен функционален блок за работа на закрепващото устройство (Приложение D);
- IEC-61499 основен функционален блок за работа на изтласкващото устройство (Приложение E).

На ниво ресурс работната станция е представена чрез пет микроконтролера, съответстващи на отделните устройства, нужни за реализиране на работните операции. Поради целите за постигане на разпределено управление, моделите на ниво ресурс съответстват на тези на моделите на ниво устройство. На фиг. 4 устройствата са представени с позиции, които съответстват на следните устройства:

- Устройство I – работна шестпозиционна работна маса;
- Устройство II – контролно устройство;
- Устройство III – работна глава 1 и закрепващо устройство 1;
- Устройство IV – работна глава 2 и закрепващо устройство 2;
- Устройство V – изтласкващо устройство.

На ниво система в случая се разглежда цялата работна станция за механична обработка.

5. РАЗРАБОТВАНЕ НА IEC-61499 МОДЕЛИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДВИЖЕНИЯТА ПРИ ФРЕЗОВИТЕ И ПРОБИВНИ ОПЕРАЦИИ

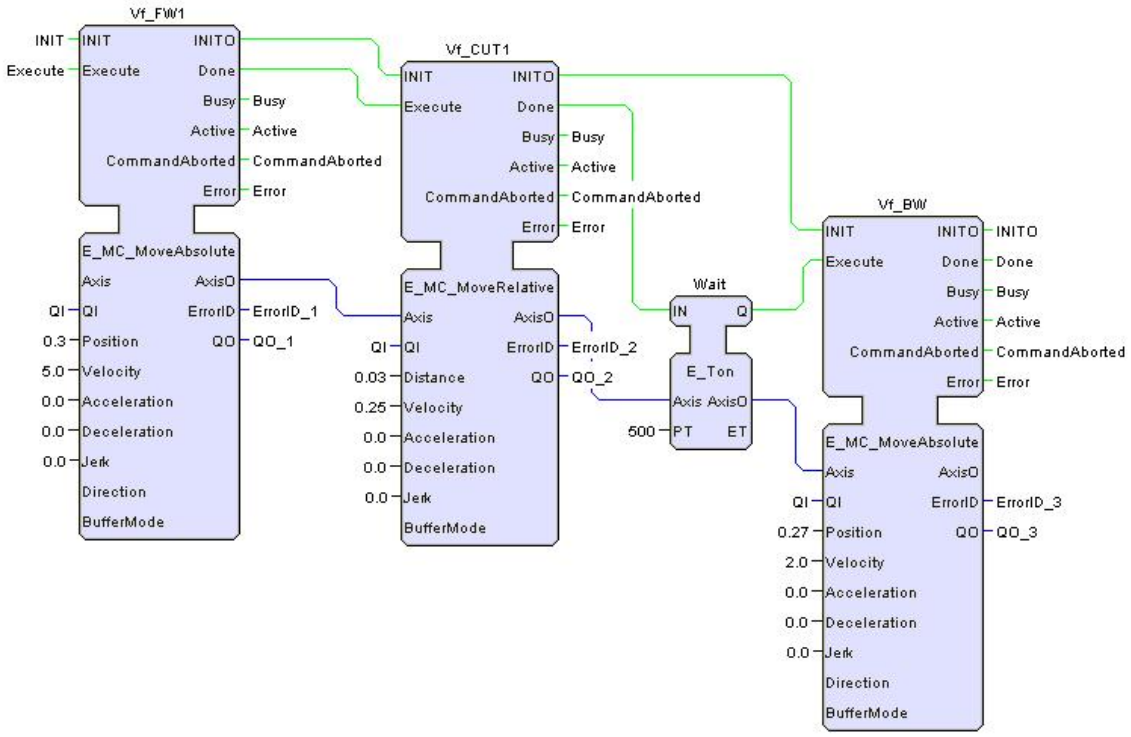
Отправна точка към настоящото изследване е вече разработената библиотека за управление на движенията на базата на стандарта IEC-61131 от организацията PLCOpen [2]. Разработените функционални блокове от библиотеката могат да бъдат използвани в стандарта IEC-61499 главно по две начина: да бъдат имплементирани вече разработените алгоритми от IEC-61131 като алгоритми в IEC-61499 базирани функционални блокове или IEC-61131 базирани функционални блокове да бъдат трансформирани директно в основни IEC-61499 базирани функционални блокове. При изграждане на моделите за управление на движенията при пробивни и фрезови операции е използван втория подход, като основно правило, което се използва при трансформацията е, че всички входни и изходни данни от булев тип се трансформират съответно във входни и изходни събития. За движения, които не фигурират в библиотеката на PLCOpen се проектират нови основни функционални блокове с прилежащите им технически характеристики. В таблица 1 са представени основните функционални блокове, необходими за управление на задвижванията за съответните операции за механична обработка.

Таблица 1 IEC-61499 основни функционални блокове за управление на движенията

IEC 61499 основни функционални блокове за управление на движенията		
Обработваща операция	**Главно движение**	**Подавателно движение**
Свредловане, Разсвредловане, Зенкероване, Разпробиване, Фрезоване по една ос	MC_Move_Speed	E_MC_Move_Abssolute E_MC_Move_Relative E_Ton E_MC_Move_Abssolute
Райбероване	MC_Move_Speed	E_MC_Move_Abssolute E_MC_Move_Relative E_Ton E_MC_Move_Relative E_MC_Move_Abssolute
Резбонарязване	MC_Move_Speed E_Ton MC_Move_Speed	E_MC_Move_Abssolute, E_MC_Move_Relative, E_Ton, E_MC_Move_Abssolute
Фрезоване по повече от една ос (съгласувани движения)	MC_Move_Speed	E_MC_Move_Linear_Abssolute E_MC_Move_Linear_Relative E_Ton E_MC_Move_Linear_Relative E_MC_Move_Linear_Abssolute

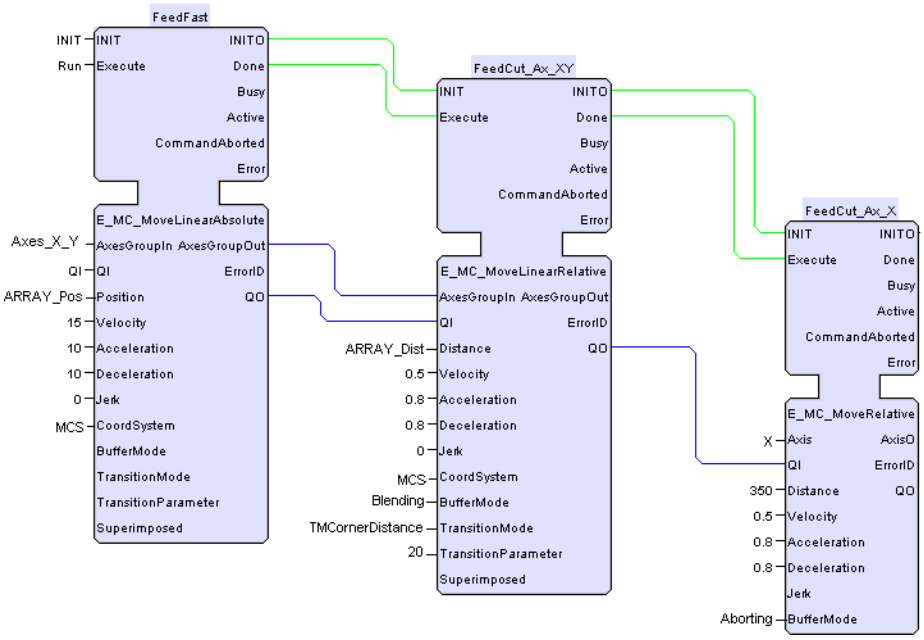
Основните функционални блокове, трансформирани от стандарта IEC-61131 в IEC-61499 са следните:

- E_MC_Move_Abssolute - реализира подавателно движение по една ос на вретеното с предварително определената максимална скорост Vf (на бърз ход);
- E_MC_Move_Relative - реализира подавателно движение по една ос на вретеното с работна скорост Vf, като позицията, до която трябва да се достигне е зададена относително спрямо предходна позиция;
- E_Ton - предизвиква спиране на мотора за известен период от време, дефинирано спрямо извършвания технологичен процес;
- E_MC_Move_Linear_Abssolute - реализира съгласувано подавателно движение по повече от една ос на вретеното с предварително определената максимална скорост Vf (на бърз ход);
- E_MC_Move_Linear_Relative - реализира съгласувано подавателно движение по повече от една ос на вретеното с работна скорост Vf, като позицията, до която трябва да се достигне е зададена относително спрямо предходна позиция.



Фиг. 5. Управление на подавателно движение по една ос чрез основни функционални блокове

На фиг. 5 е представено приложение за управление на подавателно движение по една ос с трансформираните основни функционални блокове E_MC_Move_Abssolute, E_Ton и E_MC_Move_Relative. Моделът се прилага успешно за пробивни операции (свредловане, разсвредловане, зенкероване, разпробиване) и фрезови операции по една ос. Подавателната скорост и посоката на движение са дефинирани като входни данни за функционалния блок.

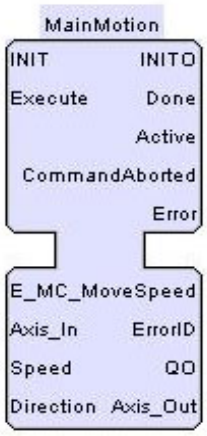


Фиг. 6. Управление на съгласувано подавателно движение по повече от една ос чрез основни функционални блокове

На фиг. 6 е представено разработено приложение за управление на съгласувани подавателни движения по повече от една ос чрез трансформираните основни функционални блокове E_MC_Move_Linear_Abssolute и E_MC_Move_Linear_Relative.

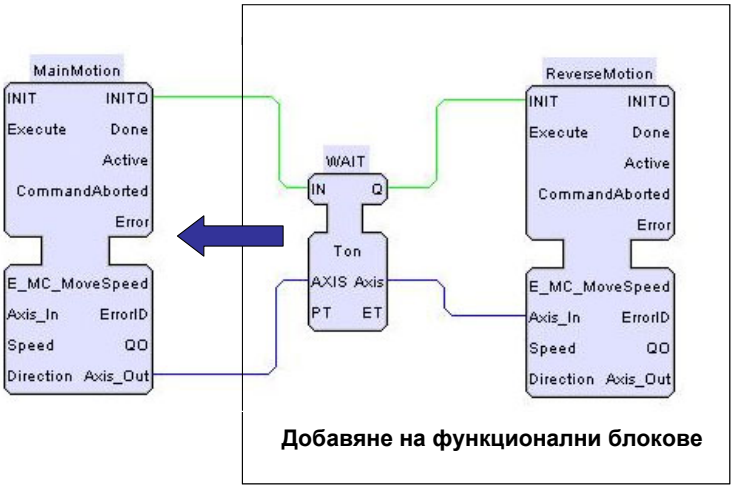
Представеният модел може да бъде успешно имплементиран при фрезоване на сложни и профилни повърхнини, където е необходимо съгласуване на движенията по няколко оси. В зависимост от сложността на обработваните повърхнини се добавят допълнително екземпляри от същите функционални блокове до завършване на обработващия цикъл.

Трансформираните основни функционални блокове реализират подавателните движения към разглежданите устройства за механична обработка. За осъществяване управлението на главното движение не е открит аналог на такъв модел в библиотеката на PLCOpen, което налага разработването на ново приложение. Проектираният основен функционален блок е с наименование MC_Move_Speed и реализира главното движение на вретеното (фиг. 7). И тук, както в описаните модели за подавателно движение големината на главното движение и посоката му на въртене се дефинират в частта на функционалния блок за входни данни.



Фиг. 7. Управление на подавателно движение по една ос чрез функционални блокове

Едно от предимствата на стандарта IEC-61499 е възможността за добавяне, модифициране или отстраняване на функционални блокове в зависимост от конкретните изисквания към технологичния процес. На фиг. 8 е показано добавяне на функционални блокове към приложението за главно движение, когато се налага реверсиране на посоката на въртене на вретеното (например при реализиране на резбообработваща операция с машинен метчик). При преминаване към операции без необходимост от реверсиране на движението добавените функционални блокове MC_Move_Speed и E_Ton се премахват (изтриват) от модела за управление.



Фиг. 8. Добавяне на основни функционални блокове в приложение "главно движение"

Основните задачи, които предстоят да бъдат решени са свързани от една страна с изследване на възможностите за формално специфициране на проекта и неговата формална верификация, а от друга с разширяване на системата за управление с фрагменти от функционални блокове за диагностика.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложен е компонентно-базиран подход за проектиране на отворени разпределени системи за управление с използване на стандарта IEC-61499, който позволява по-детайлно и пълно дефиниране на изискванията към системата за управление;
2. Изяснени са функционалните връзки в нивото за непосредствено управление на обекта при децентрализирано управление на РПС;
3. Разработена е IEC-61499 референтна архитектура на работна станция за механична обработка при пробивни и фрезови операции на ниво устройство, ресурс и приложение;
4. Предприета е трансформация на разработената от PLCopen библиотека от функционални блокове за управление на движенията, базирани на стандарта IEC-61131, съгласно стандарта IEC-61499, целяща тяхното ефективно преизползване при изграждането на разпределени приложения;
5. Разработен е основен функционален блок MC_Move_Speed за управление на главното движение на работните глави на разгледаната работна станция;
6. Представени са функционални възможности за многократна използваемост на функционалните блокове чрез тяхното добавяне, модифициране или отстраняване в зависимост от нуждите на производствения процес.

БЛАГОДАРНОСТИ

В настоящата разработка са представени резултати, постигнати в рамките на изследователския проект ВУ-ТН-208/06 „Създаване на методология за управление и диагностика на реконфигуриращи се производствени системи в индустрията”, финансиран от НФНИ при МОН, на който авторите изказват своята благодарност.

ЛИТЕРАТУРА

1. IEC61499, *International Standard IEC61499, Function Blocks, Part 1 - Part 4*, International Electrotechnical Commission (IEC), Technical Committee TC65/WG6, IEC Press, January, **2005.**
2. PLCOpen, *Technical Committee 2 - Task Force, Function blocks for motion control, Version 1.1.* April, **2005**, Достъпна на: http://plcopen.org/, отворена на 21.06.2001 г.
3. Vyatkinp, V.V. *The potential impact of the IEC 61499 standard on the progress of distributed intelligent automation.* International Journal Manufacturing Technology and Management, Vol. 8, Nos. 1/2/3, **2006**, pp. 107-125.
4. Vyatkin, V., Hirsch, M., Hanisch, H.M. *Systematic design and implementation of distributed controllers in industrial automation*. 11th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'06), Prague, Czech, **2006**, Proceedings of Papers, pp.633-640.
5. Missal, D., Hirsch, M., Hanisch, H.M. *Hierarchical Distributed Controllers – design and verification*. 12th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA'07), Patras, Greece, **2007**, Proceedings of Papers, pp.657-664.
6. Alsafi, Y., Vyatjin, V. *Ontology-based reconfiguration agent for intelligent mechatronic systems in flexible manufacturing*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 26, **2010**, pp. 381-391.
7. Minhat, M., Vyatkin, V., Xu, X., Wong, S., Al-Bayaa, Z. *A novel open CNC architecture based on STEP-NC data model and IEC 61499 function blocks*. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 25, **2009**, pp. 560-569.
8. Бачкова И., Попов Г., Стамболов Г., Антонова И., *Проектиране на отворени разпределени системи за управление на базата на стандарта IEC 61499*. Годишник на ТУ-София, филиал Пловдив "Фундаментална Наука и Приложения" Годишна Научна Конференция, **2006**, Пловдив, България, Гл. 13, стр. 45-51.
9. Карамишев, Хр., Бачкова, И., Попов, Г., Гешев, Т., *IEC 61499 базирано управление на подавателните движения в Реконфигурируеми Металорежещи Машини*. Международна конференция "Автоматика и Информатика'2007", 3-6 Октомври, **2007**,София, България, стр. 4-7.
10. Karamishev, Hr., Stambolov, G., Bachkova, I., Geshev, T. *Distributed diagnostic and control of cutting processes based on IEC-61499*. 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, June 3 - 5, **2009**, Moscow, Russia, pp. 448 – 453.
11. FESTO, Bulgaria, *Official website*, http://www.festo.bg
12. Holobloc Inc., *Function Block Development Kit (FBDK)*, http://www.holobloc.org

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

гл. ас. д-р Григор СТАМБОЛОВ
Машинно-Технологичен Факултет
Технически Университет – София
София, 1000, бул. Кл. Охридски 8
e-mail: gstamb@tu-sofia.bg

доц. д-р Идилия БАЧКОВА
Факултет по Химично и Системно Инженерство
Химико-Технологичен и Металургичен Университет – София
София, 1756, бул. Кл. Охридски 8
e-mail: idilia@uctm.edu

доц. д-р Тотю ГЕШЕВ
Машинно-Технологичен Факултет
Технически Университет – София
София, 1000, бул. Кл. Охридски 8
e-mail: t_geshev@tu-sofia.bg

проф. д.т.н. Георги ПОПОВ
Машинно-Технологичен Факултет
Технически Университет – София
София 1000, бул. Кл. Охридски 8
e-mail: gepop@tu-sofia.bg

гл. ас. инж. Христо КАРАМИШЕВ
Машинно-Технологичен Факултет
Технически Университет – София
София, 1000, бул. Кл. Охридски 8
e-mail: hristo_karamishev@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

COMPUTER MODELING OF TWIST DRILLS

Galina NIKOLCHEVA **Ivo LIKOV**

Abstract: *The present article presents a method to create 3D CAD accurate models of conical twist drills using solid-modeling techniques. The method is based on geometric and manufacturing parameters. Dependencies are obtained, describing the parameters of the drill down tool and sharpening it. This tool is a required component of numerical/FE models of drilling.*

Key Words: *3D CAD models, twist drills, FE models of drilling.*

КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА ВИНТОВИ СВРЕДЛА

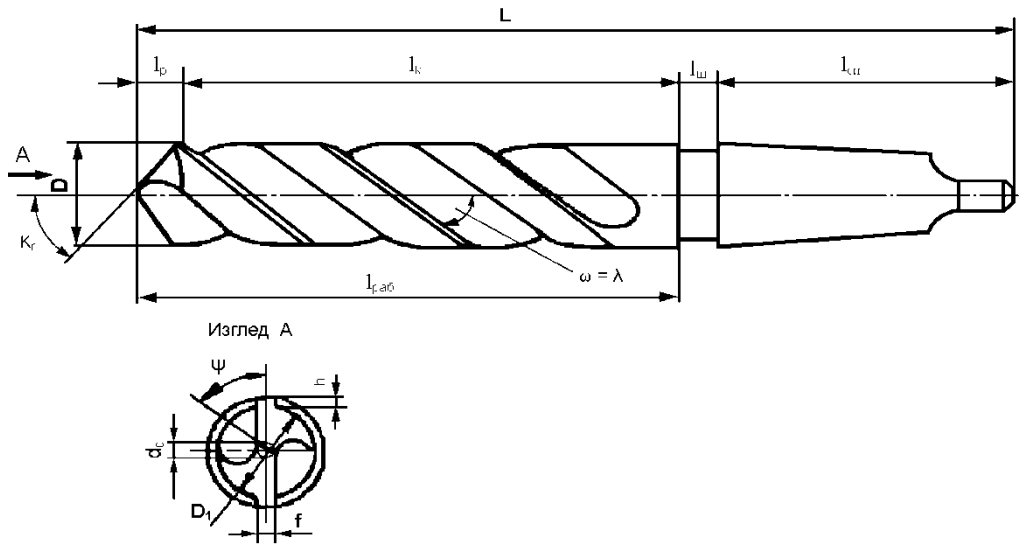
Галина НИКОЛЧЕВА **Иво ЛИКОВ**

Резюме*:В статията се представя метод за създаване на точен модел на винтово свредло със заточване по конусна повърхнина. Изведени са зависимости, описващи параметрите на установяване на свредлото и заточващия го инструмент. Моделирането се прави с 3D графичен моделиер, като се използват геометричните и производствените параметри за заточване на свредлото. Създаденият инструмент съдържа цифровите данни необходими за следващи изследвания по метода на крайните елементи.*

Ключови думи*: 3D модел, винтово свредло, заточване по конус, крайни елементи.*

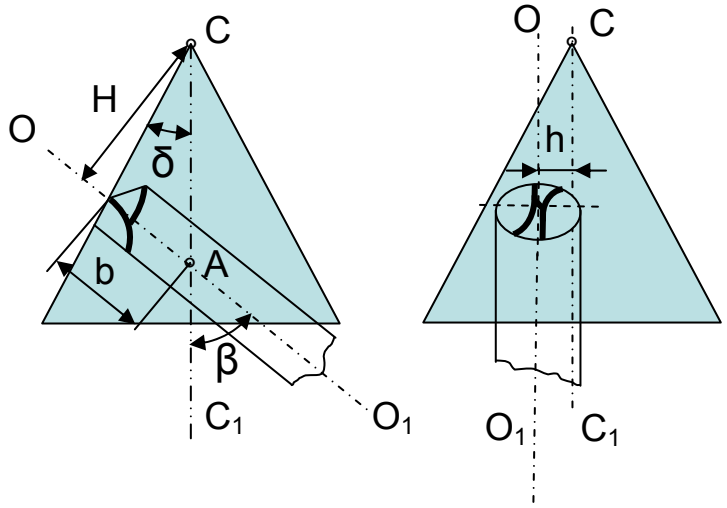
1. ВЪВЕДЕНИЕ

Свредлованието е една от най-често срещаните машинни операции. Най-използваният инструмент в тези случай е винтовото свредло. Геометрията на винтовите свредла е известна и е показана на фиг. 1. Заточването на свредлата се осъществява по задната им повърхнина, като тя е част от конусна или винтова повърхнина [4].



Фиг. 1.Конвенционално заточено свредло [4]

При това заточване се постигат определени стойности на следните ъгли: заден ъгъл α, главен установъчен ъгъл κ_r, ъгъл на наклона на спомагателния режещ ръб ψ и преден ъгъл на напречния режещ ръб γ_H. В производствени условия свредлата се презаточват върху универсални заточни машини и приспособления за заточване по конусна повърхнина, които са с по-проста конструкция, улеснено настройване и експлоатация [4]. На фиг.2 е представена схемата за заточване по конусна повърхнина. Заточването се осъществява с възвратно въртеливо движение около оста на люлката CC_1.



Фиг. 2 Конвенционална схема на заточване на винтово свредло по конусна повърхнина

Ъгълът, между работната повърхнина на абразивния диск и оста CC_1 се явява ъгъл на конуса δ, а ъгълът β се намира между оста CC_1 и оста на свредлото. Свредлото се заточва с главен установъчен ъгъл $\kappa_r = \delta+\beta$. В зависимост от конструкцията на приспособлението този ъгъл може да се изменя или да бъде постоянен - обикновено 59°. При заточването на свредла с различни диаметри подходящите геометрични параметри се получават посредством предварително настройване на приспособлението с постигане на определени стойности на размерите b и h [1]. Изместването b се измерва от пресечната точка на осите на конуса и на свредлото /т.А/ и определя разстоянието Н, което е между оста на свредлото и върха на въображаемия конус. Практически с това настройване задната повърхнина на свредлото A_α се формира от определена част на конусната повърхнина. Напречното изместване h на оста на свредлото спрямо оста на конуса гарантира получаването на положителни задни ъгли α.

С цел да се опрости конструкцията, настройването и експлоатацията на устройството (процесът на заточване), в [3] е разработена нова конструкция на приспособление. При съществуващите устройства свредлото се измества странично на разстояние h, в равнина, успоредна на оста на конуса. В новата конструкция това разстояние се постига в резултат на завъртане на оста на свредлото в т.О около ос I на определен ъгъл θ (фиг.3). Изведени са и зависимости за големината на ъгъла θ и разположението на т.О, при които заточваното свредло се получава с оптимални геометрични параметри.

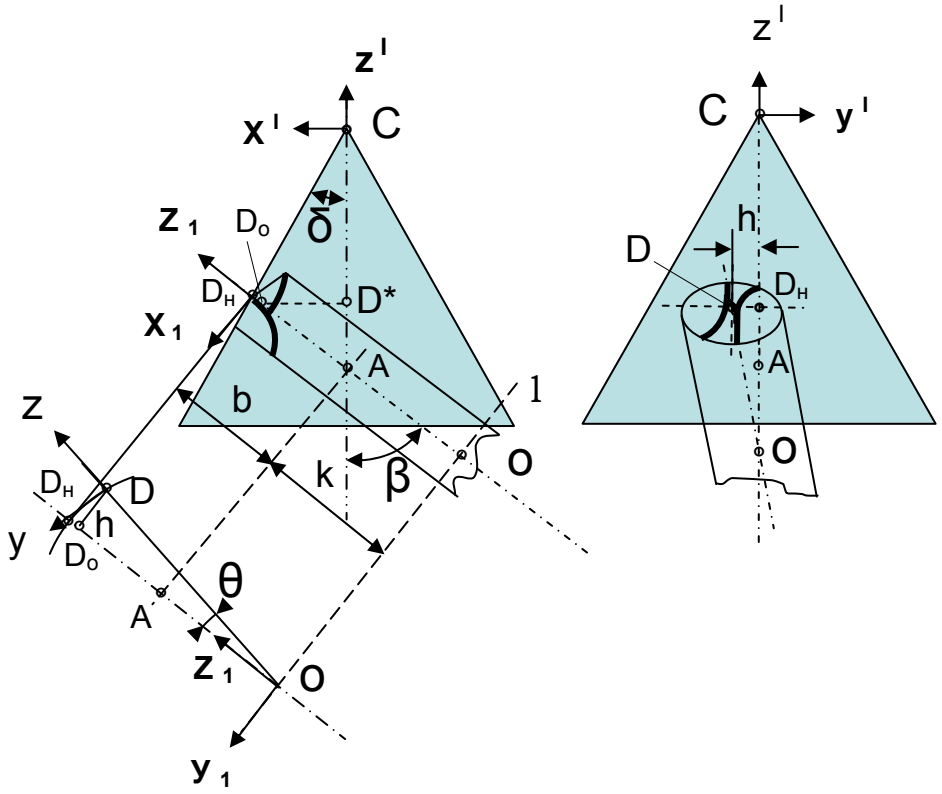
2. КОМПЮТЪРНО МОДЕЛИРАНЕ НА СВРЕДЛА

За моделиране и изследване процеса на свредловане много изследователи използват математически подход, при който инструментът се описва чрез сложни уравнения [2,4] или се правят многобройни експерименти, при които се взимат предвид много фактори [1,7,10]. Двата подхода изискват значително време за разработване на точни модели на свредловане и за провеждане на многобройни опити за получаването на достоверни резултати. Много от тези работи включват разнообразни ограничения, поради фактът, че те се базират на 2D стратегии и геометрията на инструментите се дефинира като се използват принципите на проекционната геометрия [8,9,10,11,12].С увеличаване използването на съвременни CAD системи се създават възможности за развиване на нови CAD инструменти за моделиране , симулиране и оптимизиране на различни технологични процесс (свредловане, фрезоване и др.). Новият подход предполага разработването на приложен интерфейс към потребителските CAD системи. Тези стратегии разкриват големите възможности за моделиране на процесите както и увеличават гъвкавостта на софтуерната среда на съвременните CAD системи при подобни приложения [5]. За тяхното прилагане е необходимо да бъдат създадени 3D модели на съответните инстрименти [5, 7, 12,13].

Целта на тази работа е да се разработи 3D модел на свредло, заточено по предлаганата опростена методика. Този модел в бъдеще ще послужи за разработване на компютърно базирана система за симулиране, изследване и оптимизиране на процеса на заточване и на свредловане с тези инструменти.

За създаването на 3D модел на свредло заточено, по предлаганата в [3] методика е необходимо да се дефинират координатните системи на свредлото и на заточващия инструмент, които са показани на фиг. 3. Десните координатни системи, свързани със свредлото и с конуса са в следните зависимости.

Координатната система $Ox_1y_1z_1$ е на свредлото в началното положение, преди да бъде завъртяно на ъгъл θ около ос l II x. Ос z_1 е по оста на свредлото $OAD_н$. Центърът на координатната система е т.О, която е и център на въртене на свредлото около оста l. Координатната система Dxyz е на свредлото след неговото завъртане на ъгъл θ. Ос z е по оста на свредлото. Ос x е успоредна на ос l, около която ос се върти свредлото.



фиг.3 Схема на заточване на свредло по предлаганата методика

Координатната система на конуса е Ax´y´z´. Центърът й А е точката на пресичане на оста на свредлото z_1 и оста на конуса z´ . Оста z´ е по оста АС на конуса и е завъртяна на β спрямо ос z_1 на свредлото. *С* е върхът на конуса, а δ е ъгълът при върха на конуса. При този подход задната повърхнина на свредлото се получава шлифована по конусна повърхнина.

Оста на свредлото в началното положение (преди завъртането) е $OAD_н$. Преди заточването свредлото се завърта на ъгъл θ около ос l. Завъртането става в точка О.

Параметрите на заточване са:

в = $AD_н$ - разстоянието от точката А на пресичане на оста на свредлото и оста на конуса до върха на свредлото $D_н$;

к = *AO* - разстоянието от точка А до точка О;

h - разстоянието DD_o;

δ - ъгълът на конуса ;

β - ъгълът между осите на свредлото и конуса ;

θ - ъгълът на завъртане на свредлото около ос l.

Тези разстояния се задават и/или се изчисляват предварително.

От триъгълника ODD_o се намира ъгъл *θ*

$$\sin\theta = \frac{h}{b+k}.$$

За по-лесно пресмятане се въвежда разстоянието ***a*** = *AC* до върха на конуса C. То се определя чрез ъгъла на конуса *δ.* За удобство се означава AD_o = ***c*** = *(b+k) cos θ - k* и се пресмята ***a***:

$$a = c\cos\beta + \sqrt{h^2 + c^2 \sin\beta} ctg\delta \ .$$

1. Координатната система на свредлото Dxyz (x||l) се транслира в точка O и се завърта на $\angle\theta$ около ос x до координатната система $Ox_1y_1z_1$, при което се получава:

$x = x_1$
$y = y_1 \cos\theta + z_1 \sin\theta$
$z = - y_1 \sin\theta + z_1 \cos\theta - (b+k)$.

2. Координатната система на свредлото $Ox_1y_1z_1$ се транслира в точка A и се завърта на $\angle\beta$ около ос Oy_1 до координатната система Ax´y´z´.
При тази трансформация се получава:

$x_1 = x´\cos\beta - z´\sin\beta$
$y_1 = y´$
$z_1 = x´\sin\beta + z´\cos\beta + k$.

Координатите на върха C в координатната система Ax´y´z´ са (0,0,a) и тогава координатите му в координатната система $Ox_1y_1z_1$ са:

$x_1 = - a \sin\beta$
$y_1 = 0$
$z_1 = a \cos\beta + k$.

Координатите на върха C на шлифовъчния диск в координатната система на свредлото Dxyz са:

$$x_л = - a \sin\beta$$
$$y_л = (k + a\cos\beta) \sin\theta \qquad (1)$$
$$z_л = (k + a\cos\beta) \cos\theta - (b+k).$$

Тук *θ* и *a* са пресметнати по нагоре.
Описаното на фиг.3 заточване се отнася за лявото перо на свредлото. Координатите на диска за дясното перо са:

$$x_д = a \sin\beta$$
$$y_д = (k + a\cos\beta) \sin\theta \qquad (2)$$
$$z_д = (k + a\cos\beta) \cos\theta - (b+k).$$

Координатите на върха C на шлифовъчния диск са необходими за разполагане на осите на диска и за извършване на булевите операции по изрязване на задната повърхнина и оформяне на режещата част на свредлото при генерирането на 3D модела на свредлото.

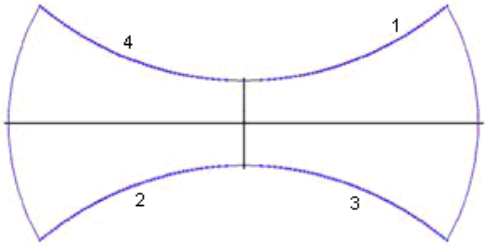
Според описаният модел трябва да бъдат избрани редица параметри, така че да се генерират различни свредла. Параметрите са два вида. Първият вид са геометричните параметри на свредлото: R_o- радиус на свредлото, d_{c-} диаметър на сърцевината на свредлото, ω -винтов ъгъл на канала, $к_г$ - установъчен ъгъл на свредлото.
Вторият тип параметри са свързани със заточването на свредлата по описания метод. Това са описаните по горе параметри: *b, h, k,* δ,θ и β.

Друг важен елемент за правилното геометрично представяне на свредлото е формата на стружковия му винтов канал в сечение $\perp$ на ос z. Galloway [6] първи е установил на какви условия трябва да отговаря профилът на винтовия канал, така че свредлото да има прави режещи ръбове при конвенционално заточване. Това условие е описано чрез полярното уравнение за ъгъла на контакт *v*

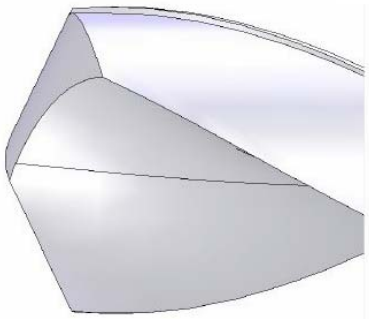
$$\nu = \arcsin(\frac{\frac{d_c}{2}}{r}) + \frac{\sqrt{(r^2 - (\frac{d_c}{2})^2}}{R_o} tg\omega ctg\kappa_r \quad (3)$$

Тук:

d_c - диаметърът на сърцевината на свредлото;
r – текущият радиус; r се променя от $d_c/2$ до R_o;
R_o - радиусът на свредлото;
ω - винтовият ъгъл на канала;
κ_r - установъчният ъгъл на свредлото.



фиг. 4 Сечение на стружковия канал [7]



Фиг. 5 3D модел на свредло

С това уравнение се описва формата на работния участък на стружковия канал на свредлото (фиг. 4, сектор 1 и 2). Неработната част от канала (сектори 3 и 4) се проектира като се изхожда от стабилността на инструмента и пространството за поместване на стружките. Тази част може да се оформи по дъга от окръжност [2]. За по лесно тя се прави със същата форма, както работните участъци.

За да се превърне профилът на канала от 2D в 3D твърдо тяло, трябва да се зададе z компонентата на винтовата линия (за свредло с радиус R_o):

$$z_{канал} = \frac{tg\omega}{R_o} z .$$

Височината на винтовата линия е същата като дължината на свредлото и за едно завъртане може да се изчисли от:

$$l_{канал} = \frac{2\pi R_o}{tg\omega} .$$

3. АЛГОРИТЪМ ЗА ПОЛУЧАВАНЕ ГЕОМЕТРИЯТА НА СВРЕДЛОТО

Въз основа на изведените по горе аналитични зависимости, алгоритъмът за създаване на 3D модел на свредло следва последователността:

1.Въвеждане и изчисляване на необходимите параметри.
2.Изчертаване на напречното сечение на стружковия канал.
3.Изчертаване на калиброващите лентички.
4. Създаване на твърдото винтово тяло на свредлото.
5.Разполагане и изчертаване на осите на заточващия конус.
6.Като се използва конусът, чрез булевите операции – рязане се генерират задните повърхнини на свредлото.

За генериране на свредлото се използва SolidWorks. На фиг.5 е показан полученият 3D модел на свредло. Параметрите, с които е генерирано свредлото са:
Геометрични: Ro=5мм, d_c=1,8mm, ω=30º , κ_r=118º.
Технологични параметри, свързани със заточването на свредлото са: b = 20,8мм, h =1 мм, k = 3,12 мм, δ = 25º, β = 34º, θ = 2º23'.

4. ИЗВОДИ

В настоящата работа е създаден 3D модел на свредло, заточено по предлаганата методика. Тези 3D геометрични дефиниции осигуряват данните, които са необходими за редица следващи приложения като анализи по метода на крайните елементи, 3D сканиране на геометрията на инструмента. Разработеният модел позволява да се разработят симулиции на процеса на свредловане с така заточените инструменти и да се изследват и оптимизират геометричните им параметри.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Йорданов, Г., Ликов, И. *Изследване влиянието на условията на заточване върху геометричните параметри на винтови свредла*. 6та международна конференция **AMTECH 2001**, 03-05 октомври **2001**, Созопол.
2. Лашнев, С., Юликов, М. *Расчет и конструирование металлорежущих инструментов с применением ЭВМ*. Машиностроение,**1975.**
3. Ликов, И., Николчева, Г. *Изследване възможностите за оптимизиране заточването на винтови свредла по конусна повърхнина*. VII международен конгрес **МТ"10**, София, 27-29.05, **2010.**
4. Николчева, Г., *Режещи инструменти*. Интерпрес, София, **2008.**
5. Kyratsis, P., Bilalis, N., Antoniadis, A. *CAD based Predictive Models of the Undeformed Chip Geometry in Drilling*. International Journal of Mechanical Systems Science and Engineering,1,3, **2009.** pp.129-134.
6. Galloway, D. *Some experiments on the influence of various factors on drill performance*, ASME Trans., vol.79, **1957**, pp.191-231.
7. Vijayaraghavan, Athulan, & Dornfeld, David. *Automated Drill Modeling for Drilling Process, Simulation. UC Berkeley.* Laboratory for Manufacturing and Sustainability, **2006**, Retrieved from: http://escholarship.org/uc/item/15v2q84k
8. Armarego, E.J.A. *The unified-generalized mechanics of cutting approach- a step towards a house of predictive performance models for machining operations*. Machining Science and Technology, vol.4,3, **2000**, pp.319-362.
9. Kang, D., Armarego, E.J.A. *Computer-aided geometrical analysis of the fluting operation for the twist drill design and production. I. Forward analysis and generated flute profile.* Machining Science and Technology, vol. 7, No. 2, **2003**, pp. 221–248.
10. Hsieh, J.F. *Mathematical model for helical drill point*. International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 45, Jan.**2005**, pp. 967–977.
11. Hsieh, J.F., Lin, D. *Drill point geometry of multi flute drills*. International Journal of Advance Manufacturing Technology, vol. 26, ***2005***, pp. 466–476.
12. Paul, A., Kappor, S.G., Devor, R.E. *Chisel edge and cutting lip shape optimization for improved twist drill point design. International Journal of Machine Tools and Manufacture*, vol. 45, **2005**, pp. 421–431.
13. Vijayakumar Palani,*Finite Element simulation of 3DDrilling in unidirectional CFRP Composite.* **2006**, http://soar.wichita.edu/dspace

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р Галина Николчева
Машинно-Технологичен Факултет
Технически Университет – София
бул.Кл.Охридски 8
1797 София
България
e-mail: ginic@tu-sofia.bg

Гл. ас. Иво Ликов
Машинно-Технологичен Факултет
Технически Университет – София
бул.Кл.Охридски 8
1797 София
България
e-mail: ivo_likov@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

INVESTIGATION OF THE CARTRIDGE-CHAMBER GRIP FORCES

Georgi JORDANOV Georgi STOYCHEV

Abstract: *Investigation of the cartridge-chamber forces is important for the achieving of properly regime in the machine processing. This requires to establish the relationship between the force operating (manually or mechanically) and the grip force. For measurement of the force a special device is developed. Determined is the amplification ratio between the operating and the grip forces for two kinds of cartridge-chamber. Comparison between measured and analytically obtained results is given.*

Key Words: *cartridge-chambers, grip forces*.

СИЛОВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА УНИВЕРСАЛНИ И СПЕЦИАЛИЗИРАНИ ТРИЧЕЛЮСТНИ СТРУГОВИ ПАТРОННИЦИ

Георги ЙОРДАНОВ Георги СТОЙЧЕВ

Резюме: *Познаването на силите на затягане при стругови патронници дава възможност да се прецени възможността за реализиране на определен режим на рязане при обработване на детайлите.Това изисква установяване на връзката между силата на задвижването (т.н. изходна сила), реализирана ръчно или механизирано и силата на затягане.За измерване на последната е проектиран и изработен динамометър с еластичен работен елемент.В резултат на изследванията е определен коефициента на усилване (съотношението между затягащата и изходната сили) за два вида патронници и е сравнен с аналитично изчисляемия.*

Ключови думи: *тричелюстни стругови патронници, сили на затягане*

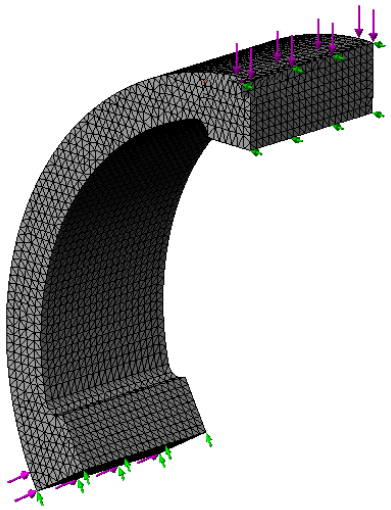
1. ВЪВЕДЕНИЕ

Точността и производителността на съвременните металорежещи машини в значителна степен се определя от надеждността на закрепването на обработваните детайли в затягащите механизми (ЗМ) на машините. Основен елемент на всеки ЗМ е затягащото устройство (ЗУ), което може да бъде реализирано по различен начин, но най-честото решение при струговете са тричелюстните самоцентроващи патронници. Те, както е известно може да се класифицират по различни признаци, но от гл. точка на направените в работата изследвания се делят на такива с ръчно и с механизирано задвижване (затягане). При ММ с ЦПУ с оглед на бързодействие, постоянство на силата на затягане и др. се използва механизираното задвижване, осигурявано от различни силови устройства – хидравлични, пневматични и най-вече електромеханични. Ясно е, че необходимата сила на затягане трябва така да се оценява, че да осигурява сигурно закрепване на обработвания детайл. Обикновено тя се определя като се изхожда от условието за непревъртане, респ. неприплъзване на заготовката, т.е. зависи от големината на силите на рязане. Изчислената по такъв начин сила на затягане се осигурява с реализирането на т.н.изходна сила (още и „сила на задвижването”), ръчно или механизирано.В литературата се дават зависимости за връзката между изходната и затягащата сили, както за ръчно (спирално-гребенни патронници) [2,5], така и за механизирано затягане (клинови, лостови и др.патронници) [1,3,4,6,9]. От прегледа и се установи, че в нея липсват експериментални данни, чрез които да се прецени достоверността на предлаганите зависимости. От друга страна има работи [7,8], в които са дадени експериментални изследвания за силите на затягане, но не са обвързани с аналитични зависимости за тях.

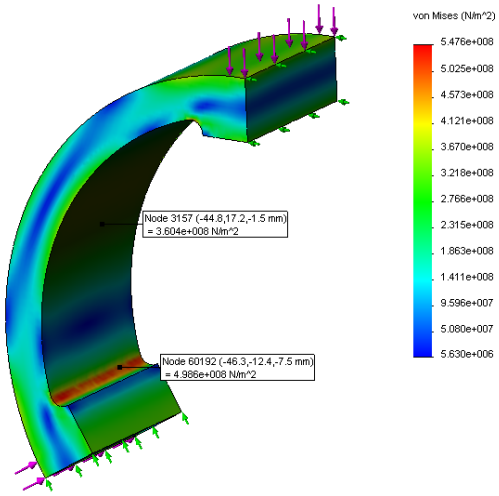
Всичко това и определи целта на настоящата работа: да се направят експериментални изследвания на силите на затягане при ръчно и механизирано реализиране на изходните (задвижващите) сили и резултатите да се сравнят с аналитично изчисляваните им стойности за да се прецени достоверността на предлаганите в литературата зависимости.

2. ПРОЕКТИРАНЕ И ИЗРАБОТВАНЕ НА ДИНАМОМЕТЪР ЗА ИЗМЕРВАНЕ НА СИЛИТЕ НА ЗАТЯГАНЕ

В литературата, както и в материалите на фирми, производители на такава екипировка [10] са дадени различни конструкции такива динамометри, отличаващи се по принципа на измерване. Най-съвременните (от електронен тип) обаче са твърде скъпи с оглед целта на настоящата работа. Поради това бе проектиран и изработен динамометър с опростена конструкция с пръстеновиден еластичен елемент (т.е. динамометрична гривна), деформациите на който се регистрират с мостова тензометрична схема.Якостното и деформационното пресмятане на динамометъра с оглед оразмеряването му, бе направено както аналитично, така и с програмния продукт Solid Works с интегрирания в него пакет за иженерни изследвания по метода на крайните елементи (МКЕ) COSMOS. Пред вид симетрията на гривната (изпълнена с издатъци в местата на прилагане на силите на затягане) е моделирана 1/3 от нея. Силата на натоварване (т.е.силата на затягане) на един издатък е изчислена от условието за непревъртане на заготовката при обработването и с режим за грубо струговане и е Q_i (i=1,2,3) = 25000 N. Сумарната сила на затягане е $Q_\Sigma = 3Q_i$ = 75000 N. На фиг. 1 е показана 1/3 от гривната с мрежата от крайни елементи и наложените гранични условия, а на фиг. 2 и 3 – еквивалентните по von Mises напрежения и преместванията в характерни зони на гривната.



Фиг. 1. Мрежа от крайни елементи с гранични условия



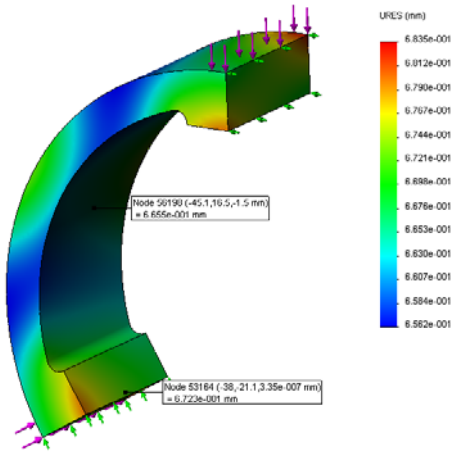
Фиг. 2. Напрежения von Mises in Pa

Най-големи са напреженията в преходните участъци между вътрешната цилиндрична повърхнина и издатъците – $4{,}986.10^8$ N/m^2 [Pa], а в мястото на най-голямо огъване на гривната са $3{,}604.10^8$ N/m^2 [Pa]. И в двата случая са под допустимите за стомана 40Х. Преместванията (фиг.3) са приблизително равни в местата на прилагане на силите (при издатъците) и между тях –

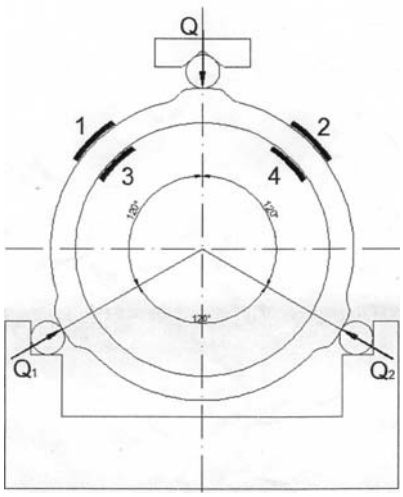
$6{,}72.10^{-1}$, респ.$6{,}66.10^{-1}$ mm.

За измерване на силите на затягане е използвана пълномостова тензометрична схема, като разположението на тензорезисторите 1÷4 и схемата на тариране на гривната, реализирана на машина за опън-натиск са дадени на фиг. 4 (по технологични съображения беше изработена гривна с външни издатъци).

Двете реакции Q_1 и Q_2 по големина са равни на натоварващата сила Q, което е еквивалентно на затягане в тричелюстен патронник. Сигналът се регистрира на двуканален тензометричен усилвател тип „Hottinger”. По резултатите от тарирането е построена тарировъчната крива (не е дадена в работата) за силата на затягане Q_i (mv/v – N), отнесена за един издатък (челюст).



Фиг. 3. Премествания в характерни зони на гривната в мм



Фиг. 4. Схема на тариране на динамометъра

3. ИЗСЛЕДВАНЕ НА СИЛИТЕ НА ЗАТЯГАНЕ В СТАТИЧНО СЪСТОЯНИЕ

3.1. Патронници с ръчно задвижване (затягане)

Независимо, че при ръчни спирално-гребенни патронници не се контролира силата, прилагана от работника върху ключа (т.н. изходна сила, отбелязвана с W), в литературата [2,5] са дадени аналитични зависимости за връзката между W и сумарната сила на затягане Q_{Σ}, за които липсва експериментално потвърждение. Това породи желание в авторите на статията да направят експерименти за силите на затягане при такива патронници с оглед установяване достоверността на предлаганите зависимости. Те имат вида [2] :

$$Q_{\Sigma} = W.\eta.i_1.i_2.i_3\,, \qquad (1)$$

където η е к.п.д. на конусната зъбна предавка в патронника; i_1, i_2, i_3 са предавателните отношения на трите елементарни силови механизми в конструкцията на патронника от лостов и клино-плунжерен (ролята на плунжери играят челюстите на патронника) тип.

Таблица 1 Сили на затягане при патронници с ръчно задвижване

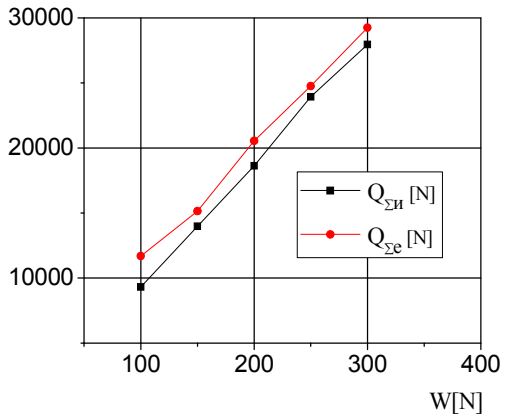
№	$M_{дк}$ [N/m]	W [N]	$Q_{\Sigma и}$ [N] по [2]	$Q_{i\,ср}$ [N]	$Q_{\Sigma е} = 3Q_{i,ср.}$ [N]	$Q_{\Sigma е}/Q_{\Sigma и}$
1	40	100	9318	3900	11700	1,25
2	60	150	13977	5050	15150	1,08
3	80	200	18636	6850	20550	1,10
4	100	250	23925	8250	24750	1,03
5	120	300	27954	9750	29250	1,05

След заместване на числените стойности на параметрите, характеризиращи използвания патронник У250 (БДС 2613-73) и определяне на предавателните отношения, при η = 0,96 за Q_{Σ} се получава опростената формула:

$$Q_{\Sigma} \approx 93.18\ W \qquad (2)$$

За проверка на тази зависимост се направиха измервания на силите на затягане при различни изходни сили в границите W = 100 ÷ 300 N. За определянето на W е използван динамометричен ключ. Резултатите от изчисляването по (2) и измерването на Q_{Σ} са дадени в таблица 1, където: $M_{дк}$ е момента, задаван с динамометричния ключ, N/m; $W = M_{дк}/l = M_{дк}/0,4$ е изходната сила, N; l = 0,38÷0,4 m е рамото на динамометричния ключ, m; $Q_{\Sigma и}$ е изчислената по формула (2) сумарна сила на затягане, N; $Q_{i,ср}$ – усреднена от три паралелни измервания стойност на силата на затягане, отнесена към една челюст, N; $Q_{\Sigma е} = 3Q_{i,ср}$ е измерената сумарната сила на затягане за трите челюсти, N.

Графично данните от таблица 1 са представени на фиг. 5. Сравнението показва, че измерените сумарни сили на затягане превишават изчислените (при еднаква изходна сила W) средно с 3÷25 %, като по-големите разлики са при по- малки изходни сили W. Освен това е видимо, че при ръчно затягане силата $Q_{\Sigma e}$ не превишава 30000 N, което в някои случаи може да се окаже недостатъчно, още повече, че в течение на първите 1-2 min след затягането тази сила намалява с 3 ÷ 10% вследствие на хлабини в конструкцията на патронника.



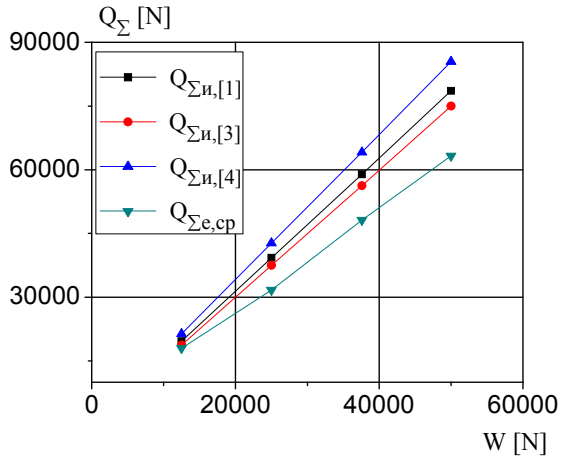
Фиг. 5. Сили на затягане при патронници с ръчно задвижване

3.2. Патронници с механизирано задвижване (затягане)

Експериментите са направени на стенд, комплектован със специализиран клинов патронник модел КПТ 250 и електромеханично задвижващо остройство (ЕМЗУ), производство на фирма «Forkardt». В литературата [1,3,4,9] се дават различни зависимости за определяне на силата на затягане Q_{Σ} (Q_i) при такъв вид патронници, но и тук липсват експериментални данни за сравнение, а от там и за оценка на пригодността им в практиката. За целта бяха направени експерименти при които се измерваше силата на затягане Q_i при различни изходни (задвижващи) сили W, отчитани при настройването на ЕМЗУ в границите 12500 ÷ 50000 N. Резултатите от измерванията, както и изчисленията за Q_{Σ} по аналитични зависимости, приведени в [1,3,4] са дадени в таблица 2.

Таблица 2 Сили на затягане при патронници с механизирано задвижване

№	W [N]	$Q_{\Sigma и}$[N] по [1]	$Q_{\Sigma и}$[N] по [3]	$Q_{\Sigma и}$[N] по [4]	$Q_{\Sigma e,1}$[N]	$Q_{\Sigma e,2}$[N]	$Q_{\Sigma e,1}/Q_{\Sigma e,2}$	$Q_{\Sigma e,cp}$ [N]	$Q_{\Sigma e,cp}/W$
1	12500	19640	18750	21370	19500	16500	1,18	18000	1,44
2	25000	39280	37500	42730	33400	30000	1,11	31700	1,27
3	37500	58930	56250	64100	49800	46500	1,07	48150	1,28
4	50000	78570	75000	85470	65500	61000	1,07	63250	1,265



Фиг. 6. Сили на затягане при патронници с механизирано задвижване

Тук $Q_{\Sigma e,1}$ е сумарната измерена сила на затягане при радиален ход на челюстите 2÷2,5 mm; $Q_{\Sigma e,2}$ – същата сила, но при ход на челюстите (за затягане) 4÷4,5 mm; $Q_{\Sigma e,cp}$ – усреднената стойност от тези сили. Видно е, че при по-малък ход на челюстите, силите на затягане са 1,07÷1,18 пъти по-големи, което трябва да се има пред вид при тяхната настройка за затягане на заготовки с определен диаметър.

На фиг. 6 са дадени графично резултатите от таблица 2.

Сравнението показва, че измерените сили на затягане са по-малки (особено при по-голям ход на челюстите) от изчислените по която и да е от зависимостите, приведени в [1,3,4]. Като цяло тези сили ($Q_{\Sigma e,cp}$) са 1,26÷1,44 пъти по-голями от изходните (задвижващите) W, докато при изчисляването им това завишение е от 1,5 [3] до 1,7 [4].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектиран и изработен е динамометър за измерване на силите на затягане, чиято максимална стойност за трите челюсти на стругови патронници е в границите на 75000 N.

При спирално-гребенни патронници с ръчно задвижване измерените сумарни сили на затягане (за трите челюсти) са по-големи от изчисляваните по аналитични зависимости с 5 ÷ 25%. Като цяло тези сили са около 100 пъти по-голями от изходната (задвижващата) сила W, което означава, че при максимална стойност на W ≈ 300 N, реализирана ръчно, сумарната сила на затягане е в границите на 30000 N. Трябва да се има пред вид, че тази сила в течение на първите 1-2 минути след затягането намалява с 3 ÷ 10%.

При клинови патронници с механизирано задвижване измерените сили на затягане са по-малки от изчисляваните по аналитични зависимости [1,3,4]с 15 ÷ 26%. Като цяло тези сили са 1,26 ÷ 1,44 пъти по- голями от задвижващите W, като по- голямото увеличение е при по- малки W. Затягането при тези патронници трябва да се извършва по възможност с минимален радиален ход на челюстите (в рамките на възможния за даден патронник), защото това води до по-голями сили на затягане (7 ÷ 18%) при една и съща задвижваща сила.

ЛИТЕРАТУРА

1. Болотин, Х.Л., Ф.П.Костромин. *Станочные приспособления*, М., "Машиностроение", **1973.**
2. Ансеров М., *Приспособления для металлорежущих станков*. Л., "Машиностроение", **1975.**
3. Цървенков А. Й.и др., *Механизирани затягащи средства*, С., „Техника", **1979.**
4. Белоусов, А.П., *Проектирование станочных приспособлений*. М., „Высшая школа", **1980.**
5. Кузнецов, Ю.Н. и др. *Самоцентриращи патронници и цангови затягащи механизми.* (под общата ред. на А. Цървенков), С., „Техника", изд. „Техника", Киев, **1988.**
6. Кузнецов, Ю.Н. и др. *Силовые характеристики гибкой технологической оснастки для станков с ЧПУ*. „Вестник машиностроения", № 2, **1992**, с. 31-33.
7. Ахрамович, В.Н. *Экспериментальные исследования радиалных сил зажима токарных патронов*. „Вестник машиностроения", № 7, **1995**, с. 17-18.
8. Stejnberger, J.,*Spannkräfte und Spannzeuge zum Hochgeschwindigkejtsdrehen*. "Werkstatt und Wetrieb", 115, № 7, **1982**, s. 449-454.
9. Материали на фирма *„Forkardt*".
10. Материали на фирмите *Röhm, Schunk и Tecsis.*

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р Георги ЙОРДАНОВ, Доц. д-р Георги СТОЙЧЕВ
кат.ТМММ, МТФ
Технически университет– София
бул, "Кл. Охридски" 8
1797 София
(02)965-3669
e-mail: gdobrev@tu-sofia.bg, gstojch@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

MODELING OF THE AXIS DEVIATION OF LOW STABILITY PARTS SUPPORTED WITH A PRISM

Lachezar STOEV **Stoyan HRISTOV**

Abstract: *This paper presents results of simulation modeling of the radial deviation by supporting low stability parts in a prism. The experiments showed that the generated deviations in the form of the parts in cross section have a different effect on the researched parameter. It is determined the influence of the angle of the supporting prism over the radial deviation and over the form accuracy of the part. It is created a model determining the stress-strain behavior of the supporting prism by loading with forces of different size and direction.*

Key words: *simulation modeling, radial deviation, steady rest, form accuracy, stability.*

МОДЕЛИРАНЕ БИЕНЕТО НА ОСТА НА ДЕТАЙЛ С НИСКА СТАБИЛНОСТ ПРИ ПОДДЪРЖАНЕТО МУ С ПРИЗМА

Лъчезар СТОЕВ **Стоян ХРИСТОВ**

Резюме: *В публикацията са представени резултати от симулационно моделиране на биенето на осите на заготовки с ниска стабилност при поддържането им с призма. При проведените експерименти е установено, че генерираните грешки във формата на детайлите в напречно сечение, оказват различно влияние върху изследвания параметър. Определено е влиянието на ъгъла на призмата върху биенето на оста и точността на формата на детайла. Създаден е модел за определяне на силово-деформационното поведение на опорната призма при натоварване със сили с различна големина и направление.*

Ключови думи: *симулационно моделиране, биене, люнет, точност на форма, стабилност.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Съществува аналогия в начина на поддържане на заготовките при безцентрово шлифоване и метода за обработване на детайли с ниска стабилност с подвижен люнет и призматична опора [1]. Поради сложността на теоретичното моделиране на процеси, подобни на споменатите, настоящата публикация няма претенции за представяне на модел, който в пълнота да изяснява сложния механизъм за получаване на точна цилиндрична повърхнина от многостенна форма на заготовката, което досега не се е отдало на учените и експериментаторите. При надлъжно шлифоване на детайли с ниска стабилност с подвижен люнет [1] детайлът не се базира по неговата външна повърхнина, както при безцентровото шлифоване. Той се установява между центри и преди всеки надлъжен ход поддържащата го призма се поднастройва по врезно шлифована шийка в един от двата му края . Това е калибровано при отискрянето стъпало, което има висока точност на формата в напречно сечение. То се оформя в близост до предното или задно седло, където детайлът има висока стабилност. При надлъжно шлифоване на заготовки с голяма дължина и малък диаметър е възможно да се получат отклонения в точността на формата им в напречно сечение, породени от принудени трептения, загуба на режеща способност на инструмента, неподходящо избрани режими на рязане, податливост на елементите на технологичната система и други.

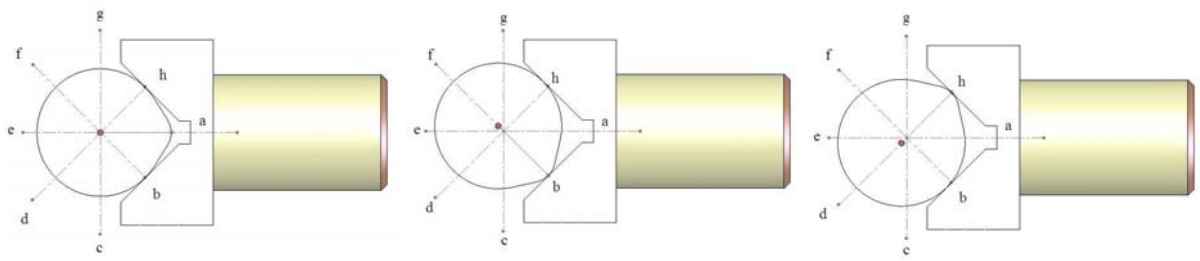
2. СИМУЛАЦИОННО МОДЕЛИРАНЕ

Целта на създадения симулационен модел е да се определи влиянието на евентуално възникващи грешки във формата на детайлите в напречно сечение, по време на процеса на

обработване, върху биенето на техните оси, което се отразява върху получаваните отклонения от кръглост.

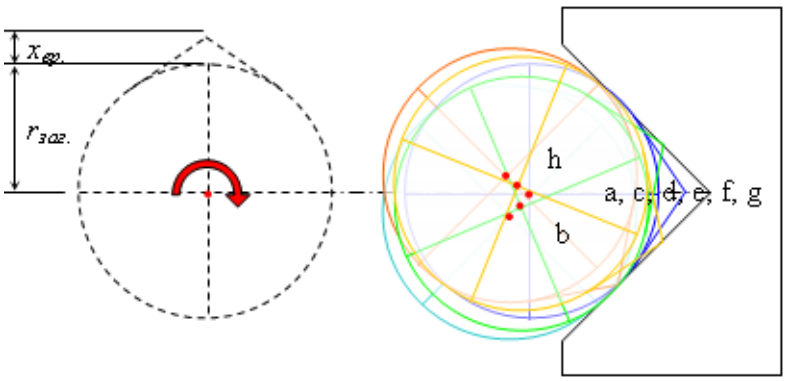
Задача на моделирането е да се установи влиянието на различни видове отклонения в точността на формата на детайла в напречното му сечение върху биенето на неговата ос, известно и като "биене на напречното сечение". С помощта на модела бе симулирано поддържането на детайли с различна форма на напречните им сечения с помощта на призматични опори с ъгли от 90º, 115º и 60º. Първият използван ъгъл е избран поради улесненията за технологичното изработване на опорната призма и поради разположението на резултантната сила на рязане. За втората проведена серия от експерименти бе избран ъгъл от 115º по препоръка на експерти в областта на методите за окончателно обработване. Третият ъгъл от 60º беше избран с оглед оценяване на влиянието и на по-малки ъгли върху интересуващото ни „биене на напречното сечение" на детайла.

При моделирането се генерираха различни отклонения във формата на заготовките в напречно сечение. Създадоха се многостенни форми, като се прие равно отдалечено ъглово разположение на техните върхове. Последните се допират до описана около многоъгълника окръжност и имат еднакви височини. При разработения модел многостенните детайли са в непрекъснат контакт с двете наклонени стени на неподвижната опорна призма. При симулациите са снети опитни данни за текущото разположение на оста на детайла в напречно сечение в избрани равно отдалечени ъглови сечения. Това е направено за следните видове моделирани форми: "яйцевидна" форма на заготовката с отклонение от окръжност под формата на единичен връх, заготовка с два диаметрално разположени върха, заготовка с три върха през 120º, заготовка с четири върха през 90º, заготовка с пет върха и заготовка с шест равно отдалечени върха. При моделирането е прието, че дискът и поддържащата призма са с идеална стабилност. Основание за това дава многократно по-голямата податливост на детайла, в сравнение с останалите елементи на технологичната система.



Фиг. 1. Кадри от симулация на поддържане на заготовка с един връх с призма с ъгъл от 90˚

На фигурите в публикацията са показани характерни кадри от проведените симулации за различните моделирани грешки във формата на заготовките в напречно сечение. На фиг. 1 е дадена извадка само от три характерни текущи позиции на взаимното разположение на заготовка с един връх и призматична опора с ъгъл от 90º.

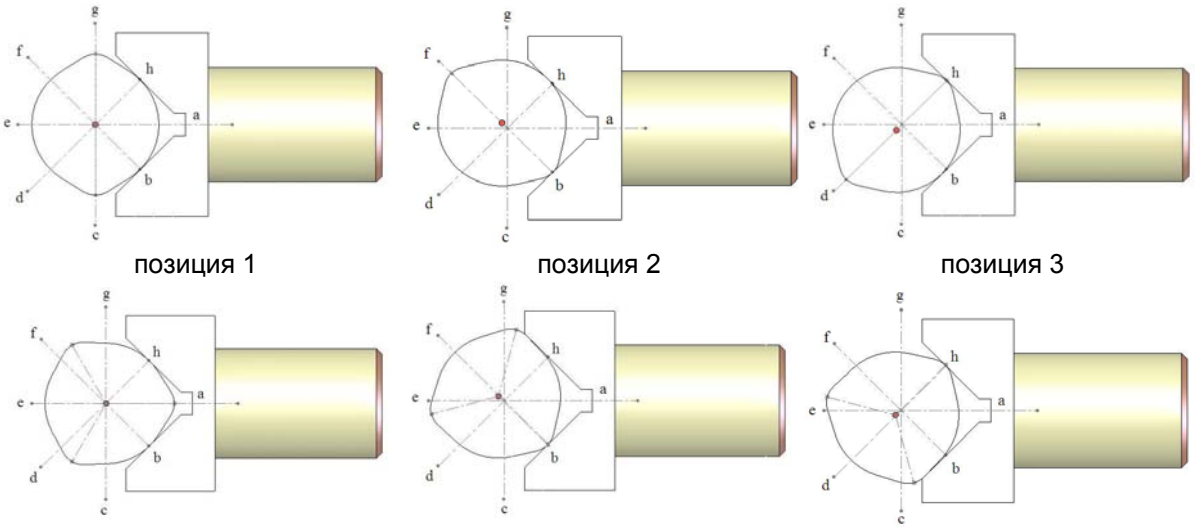


Фиг. 2. Влияние на грешките във формата на заготовката върху биенето на нейната ос

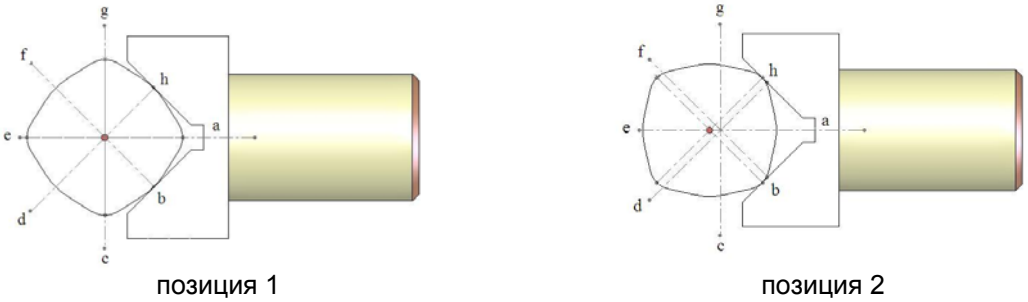
На фиг. 2 са наложени няколко кадъра един върху друг при мащабно увеличение. С "$x_{вр.}$" е обозначена височината на единичния връх, а с "$r_{заг.}$" – радиусът на заготовката.

На фигурата е показана зоната на биенето на оста на детайла. Използваните буквени означения по азбучен ред ориентират за последователността на изместване на напречното сечение. Определени са числените стойности на координатите на разположение на осите на всички моделирани многостенни форми на заготовките спрямо хоризонталната ос “X” и вертикалната “Y”. Поради ограничителните изисквания към обема на публикациите те не се прилагат, но резултатите от анализа им са отразени в изводите на настоящата работа. За интересуващите се читатели те са приложени в [2].

На фиг. 3 и фиг. 4 са показани текущи кадри от проведена симулация с помощта на модела със заготовки с два, три и четири върха при поддържането им с призма с ъгъл от 90˚.



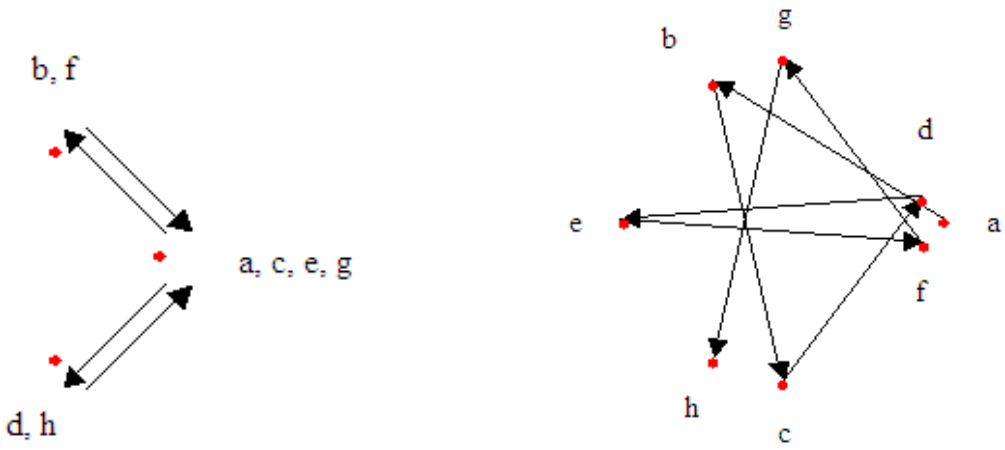
Фиг. 3. Кадри от симулация на поддържане на заготовки с два и три върха с призма с ъгъл от 90˚



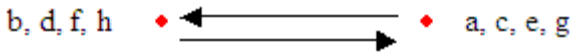
Фиг. 4. Кадри от симулация на поддържане на заготовки с четири върха с призма с ъгъл от 90˚

На фиг. 5 със стрелки и буквени означения е показана последователността на координатното разположение на осите на детайли с два, три и четири върха. Докато траекториите на отклоненията на осите на заготовките с един и два върха са еднотипни и са успоредни на наклона на контактните повърхнини на призмата, то от фиг. 4 се вижда, че при заготовка с три равно отдалечени върха през 120º зоната на разсейване на текущите положения на оста е увеличена. Траекторията на изместването на оста („биенето на напречното сечение”) има съвсем друг характер, което се основава на различния вид грешка във формата.

При генерирана форма на заготовката, с четири равно отдалечени върха, оста се измества само по ос “X”. Всички проведени симулации показват, че изходната форма в напречно сечение е от значение за вида на „блуждаещото биене на осите” на детайлите при обработването им с помощта на люнет с призматична опора.

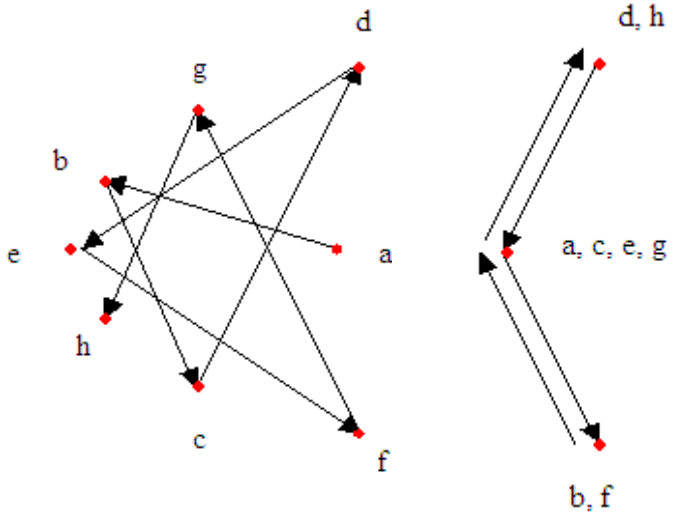


а) два върха б) три върха



в) четири върха

Фиг. 5. Биене на оста на заготовки с два, три и четири върха при поддържането им с призма с ъгъл от 90˚



а) пет върха б) шест върха

Фиг. 6. Биене на осите на заготовки с пет и шест върха при поддържането им с призма с ъгъл от 90˚

При необходимост да бъде отстранена цялата грешка във формата на заготовката, в рамките само на един надлъжен ход, дискът трябва да се подаде радиално на размер равен на височината на върховете на многостена. Отклоненията във формите на заготовките, които имат биене на осите си преобладаващо по ос “X”, в сравнение с това по ос “Y”, се елиминират значително по-бързо при правилно избрано съотношение между честотите на въртене на инструмента и детайла [3], [4]. Това е в сила за случая на заготовка с четири върха, фиг. 5 в.

На фиг. 6 са дадени зоните на биенето на осите на правилни многостенни заготовки с пет и шест върха. Увеличаването на броя на върховете приближава генерираните форми до окръжност. Видът на „блуждаещото биене” на заготовка с шест върха, показано на фиг. 6, има различен характер спрямо това на предходните две фигури поради срещуположното диаметрално разположение на двойките върхове.

Анализът на горните фигури и на получените числени стойности в [2] за текущите позиции на осите на заготовките с различна моделирана външна форма дава основание да се твърди, че видът на формата на детайлите в напречно сечение оказва различно влияние върху биенето на техните оси. Установи се увеличаване на амплитудата на биенето на оста на детайла спрямо оста на центрите на машината в случаите, когато в контакт с двете наклонени повърхности на призмата са едновременно два върха. От значение е и ъгловото разположение между тях. Ако при по-голяма многостенност на формата върховете са по-близо един до друг, то биенето на оста в хоризонтално и вертикално направление намалява.

Проведени бяха симулации с помощта на модела и при по-малка височина на върховете със същата призма. Биенето на осите на детайлите намалява и по X, и по Y спрямо предходните опити. Поради аналогията в тези случаи, фигури с кадри от проведените симулации не се прилагат. Намаляването на грешките във формата се получава неизбежно при многоходовото надлъжно шлифоване, при правилно подбрано съотношение между честотите на въртене на диска и детайла. В общия случай при поддържане на детайл с призма с ъгъл от 90º оста му бие много повече по ос X, отколкото по Y. В това направление е разположен шлифовъчният диск, който при всяко пълно завъртане на многостенния детайл отшлифова част от високите му върхове и това води до намаляване на отклоненията от кръглост.

Известно е влиянието на правилно подбраното съотношение между честотите на въртене на диска и детайла за елиминиране на явлението “огранка” при врезно, респ. надлъжно шлифоване, което е теоретично и опитно установено в [3] и [4]. Поради тази причина настоящият модел не включва симулации, в които участва и абразивния инструмент.

Проведени бяха експерименти с помощта на модела за призма с ъгъл 115º между контактните повърхнини. Установи се увеличаване на биенето на оста на заготовките по ос “Y” и намаляване на това по ос “X”. Причината за това е по-големия ъгъл на призмата. Имайки предвид, че грешки във формата на заготовките по ос “X” се отстраняват по-бързо в сравнение с тези по ос “Y”, избор на призма с ъгъл значително по-голям от 90º не е желателен. Освен това призма с ъгъл от 115º не противодейства оптимално на силата на рязане в общия случай.

При призма с ъгъл 60º между контактните повърхнини отклонението на осите на заготовките по ос “X”е по-голямо в сравнение с това по ос “Y”. При такъв ъгъл има опасност от повишено триене между детайла и стените на призмата и вклиняване на заготовката в по-тесния процеп. Разположението на контактните повърхнини на призмата също не е подходящо по отношение на оптималното противодействие на силата на рязане.

В резултат на направения анализ на данните от симулационното моделиране се налага изводът, че е най-подходящо използване на призма с ъгъл от 90º. Имайки предвид и технологичността на нейната конструкция нейното приложение е за препоръчване в практиката.

3. МОДЕЛИРАНЕ НА СИЛОВО-ДЕФОРМАЦИОННОТО ПОВЕДЕНИЕ НА ОПОРНАТА ПРИЗМА

Целта на създадения допълнителен модел е определяне на силово-деформационното поведение на контактната опора в зависимост от промяната на направлението на силата на рязане (в напречно сечение на детайла) и ъгъла на призмата. За изпълнение на поставените задачи се използваха модулите COSMOSMotion и COSMOSWorks на програмния продукт SolidWorks. Този графичен моделиер използва метода на крайните елементи, с помощта на който се определят интересуващите ни напрежения и деформации на контактната призма на люнета. Постоянни фактори при всички проведени експерименти с помощта на създадения модел са: диаметър на заготовката - 11 mm; сила на рязане - 60 N, материал на заготовката - неръждаема стомана AISI 304 и материал на призмата - твърд PVC с информация за него, вградена в базата данни на цитирания програмен продукт.

Променливи фактори при опитите са ъгълът на направлението на силата на рязане и ъгълът на призмата. Поради голямата графична информация, снета при проведените опити и ограничителните изисквания към обема на публикациите, са приложени само фигури за определяне на силово-деформационното поведение на призма с ъгъл от 90º в резултат от влиянието на направлението на силата на рязане под различни ъгли.

3.1. Определяне на силово-деформационното поведение на опорната призма при промяна на ъгъла на прилагане на силата на рязане

Известно е, че съотношението между нормалната и тангенциалната съставляващи на силата на рязане при външно кръгло шлифоване варира в интервала от 1 до 3. Изчисленият ъгъл на действие на резултантната сила на рязане в този обхват варира в границите между 18.5º и 45º. Поради това бяха проведени експерименти за следните ъгли на разположение на

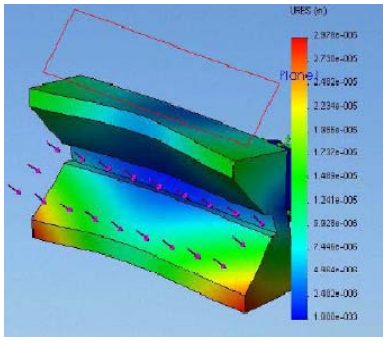
еквивалентната сила на рязане в напречно сечение на детайла: 18.5º, 25º, 35º и 45º. Поради ограничителните изисквания към обема на публикациите се прилагат данни от проведеното моделиране само за ъгъл на прилагане на силата на рязане под 45º.

3.1.1. Определяне на силово-деформационното поведение на опорната призма при ъгъл на прилагане на силата на рязане от 45º

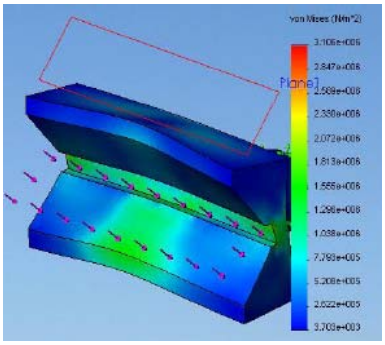
На фиг. 7 е изобразена деформацията на призма с ъгъл от 90º при натоварване със сила на рязане разположена под ъгъл от 45º спрямо хоризонталната равнина на линията на центрите на машината. Показана е и скалата за цветово изобразяване на деформациите, придружена от съответните числени стойности. В нея най-отгоре с червен цвят са представени зоните с най-големи деформации. Програмният продукт изобразява деформациите мащабно увеличени с оглед на по-добро визуално възприемане. От фигурата се вижда, че конзолните краища на призмата са най-податливи и поради това те са оцветени с червен цвят.

На фиг. 8, в аксонометрия са показани възникналите напрежения в отделните зони на призмата. Аналогично на предходния случай програмният продукт дава числена информация за напреженията, придружена с цветово обозначаване. Със зелен цвят са показани възникналите по-големи опънови напрежения в средата на долната контактна повърхност на призмата.

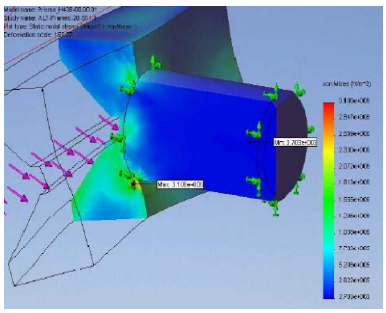
На фиг. 9 в разрез са изобразени възникналите вътрешни напрежения и най-натоварените зони. Отделните участъци са оцветени различно и е приведена скалата със съответните числени стойности. Поради избраното направление на силата на рязане, долната контактна повърхнина на призмата е много по-натоварена от горната, което е видимо от фигурата. Изобразено е мащабно увеличено и огъването на цялата конструкция на опората, вследствие на приложената сила на рязане. Зоните с минимално и максимално натоварване са допълнително обозначени на фигурата.



Фиг. 7. Деформация на призма с 90º при натоварване със сила на рязане разположена под ъгъл от 18.5º



Фиг. 8. Напрежения в отделните зони на призмата



Фиг. 9. Вътрешни напрежения и най-натоварени зони, изобразени в разрез

Таблица 1 Сравнителни данни за максималните и минимални напрежения

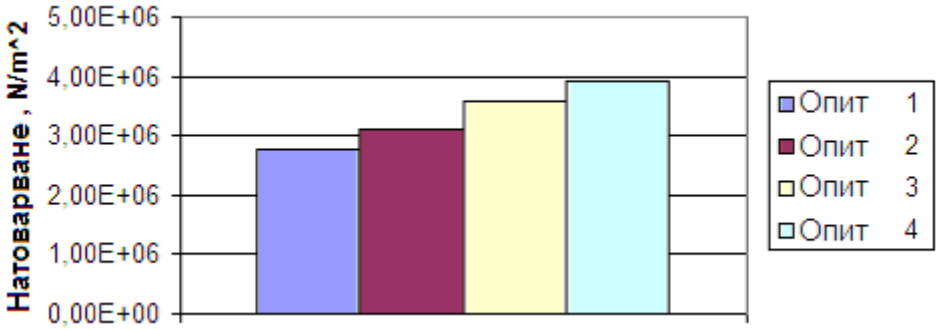
	Опит 1	Опит 2	Опит 3	Опит 4
	Ъгъл на силата на рязане 18,5°	Ъгъл на силата на рязане 25°	Ъгъл на силата на рязане 35°	Ъгъл на силата на рязане 45°
Максимално натоварване, N/m²	2,79E+06	3,11E+06	3,57E+06	3,92E+06
Минимално натоварване, N/m²	4627,32	3703,29	2235,85	4964,88

Поради аналогията в изобразяването на деформациите и натоварванията на призмата с една и съща сила на рязане, но прилагана под различни ъгли, в публикацията не са приложени допълнителни фигури, а в таблица 1 са дадени сравнителни данни за максималните и минимални напрежения.

Максималните натоварвания и напрежения в долната контактна повърхнина на призма с ъгъл от 90º се получават при сила на рязане разположена нормално на опорната повърхност. В общия случай резултантната сила на рязане обичайно е разположена под ъгъл 45º спрямо хоризонталната равнина на линията на центрите на машината и поради тази причина е удачно използване на призма с ъгъл от 90º. Люнет с такава контактна опора ще противодейства оптимално на очакваното направление на силата на рязане при надлъжно или врезно шлифоване.

3.1.2. Анализ на силово-деформационното поведение на призми с различни ъгли при натоварване със сила на рязане под 45º

При поддържане на заготовка с един и същи диаметър с призми с различни ъгли се променя разположението на контактните точки между нея и двете повърхнини на използваната люнетна опора. Поради тази причина получаваните данни от проведените опити с помощта на модела не би трябвало да се съпоставят. При увеличаване на ъгъла на призмата над 90º контактните точки се приближават към технологичния прорез на призмата. При използване на призма с примерен ъгъл от 115º и натоварваща сила от 60 N, приложена под 45º, се предизвиква по-малко огъване на конзолно разположените поддържащи повърхнини на призмата. Силата на рязане обаче не е разположена нормално на долната поддържаща повърхнина на люнетната опора, поради което призма с ъгъл от 115º не ограничава в еднаква степен „блуждаещото биене на напречното сечение" по осите "X" и "Y". Това е потвърдено и при проведените сравнителни опити с помощта на използвания симулационен модел в раздел 3.1. Този недостатък би довел до евентуална поява на вторични грешки във формата на детайла в напречно сечение, поради възможността за по-голямото му изместване по ос "Y".



Фиг. 10. Максимално натоварване при различни направления на силата на рязане

При избиране на ъгъл на призмата от 60º, при същото направление на натоварващата сила, се получава различно противодействие на „биенето на напречното сечение" от опорните повърхнини на призмата по направление на осите "X" и "Y". Контактните точки между обработвания детайл и призмата се отдалечават от нейния технологичен прорез. Това води до увеличаване на напреженията на огъване на конзолно разположените поддържащи повърхнини на призмата.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата публикация са представени резултати от симулационно моделиране за определяне биенето на осите на детайли, породено от грешки във формата им в напречно сечение при поддържането им с призма. При проведените експерименти с помощта на създадения модел се установи, че генерираните грешки във формата на детайлите в напречно сечение, оказват различно влияние върху биенето на осите им. Определено е влиянието на ъгъла на призмата върху биенето на оста на детайла, респективно – върху точността на формата му. При направения анализ на данните от симулационното моделиране се налага изводът, че е най-подходящо използване на поддържаща призма с ъгъл от 90º. Имайки предвид и технологичността на нейната конструкция нейното приложение е за препоръчване в практиката. В работата са представени резултати от създаден допълнителен модел за определяне на силово-деформационното поведение на опорната призма в зависимост от промяната на направлението на силата на рязане и нейния ъгъл.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стоев, Л. *Метод и устройство за шлифоване на детайли с ниска стабилност*. сп. Машиностроене, бр. 1-2, **1998**, стр. 41 ÷ 43.

2. Христов, Ст. *Изследване и моделиране на процеса надлъжно шлифоване на нестабилни детайли с подвижен люнет*. дисертация, ТУ-София, **2009**.

3. Sawluk, W. *Verfahren und Verrichtung zum Abrichten und Schärfen von Schleifscheiben, sowie Abrichtrolle*. патент DE 3029039 A1 от 31.07.1980

4. Стоев, Л. *Тангенциално заточване на абразивни инструменти с диамантни ролки.* дисертация, ТУ-София, **1996.**

5. Barzanov, I. *CAE unterstützte Ermittlung des Kraftverformungsverhaltens der Kontaktstütze einer hydraulisch betriebenen Lünette mittels*. FEM, Diplomarbeit, TU-Sofia, FDIBA, **2007**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р Лъчезар СТОЕВ
ТУ-София, Машинно-технологичен факултет, катедра ТМММ,
1000 София, бул. „Кл. Охридски” № 8, Р България,
e-mail: lstoev@tu-sofia.bg

маг. инж. д-р Стоян ХРИСТОВ
фирма „Оптикоелектрон Груп” АД,
4500 Панагюрище, Индустриален парк „Оптикоелектрон”, Р България,
e-mail: stoian_christov@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

COLD ROLLING TOOLS. TURNING, PLASTIC DEFORMATION AND GRINDING OF WORKPIECES OF A SINGLE CLAMPING

Lachezar STOEV **Ivan TURLAKOV**

Abstract: *The paper presents preliminary designs of cold rolling tools for profile surfaces for CNC machines. It offers a technological plan for numerically controlled two-sided turning, plastic deformation and final processing of rotationally symmetric details of a single clamping, using multi-purpose machines. The technological plan guarantees uniformity of the machining allowance in the multi-passage cycles of the executed operations and represents a prerequisite for a significant boost in productivity, the accuracy of shape and size.*

Key words: *numerically controlled rolling, roll bending, surface plastic deformation (SPD) tools, multi-purpose machines, flexible automated production system (FAPS).*

ИНСТРУМЕНТИ ЗА СТУДЕНО ВАЛЦОВАНЕ. СТРУГОВАНЕ, ПЛАСТИЧНО ДЕФОРМИРАНЕ И ШЛИФОВАНЕ НА ЕДНА УСТАНОВКА

Лъчезар СТОЕВ **Иван ТУРЛАКОВ**

Резюме: *В публикацията са представени идейни проекти на инструменти за студено валцоване на профилни повърхнини за металорежещи машини с ЦПУ. Предложен е технологичен маршрут за цифрово двустранно струговане, пластично деформиране и окончателно обработване на ротационно-симетрични детайли на една установка при използване на многофункционални машини. Технологичният замисъл гарантира равномерност на прибавките при многопроходните цикли на изпълняваните операции и е предпоставка за съществено увеличаване на производителността, точността на формата и размерите.*

Ключови думи: *цифрово валцоване, ролковане, инструменти за ППД, многофункционални машини, ГАПС.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Гладкото валцоване (ролковане) е метод за студено деформиране на детайли от пластични материали. То се прилага, когато е необходимо повърхностно уякчаване и малка грапавост на обработваните повърхнини, която не може да се постигне при операцията струговане. Инструментите за валцоване се използват при различни металорежещи машини: бормашини, стругове, обработващи центри и други. Обработените повърхнини имат ниска грапавост и висока носеща способност. Методът се характеризира с кратки времена за обработване, малък шум и с екологична технология, поради липсата на стружки и отпадъчни материали. Използва се успешно за предотвратяване на умора на материалите при циклични натоварвания, за отстраняване на микрограпавини, корозионни напуквания и за намаляване на разликите във вътрешните напрежения. В случаите, когато не се изисква висока точност на размерите, той може да се прилага като алтернативна технология на методите за окончателно обработване.

Целта на настоящата публикация е представяне на идейни проекти на инструменти за валцоване на профилни повърхнини за металорежещи машини с ЦПУ. В работата се предлага технологичен маршрут за цифрово струговане, студено пластично деформиране и окончателно обработване (шлифоване, хонинговане или полиране) на една установка, при използване на многофункционални машини от рода на S242 (CombiGrind h) [1], [2] и други. Идеята за тази технология е продиктувана от възможността да бъде заменено обемното закаляване с

ролковане, при съобразяване на служебното предназначение на детайлите. Предимствата на предлагания маршрут се състоят в съществено увеличаване на производителността, поради съкращаване на подготвително-заключителните времена при използване само на една машина. Технологичният замисъл гарантира равномерност на прибавките при многопроходните цикли на изпълняваните операции и е предпоставка за очаквана висока точност на формата и размерите, поради обработването на детайлите на една установка.

При съвременните инструменти за гладко валцоване, фиг. 1 на реномираните фирми Ecoroll [3] и Baublies [4], упражняваната сила се предава върху деформиращата ролка през пружини. Тя може да се настройва при промяна на положението на инструмента спрямо заготовката. Използваните подавания на супортите по осите X, Z и Y са в диапазона 0,05-0,3 mm/об. Скоростта на ролковане достига до 100 m/min [4]. Заготовките трябва да имат дълбочина на грапавините до 15 μm и максималната им твърдост не трябва да надвишава 45 HRC [4]. Инструментите обикновено са съоръжени с тарирани измервателни часовници, с помощта на които се настройва и отчита стойността на деформиращата сила. Грапавостта на обработените повърхнини достига до стойност Rz 0.2 μm. Едноролковите инструменти са универсални за приложение, защото могат да валцоват заготовки с различен диаметър и размери.



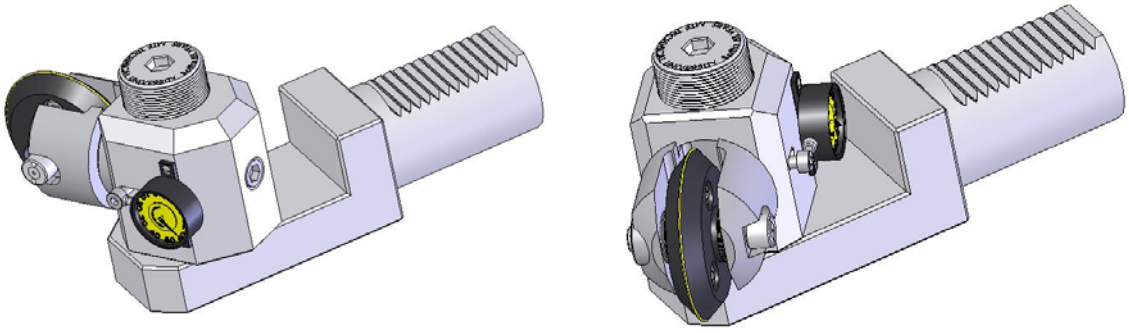
Фиг. 1. Инструменти за гладко валцуване на германските фирми Ecoroll AG [3] и Baublies AG [4]

2. ПРОЕКТИ НА ИНСТРУМЕНТИ ЗА ВАЛЦОВАНЕ

2.1. Едноролков инструмент със съставна деформираща ролка

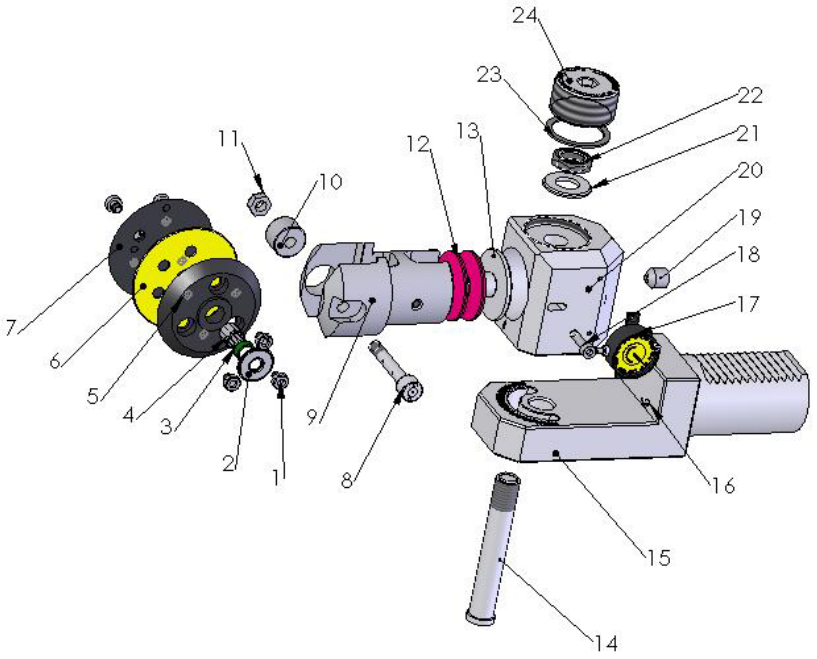
В публикацията се представят няколко идейни проекта на инструменти за цифрово ролковане, конструкциите на които са повлияни от разработките на водещите фирми [3] и [4]. Авторите нямат претенции за създаване на качествено нови видове инструменти за валцоване, а в подобряване на някои от характеристиките им, с оглед бъдещи експериментални изследвания и разширяване на областта на технологичното им приложение.

В настоящата работа акцент е поставен на представения на фиг. 2 едноролков инструмент. Той се отличава с възможността за промяна на установъчните ъгли на ролката в диапазона ± 90 градуса и използване на съставен деформиращ елемент. Инструментът е илюстриран с VDI-държач за стругове с ЦПУ. Може да бъде изработен с модулни присъединителни елементи тип „лястовича опашка” или HSK-държач.



Фиг. 2. Едноролков инструмент със съставна деформираща ролка

Елементите от конструкцията на инструмента са показани на схемата за сглобяване на фиг. 3.



Фиг. 3. Схема за сглобяване на едноролков инструмент за гладко валцоване

Основните детайли са: държач - поз. 15, тяло - поз. 20, вилка - поз. 9, съставна ролка (поз. 5, 6 и 7) и измервателен часовник - поз. 17. Инструментът разполага с гравирана нониусна скала за бърза промяна на ъгъла на установяване на валцоващия елемент. В конструкцията е вграден пакет от тарелчати пружини, поз. 12 за регулиране на силата на притискане. Деформиращата ролка е съставна и се състои от три детайла: работна ролка, поз. 6 и две поддържащи конусни шайби, поз. 5 и 7. Валцоващият елемент е с радиусно закръгление, което може да има плавен преход към двете челни повърхнини. Тази опростена и технологична конструкция на работната ролка ще се отрази благоприятно върху нейната цена. Тя може да се изработи от закалена легирана стомана, от твърда сплав или други материали. След износване или при необходимост от промяна на радиуса на закръгление се подменя само работната ролка.

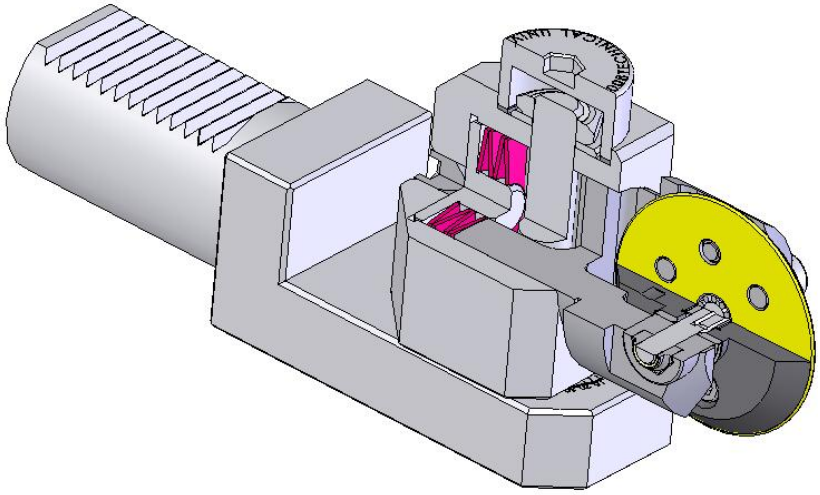
За по-добро онагледяване на конструкцията е приложен частичен разрез на инструмента на фиг. 4. Показан е пакетът от тарелчати пружини и лагеруването на работната ролка.

Съществува известна аналогия между разположението на режещия клин на стругарски нож и ролка за валцоване в надлъжно сечение спрямо обработвания детайл. Влиянието на геометрията и разположението на стругарските ножове върху сечението на срязвания слой, грапавостта на обработваната повърхнина, трайността и стабилността на инструментите и върху много други фактори е известно отдавна. Представената конструкция на инструмент позволява провеждане на експерименти за оценяване на влиянието на установъчните ъгли и геометрията на деформиращата ролка върху грапавостта, точността и трайността на използвания инструмент при различни режими на контурно цифрово валцоване на ротационно-симетрични детайли с произволен профил и размери - област, която досега не е напълно изследвана.

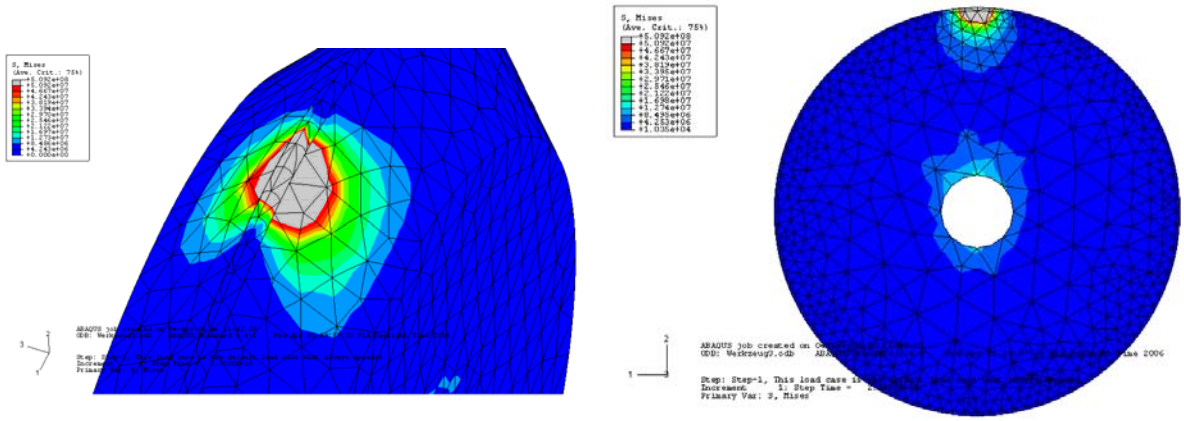
2.2. Симулационно моделиране на силово-деформационното поведение на валцоващата ролка

За оценяване на силово-деформационното поведение на валцоващата ролка на инструмента се извърши симулационно моделиране с помощта на софтуерния продукт Abaqus. Целта на проведените експерименти е установяване на допустимите силови натоварвания на ролката при валцоване, преди настъпване на остатъчни деформации на работната ѝ повърхнина. Като материал на ролката при симулационното моделиране се избра лагерна стомана ШХ15. Поддържащите конусни шайби са от стомана 40Х. На фиг. 5 са показани с различен цвят получени резултати за разпределението на сравнителните напрежения по

повърхността на комбинираната ролка и в напречно сечение на работния й профил. Оцветените в сиво зони са най-натоварените участъци. При проведените изследвания отчетените максимални стойности на напреженията достигнаха до 510 MPa. Критичните стойности за избрания материал са над 4200 MPa, което показва, че отчетените резултати гарантирано са в еластичната област. Данните от проведеното моделиране доказват, че изборът на материал на ролката е подходящ за изпълнение на служебното й предназначение.



Фиг. 4. Частичен разрез на едноролков инструмент за гладко валцоване

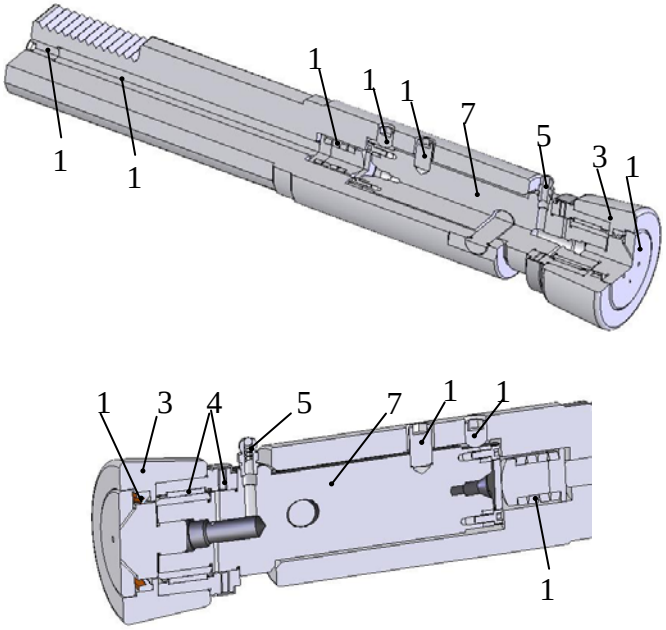


Фиг. 5. Резултати от изследване на силово-деформационното поведение на валцоваща ролка

В условията на гъвкаво производство могат да се валцоват детайли с различни профили и произволна последователност, ако в револверните глави на машините се установяват леви и десни инструменти за ролковане, с еднакви или различни радиуси на закръгление, установъчни ъгли и „ъгли на заостряне”. Процесът може да се раздели на грубо и чисто ролковане. За повишаване на точността при валцоване с повече от един инструмента авторите предлагат упражняваната деформираща сила да се настройва статично или динамично по цилиндрична и челна повърхнина на установен в работната зона закален еталонен детайл без радиално и челно биене. Това би могло да бъде и първият детайл от партидата с двустранно валцовани две челни и цилиндрични повърхнини. Разликите в позициите на различните инструменти по осите X и Z, при еднаква настроена деформираща сила, трябва да се въвеждат като корекции в Offset-регистрите на машината с ЦПУ, както това се прави при настройване на стругарски ножове. Биха могли да бъдат използвани и други известни методи и екипировка за настройване на инструменти на самата машина или извън нея. Инструментите за ролковане могат да разполагат с модулни опашки или държачи, осигуряващи възможност за автоматичната им смяна с автооператори във вретена или револверни глави.

2.3. Инструмент за валцоване на отвори и външни повърхнини с конусна ролка

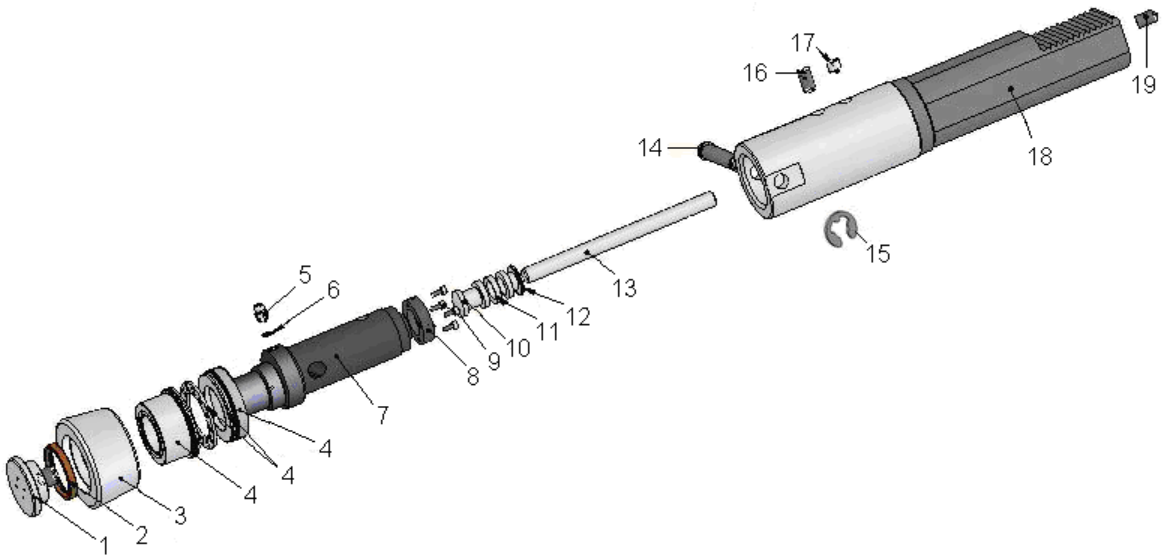
На следващата фиг. 6 е илюстриран в два разреза идеен проект на друг вид едноролков инструмент, който може да се прилага за валцоване на стъпални отвори и външни повърхнини на детайли с размери, съобразени с неговата дължина, разположение и габарити.



Фиг. 6. Инструмент за валцоване на отвори и външни повърхнини с конусна ролка

Валцоващата ролка, поз. 3 е лагерувана на комбиниран радиално-аксиален лагер, поз. 4, който се смазва принудително по система от канали от гресьорката, поз 5. Детайлът, поз. 7 може да се поднастройва ъглово на ± 2 градуса. Това допринася за оптимизиране на разположението на ролката при валцоване на цилиндрични или челни повърхнини. За регулиране на натяга на пакета от тарелчати пружини, поз. 11 се използва винтът, поз. 19. При завиването му по оста се премества пръта, поз. 13. Между отвора на детайла, поз. 7 и оста, около която той се завърта, има аксиална хлабина от няколко милиметра. Тя е равна на тази между винта, поз. 16 и отвора за него в корпуса на инструмента.

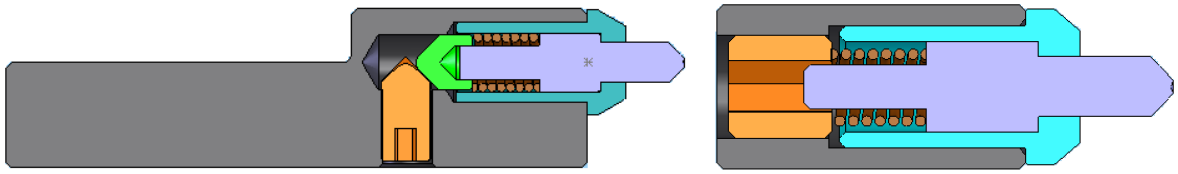
На фиг. 7 е показана схемата на сглобяване на използваните елементи от конструкцията на инструмента.



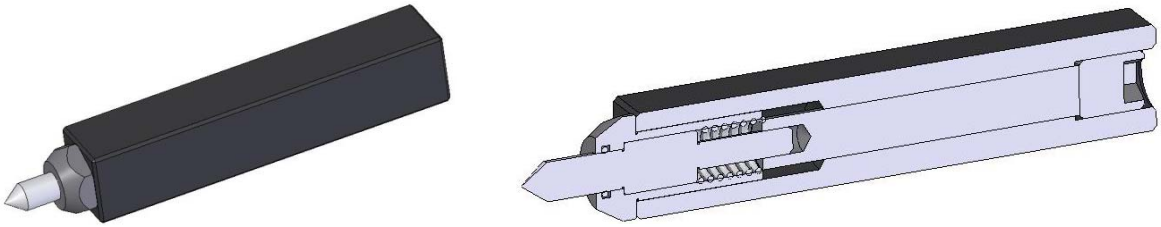
Фиг. 7. Схема на сглобяване на инструмент за валцоване на отвори и външни повърхнини

2.4. Диамантен инструмент за валцоване

За разширяване номенклатурата на технологичната екипировка за провеждане на бъдещи експерименти се разработи идеен проект на конструкция на диамантен инструмент. На фиг. 8 са дадени две схеми на възможни решения за регулиране на силата за валцоване. Конструкцията на диамантния инструмент на фиг. 9 е повлияна от аналогични решения на фирмата Ecoroll.

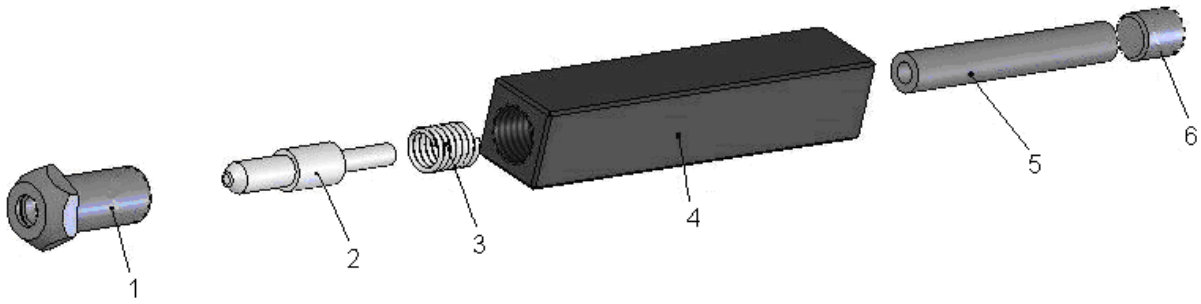


Фиг. 8. Принципни решения за регулиране на силата на валцоване



Фиг. 9. Общ вид и разрез на диамантен инструмент за валцоване

Към върха на плунжера, поз. 2 на приложената схема за сглобяване на фиг. 10, предварително се монтира или запоява диамантът за валцоване. Силата за пластично деформиране се регулира посредством винта, поз. 6. При неговото завиване се свива цилиндричната пружина, поз. 3 и се увеличава силата за валцоване.



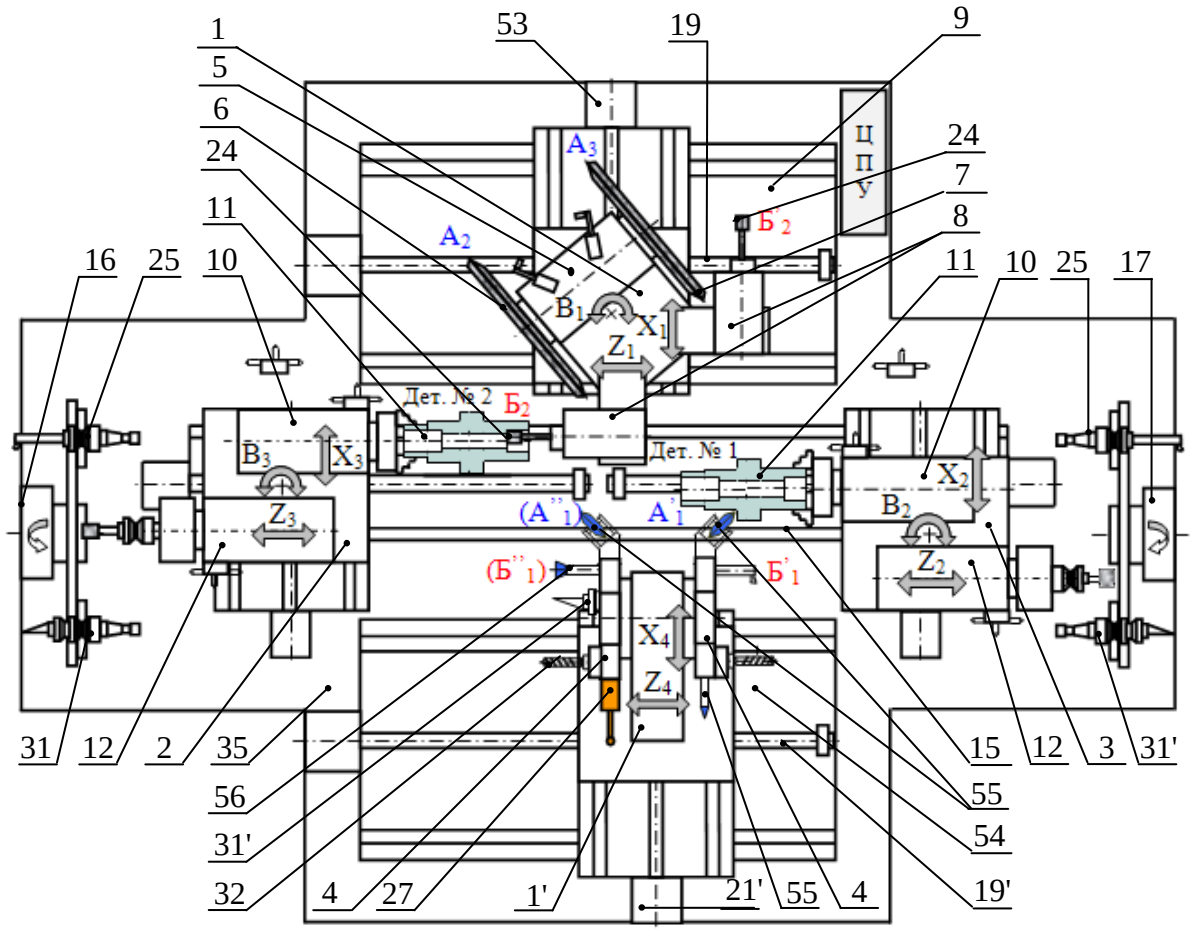
Фиг. 10. Схема на сглобяване на диамантен инструмент за валцоване

3. СТРУГОВАНЕ, ПЛАСТИЧНО ДЕФОРМИРАНЕ И ШЛИФОВАНЕ НА ЕДНА УСТАНОВКА

При илюстрираната компоновка на фиг. 11 [2] е възможно синхронизиране на различни операции по време. Двата супорта са силово разпределени за грубо и окончателно обработване. На фигурата е показано едновременно изпълнение на вътрешно шлифоване на отвор на детайл № 2, (след извършено ППД с инструмент, поз. 56), установен в предното седло и цифрово ролковане на външния контур на втора заготовка, установена в срещуположното вретено на задното седло. (На детайла, отбелязан на фигурата с № 1, предстои външно шлифоване с наклонения диск, поз. 6). На представената машина може, след чисто струговане или разстъргване, при едно и също установяване, да се извърши повърхностно уякчаване на отвори или външни профилни повърхнини преди операциите за окончателно обработване (шлифоване, хонинговане или полиране). Възможно е да се използва цялото разнообразие от инструменти за цифрово ППД, установени в револверните глави, поз. 4.

При изпълнение на многопроходните цикли на всички изпълнявани операции на една установка се осигурява равномерност на прибавките. Това е предпоставка за постигане на висока точност на формата и размерите. Цялостното обработване на ротационно-симетрични

детайли при едно базиране води до съществено увеличаване на производителността, поради съкращаване на подготвително-заключителните времена. При използване на илюстрираната машина могат цялостно гъвкаво да се обработват различни патронникови или центрови детайли в произволна последователност. Допълнителните технологични възможности и осигурявани методи отличават представената компоновка от съвременните аналози на многооперационни центри, като например S242 (CombiGrind h) [1] на фирмите Studer и Schaudt.



Фиг. 11. Многофункционална машина. Синхронизирано обработване на два детайла [2]

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата публикация са представени идейни проекти на инструменти за гладко валцоване. Те са разработени за провеждане на експерименти за оценяване на влиянието на геометрията и ориентацията на деформиращите елементи върху точността и грапавостта на обработваните детайли. Основният акцент е поставен върху инструмент за валцоване със съставна деформираща ролка и възможност за промяна на главния установъчен ъгъл в диапазона ± 90 градуса.

В условията на автоматични линии и ГАПС обемното закаляване на ротационно-симетрични заготовки може да бъде заменено с повърхностно пластично деформиране, когато това е съобразено със служебното предназначение на детайлите. В тези случаи може да се изпълни технологичният маршрут: струговане, ролковане и окончателно обработване (шлифоване, хонинговане или полиране) на една установка. Внедряването на тази технология при многофункционални машини, от вида на представената в публикацията, ще доведе до съществено повишаване на производителността, точността на формата и размерите на обработваните детайли в условията на серийно и гъвкаво производство. В работата е предложен технологичен подход за използване на повече от един инструменти за цифрово ролковане на сложни профилни повърхнини и са дадени препоръки за тяхното настройване.

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационен сайт на германското сдружение Schleifring Gruppe на фирми в областта на производството на шлифовъчни машини в рамките на концерна Körber Schleifring, http://www.schleifring.net, **17.03.2008**

2. Стоев, Л. *Метод и машина за многооперационно обработване на стъпални ротационни детайли, част 5 Технология за синхронизирано обработване на два патронникови детайла.,* Международна научно-техническа конференция **АМО 2010**, 27-29 юни **2010**, Международен дом на учените "Ф. Ж. Кюри", Варна, курорт "Св. Св. Константин и Елена", под печат

3. Информационен сайт на германската фирма за инструменти за пластично деформиране Ecoroll AG, http:// www.ecoroll.de, **19.05.2010**

4. Информационен сайт на германската фирма за инструменти за пластично деформиране Baublies AG, http:// baublies.com, **19.05.2010**

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р Лъчезар СТОЕВ
ТУ-София, Машинно-технологичен факултет, катедра ТММИ,
1000 София, бул. „Кл. Охридски” № 8, Р България,
e-mail: lstoev@tu-sofia.bg

маг. инж. Иван ТУРЛАКОВ
фирма Тексимп,
1138 София, бул. „Самоковско шосе” № 1,
Търговски център „Боила”, Р България,
e-mail: ivan.turlakov@teximp.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria
65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

COMPARISON OF TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS WITH STRAIGHT AND REVERSE POLARITY INTO ELECTRICAL-DISCHARGE MACHINING

Pancho DANAILOV

Abstract: *For combination of priority of two typical operating modes into Electrical-discharge machining – Electrical-spark machining and Electrical-pulse machining was made experimental investigation with straight and reverse polarity. A statistical estimate was made of the influence of basic electrical factors on the technological characteristics. A one- and multi parameters optimization for outline combination of elements of operation duty was made.*

Key words: *electrical-discharge machining*; *technological factors; technological characteristics.*

СРАВНЕНИЕ НА ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ПРАВА И ОБРАТНА ПОЛЯРНОСТ НА ЕЛЕКТРОЕРОЗИОННО ОБРАБОТВАНЕ

Панчо ДАНАИЛОВ

Резюме: *За рационално съчетаване на двата характерни режима на електроерозионно обработване – електроискров и електроимпулсен режим, са проведени експериментални изследвания при права и обратна полярност на свързване на електродите. Оценено е влиянието на основни електрически фактори от режима върху производителността, износването на електрода и междуелектродното разстояние. На базата на проведения анализ и оценка на влиянието на всеки от факторите, са извършени едно- и многопараметрични оптимизации, очертаващи подходящите комбинации от елементи на режима.*

Ключови думи: *електроерозионно обработване, технологични фактори и показатели .*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Електроерозионното обработване е един от основните технологични процеси за обработване на сложните профилни повърхнини на щанци и пресформи. Същевременно обработването се обуславя от голям брой фактори, част от които се определят от самата природа на електроерозионното обработване и имат стохастичен характер, други се определят от условията на работа и трети, които се обуславят от параметрите на режима, което затруднява тяхното изучаване и управление [1, 2, 4, 6].

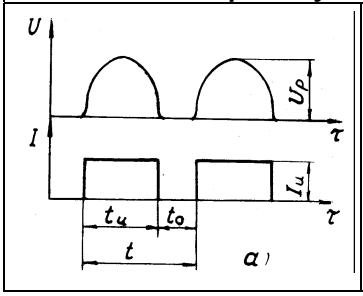
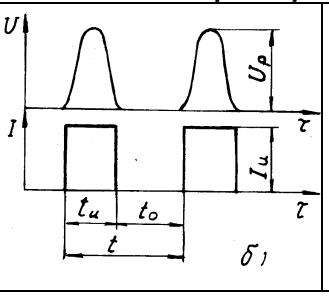
При разработване на технологични процеси за електроерозионно обработване се решават редица задачи, но стремежът и тук е намаляване на общото време за обработване при съблюдаване на необходимите изисквания – точност на формата и размерите, грапавост и характеристика на повърхностния слой.

Една от задачите е избора на *полярност* на електродите. Полярността най-общо определя вида на електро-ерозионното обработване, като при *електроискров* режим полярността е *права* – електрода-инструмент е катод (–), а заготовката анод (+), а при *електроимпулсен* режим – полярността е *обратна*. Въпреки че има препоръки за избора на полярност, наблюденията показват, че в повечето случаи се работи с права полярност на свързване на електродите [3].

Целта на настоящата работа е експериментално изследване и анализиране на влиянието на основни електрически фактори от режима върху технологичните показателите на процеса при работа с права и с обратна полярност на свързване на електродите и предлагане на стратегия за оптимално съчетаване на предимствата на двата режима на работа.

2. ПРЕДПОСТАВКИ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Избора на режим за електроерозионно обработване включва няколко основни етепа [1, 5], като най-общо в тях се избират *първични* и *вторични* параметри за настройване на конкретни ерозионна машина, генератор и следяща система. Една част от първичните параметри, т. нар. регулируеми параметри на импулсното напрежение и разрядния ток, се избират в зависимост от условията на работната зона, вида на електродите и диелектричната среда и влияят пряко върху резултатите от обработването.

Електроимпулсен режим		***Електроискров режим***	
	$q = t / t_И$ *При* $t_И$ = 20 μs и $F = 12 \div 30$ *kHz:* $q = 4{,}16 \div 1{,}6$. *По препоръки –* $t_И > 100$ μs и $0{,}5 < q \leq 5$		$q = t / t_И$ *При* $t_И$ = 0,5 μs и $F = 12 \div 30$ *kHz* $q = 166 \div 66$. *По препоръки –* $t_И < 100$ μs и $5 \leq q < 30 \div 100$

Фиг. 1. Параметри на импулсите на работното напрежение и на разрядния ток [5]

Експерименталните изследвания са извършени върху обемна електроерозионна машина тип А207.40, снабдена с независим тиратронен генератор за високочестотно импулсно напрежение. Характерно за генератора е това, че осигурява получаването на импулси с постоянна честота ***F*** или т.нар. *изочестотни импулси,* при които $t_И + t_0 = const$ и позволява регулиране на енергията $W_И$, честотата F и продължителност на импулсите $t_И$ = 0,5÷20 μs. На фиг.1 е показана формата и времевите параметри на импулсите на работното напрежение и на тока при двата режима, които имат различни мощност, продължителност на импулсите и на паузите между тях, където U_P и $I_И$ са работното напрежение и амплитудата на разрядния ток на импулсите; $t_И$ и t_0 , μs са продължителността на един импулс и на паузата между два импулса;$t = t_И + t_0$, μs е периода на протичане на импулсите, с който са свързани коефициентите:

$kз = t_И / t$ – коефициент на запълване на периода t ;

$q = t / t_И = 1 / F.t_И$ е коефициент, определящ продължителността на паузата t_0 [5].

С планирани факторни експерименти е изследвано влиянието на големината на *напрежението* ***U***, захранващо кондензаторната батерия, *капацитета* ***C*** на същата и *честотата* ***F*** на импулсите, които са избрани като ***фактори***. Като ***параметри*** са избрани и измервани: производителността, изразена с *дълбочината* на проникване ***H*** на електрода в заготовката, *износването* ***ε*** на електрода-инструмент и големината на междуелектродното разстояние *(gap)* ***Ze***. За електрод-инструмент е използван месинг (*CuZn10*) с диаметър d = 10 *mm* и изходна дължина L = 150 *mm*, а като заготовка – прокат от стомана 40Х с шлифовани челна и опорна повърхнини. Изследвани са две схеми на свързване на електродите: ***схема 1*** – *права полярност* и ***схема 2*** – *обратна полярност*. Изследванията са проведини с еднакво време за обработване T_m = 4 min, отчитано с хронометър. Като диелектрик е използвана водопроводна вода с дебит 9 *l/min*. Дълбочината на проникване ***H*** е измервана с микрометричен часовник с точност 0,001 mm. Износването $\varepsilon = L_i - L_i'$, като дължините на електрода L_i и L_i' са измервани с микрометър преди (L_i) и след (L_i') всеки опит, като челата на електрода са престъргвани преди всеки опит. Междуелектродното разстояние $Ze = 0{,}5(D - d)$, като диаметъра D на отпечатъка е измерван върху инструментален микроскоп, а диаметъра на електрода d – с микрометър.

Факторите са изменяни на ***две нива*** и са еднакви и за двете схеми:

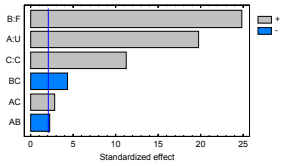
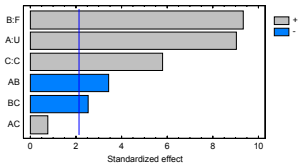
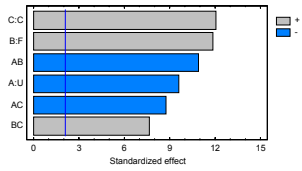
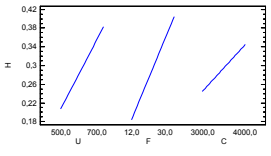
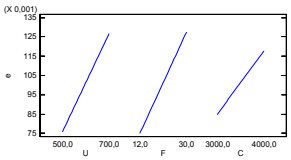
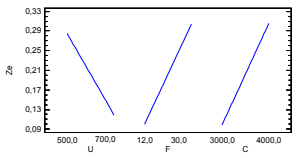
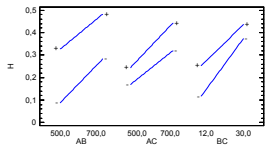
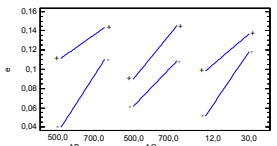
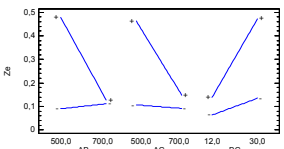
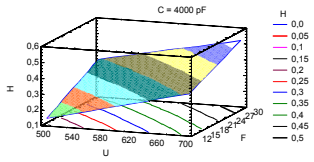
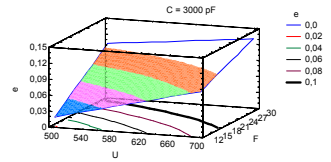
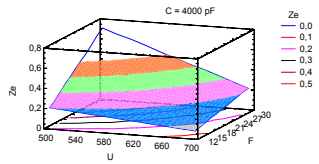
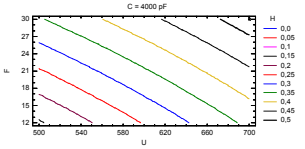
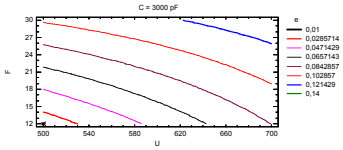
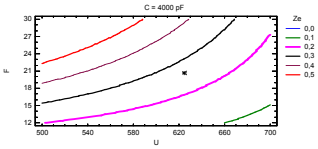
Ниво на изменение на факторите	***Схеми 1 и 2 – Фактори*** :		
	U, *V*	***F***, *kHz*	***C***, *pF*
Долно	500	12	3000
Горно	700	30	4000

3. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

В таблици ***1*** и ***2*** са отразени резултатите от проведениите анализи при ***схеми 1*** и ***2***, извършени със софтуер за статистическа обработка. Чрез *Парето-диаграми* е оценена

степента (***ефекта***) на влияние на всеки фактор, който ефект се изобразява като лента (бар), чиято дължина (по абс. стойност) определя количествено оценения стандартизиран ефект на фактора върху съответния параметър. Чрез вертикална линия, пресичаща лентите на ефектите, е показана статистическата значимост на факторите в 95 % интервал на значимост. Показана е посоката на влияние на факторите и на техните смесени въздействия върху съответните параметри. Извършена е еднопараметрична оптимизация поотделно за всеки параметър, като са показани повърхнините и контурните линни на оптимума на параметъра, при съответните стойности (нива) на факторите.

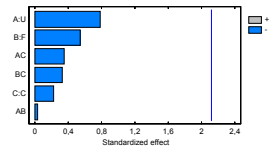
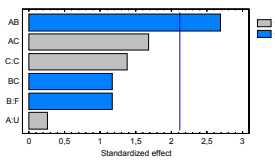
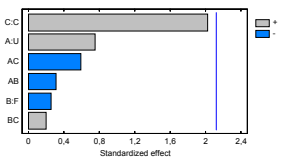
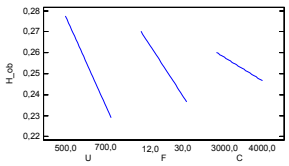
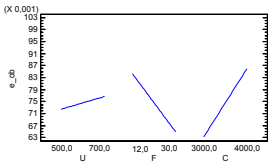
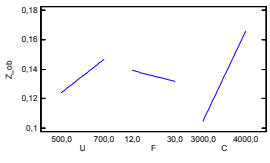
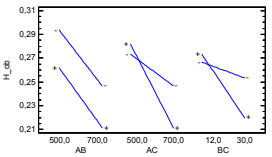
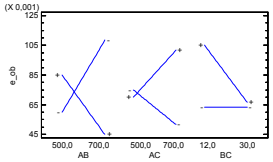
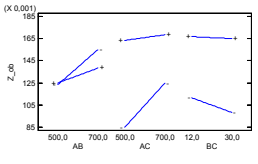
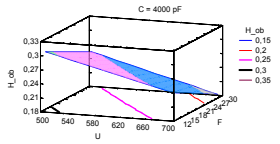
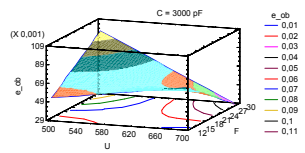
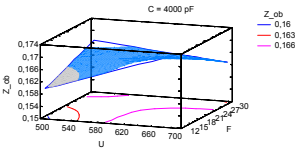
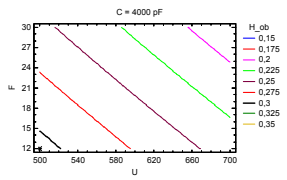
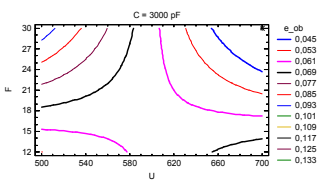
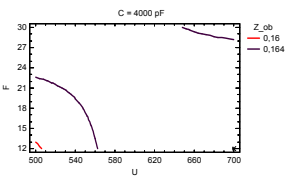
Таблица 1 Анализ и оценка на факторите при права полярност

Схема 1: Права полярност – *заготовка* (**+**) *, електрод-инструмент* (**–**)		
Производителност H_1 *, mm*	*Износване* ε_1 *, mm*	*Разстояние (gap)* $2Ze_1$ *, mm*
Парето диаграма	*Парето диаграма*	*Парето диаграма*
		
		
Влияние на основните фактори	Влияние на основните фактори	Влияние на основните фактори
		
Взаимодействие между факторите	Взаимодействие между факторите	Взаимодействие между факторите
		
Повърхнина на отклика за H_1	Повърхнина на отклика за ε_1	Повърхнина на отклика за $2Ze_1$
		
Контури на отклика	Контури на отклика	Контури на отклика

Maximize H_1	H_{1max} **= 0,525** mm	*Minimize* ε_1	$\varepsilon_{1\,min}$ **= 0,0187** mm	$2Ze_1$ *= const*	$2Ze_1$ **= 0,25** mm
Фактори **Optimum:**	***U*** = 700 *V*; ***F*** = 30 *kHz*; ***C*** = 4000 *pF*;	Фактори : **Optimum :**	***U*** = 500 *V*; ***F*** = 12 *kHz*; ***C*** = 3000 *pF*;	Фактори : **Optimum :**	***U*** = 625 *V*; ***F*** = 20,63 *kHz*; ***C*** = 3941,1 *pF*

При ***схема 1*** факторите и смесените им въздействия са статистически значими за дълбочината ***H***, износването ***ε*** и разстоянието ***Ze*** , тъй като линията на значимост пресича всички ефекти на факторите. Влиянието на напрежението ***U*** и капацитета ***C*** върху ***H, ε*** и ***Ze*** е закономерено, тъй като енергията на импулсите W_u на разряда се определя главно от ***U*** и ***C***. Честотата на импулсите ***F*** оказва съществено влияние с това, че с изменение на ***F*** при изочестотните импулси се променят едновременно продължителността на импулсите $t_И$ и на паузата t_0 между тях , с което се изменя съотношението между $t_И$ и t_0 .

Таблица 2 Анализ и оценка на факторите при обратна полярност

Схема 2: Обратна полярност – *заготовка* **(–)** *, електрод-инструмент* **(+)**		
Производителност ***H–ob*** *, mm*	*Износване* ***ε–ob*** *, mm*	*Разстояние* (gap) ***2Ze–ob*** *, mm*
Парето диаграма	*Парето диаграма*	*Парето диаграма*
		
		
Влияние на основните фактори	Влияние на основните фактори	Влияние на основните фактори
		
Взаимодействие между факторите	Взаимодействие между факторите	Взаимодействие между факторите
		
Повърхнина на отклика за ***H-ob***	Повърхнина на отклика за ***ε-ob***	Повърхнина на отклика за2***Ze-ob***
		
Контури на отклика	Контури на отклика	Контури на отклика

Maximize H–ob	***H–ob max* = 0,308** mm	***Minimize e-ob***	***e–ob min* = 0,0296** mm	***2Ze–ob*** = 0,25 mm = *const*	***2Ze–ob* = 0,174** mm
Фактори : ***Optimum:***	***U*** = 500 *V* ; ***F*** = 12 *kHz*; ***C*** = 4000 *pF*;	Фактори : ***Optimum :***	***U*** = 700 *V* ; ***F*** = 30 *kHz*; ***C*** = 3000 *pF*;	Фактори : ***Optimum :***	***U*** = 700 *V* ; ***F*** = 12 *kHz*; ***C*** = 4000 *pF*;

Еднопараметричната оптимизация на производителността определя максимум на ***H*** при горните нива на всички фактори, което показва че при тези стойности на честотата ***F*** , вид и обмен на диелектрика и площ на електрода, има оптимално съотношение между продължителността $t_и$ и амплитудата на тока *I* на импулсите. Износването ***ε*** има минимум при ниските нива на всички фактори, което е очаквано поради по-ниската ***F***, определяща по-голям коефициент *q*, респ. по-малка продължителност на импулсите $t_и$ и по-голяма пауза t_0, което намалява частта от енергията на импулса, въздействаща на катода. Междуелектродното разстояние е задържано на стойност 2***Ze*** = 0,25 mm = *const* , за да се осигури по-добър обмен на диелектрика при тази сравнително малка площ на електрода-инструмент. При стойност на 2***Ze*** = 0,25 mm, факторите ***U*** и ***F*** са на нива, близки до средните, а капацитета ***C*** ≈ 4000 *pF.*

При ***схема 2*** на обратна полярност (таблица 2*)*, факторите и смесените им въздействия в Парето-диаграмите за H_{-ob}, $ε_{-ob}$ и $2Ze_{-ob}$ са незначими в интервала на значимост от 95 % и са със отрицателен знак, което означава, че избраните нива на факторите ***U*** , ***F*** и ***C***. са високи и неподходящи за тази схема на работа.

Еднопараметричните оптимизации на H_{-ob} и $ε_{-ob}$ имат съответния оптимум при нива на факторите ***U*** и ***F***, противоположни на тези от схема 1. Вероятно при увеличаване енергията и честотата на импулсите се затруднява отвеждането на продуктите на ерозия, затова максимума на H_{-ob} се получава при честота ***F*** = 12 *kHz*, определяща по-голяма пауза t_0 между импулсите. Износването на електрода $ε_{-ob}$ има минимум при честота ***F*** = 30 *kHz,* което определя по-малък коефициент *q*, респ. по-голяма продължителност на импулсите $t_и$ и по-малко t_0 , което намалява мощността на импулса върху анода (електрода-инструмент) и едновременно с това увеличава броя на разрядите върху катода. При стойност $2Ze_{-ob}$ = 0,25 mm = *const*, факторите ***U*** и ***C*** са на горни нива, а фактора ***F*** на долно ниво, което определя по-голям коефициент *q*, респ. по-голяма пауза t_0 , което облекчава отвеждането на продуктите на ерозията и стабилизира процеса.

4. СТРАТЕГИЯ ЗА ОПТИМИЗАЦИЯ

Ефективното използване на електроерозионното обработване при конкретна технологична задача изисква разработването на технологична схема, включваща определени технологични операции и похвати. Обикновено в тази схема се залага общотехнологичния принцип на последователно обработване при поредица от режими, осигуряващи получаването на зададената точност на формата и размерите и на необходимото качество – структура и грапавост на повърхнините. Последователното прилагане на няколко режима и смяната на електроди-инструменти определят загубата на време за формообразуване на повърхнината. В тези случаи машинното време T става значим фактор за ефективността на процеса [4].

Като *критерий за оптималност* е избрана максималната производителност ***H***, при минимално износване ***ε*** на електрода-инструмент и зададени разстояние 2***Ze*** и качество на повърхнините, която в крайна сметка води до минимизиране на технологичното време на електроерозионно обработване. Основание за този избор се дава от факта, че при *предварителни преходи* на обработване се цели премахване на основната част от прибавката, при липсващи или наложени малки ограничения от страна на качеството. При *получист* преход се цели достигане на точността на размерите, намаляване до определена степен на дефектния слой и височината на грапавините от *I*-ви преход, като се оставя прибавка 0,05–0,1 mm за следващ чист преход или за заглаждане. За оптимизация на изследваните ***схеми 1*** и ***2*** е възприета стратегията на *последователно еднопараметрично оптимизиране на всеки от параметрите* ***H***, ***ε*** и 2***Ze*** и ***многопараметрична*** оптимизация, едновременно *на всички параметри*. В таблица 3 са показани резултатите от многопараметричната оптимизация на параметрите H_1 , $ε_1$ и $2Ze_1$ – при *схема* ***1*** и на параметрите H_{-ob} , $ε_{-ob}$ и $2Ze_{-ob}$ – при *схема* ***2***.

Оптимизацията е извършена на база на регресионните модели, получени от анализа на факторите. За комбиниране на ***m = 3*** отклика на еднопараметрични оптимизиращи функции d_i , се синтезира единична оптимизираща функция $D = f(d_1, d_2, d_3)^{1/3}$, за която се търси максимум в границите между 0 – 1,0. Функциите d_i се определят от зависимост (1), където $y_i^{\wedge}$ е прогнозната стойност за конкретен параметър, получена от съответния регресионен модел, а *low* и *high* са долното и горно нива на факторите ***U*** , ***F*** и ***C*** .

$$d = \begin{cases} 1 & y^{\wedge} < low \\ \left(\dfrac{y^{\wedge} - high}{low - high} \right)^{S}, & low \le y^{\wedge} \le high \\ 0 & y^{\wedge} > high \end{cases} \qquad (1)$$

В таблица 3 са показани повърхнините и контурните линии на оптимизиращите функции D_1 и D_2, чиито максимуми определят глобалния оптимум, едновременно на параметри H_1, ε_1 и $2Ze_1$ при *схема* **1** и аналогично – едновременно на параметри H_{-ob},ε_{-ob} и $2Ze_{-ob}$ – при *схема* **2.** За двете схеми 1 и 2 е прието: $2Ze_1 = 2Ze_{-ob} = 0{,}25$ *mm = const* .

Ако за определеност се приеме, че обработването на една повърхнина изисква прилагане на два режима : груб – **1** и получист – **2**, то общото време за обработване T ще бъде сума от времената за обработване на всеки от режимите, т.е.

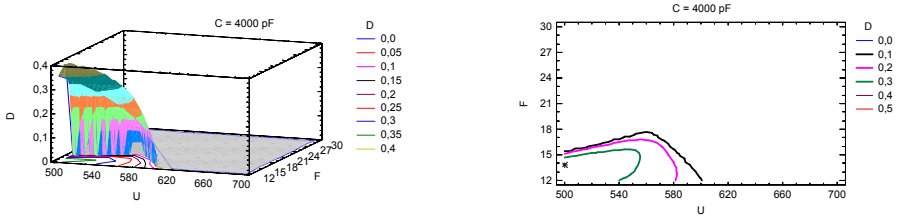
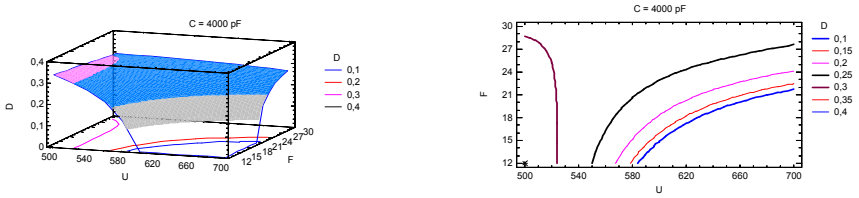
$$T = T_1 + T_2 = V_1 / v_{01} + V_2 / v_{02} ,$$

където V_1 и V_2 са обемите на материала, отнет при първи и втори режим; v_{01} и v_{02} са скоростите на отнемане на материала за съответния режим.

На база на резултатите от едно- и многопараметричните оптимизации и при условията за провеждане на експериментите, се предлага следния подход за намаляване на общото време :

– ***Първият*** режим да се осъществи при ***обратна полярност*** на свързване, при фактори : U = 500 V, F = 12 kHz и C = 4000 pF. В случая може да се очаква отнемане на по-голям обем материал $\mathbf{V_1} \approx 6{,}34$ mm^3/min, обусловен от обратната полярност и то при по-ниска енергия на

Таблица 3 Многопараметрична оптимизация на показателите

***Схема* 1 *права полярност* – Едновременно оптимизиране** на H_1 , ε_1 , $2Ze_1$		
		
Повърхнина и контури на оптимизиращата функция D_1		
Цел: Maximize H_1 **,** ***Minimize*** ε_1 **,** ***при*** $2Ze_1$ **= 0,25 mm** = *const*. ***Фактори : Optimum :*** U = 500 *V* ; F = 13,79 *kHz*; C = 3984,93 *pF*	*Оптимизираща функция –* ***maximize*** D_1 **:** ***Optimum*** $D_1 = 0{,}4005$	***Отговор:*** $H_{1max} = 0{,}163$ *mm;* $e_{1min} = 0{,}0664$ *mm ;* $2Ze_1 = 0{,}25$ *mm.*
***Схема* 2 *обратна полярност* – Едновременно оптимизиране** на H_{-ob} , ε_{-ob} , Ze_{-ob}		
		
Повърхнина и контури на оптимизиращата функция D_2		
Цел: Maximize H_{-ob} **,** ***Minimize*** ε_{-ob} **,** ***при*** $2Ze_{-ob}$ **= 0,25 mm** = *const*. ***Фактори : Optimum :*** U = 500 *V* ; F = 12 *kHz*; C = 4000 *pF*	*Оптимизираща функция –* ***maximize*** D_2 **:** ***Optimum*** $D_2 = 0{,}335$	***Отговор:*** $H_{-ob\ max} = 0{,}3075$ *mm;* $e_{-ob\ min} = 0{,}067$ *mm ;* $2Ze_{-ob} = 0{,}16$ *mm*

импулсите, които определят стойности на износването на електрода – $\varepsilon_{1-ob} = 0{,}03 \div 0{,}06$ mm и на междуелектродното разстояние – $2Ze_{1-ob} \approx 0{,}16$ *mm* ;

– ***Вторият*** режим да се осъществи при ***права полярност*** и ***без смяна*** на електрода-инструмент, при фактори U = 500 V, F = 20 kHz и C = 4000 pF. В случая може да се очаква обем $\mathbf{V_2} \approx 3{,}36$ mm^3/min, при допълнително износване на електрода $\varepsilon_2 \approx 0{,}02 \div 0{,}067$ mm, или общо износване $\varepsilon_\Sigma \approx 0{,}13 \div 0{,}14$ mm, и големина на междуелектродното разстояние $2Ze_2 \approx 0{,}25$ *mm* .

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложения подход за намаляване на времето за електроерозионно обработване ще бъде целесъобразен в случаите, когато обема на материала, който ще се отнеме при втория режим не се определя от интензивността на първия режим. т.е. когато дълбочината на дефектния слой след първия режим е ≤ 0,2 mm и е по-малка от грешката от установяване на нов електрод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артамонов, Б.А. и др. *Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов*.Том 1. М. „Высшая школа”, **1983**.

2. Георгиев, А. *Електрофизични и електрохимични технологии в машиностроенето*. София, **1994**.

3. Данаилов, П., В. Вълчев. *Оценка на влиянието на параметри на импулсите и избор на режими за електроерозионно обработване.* **АМО 2010**. С б о р н и к доклади . Варна, **2010**.

4. Мицкевич, М.К. и др. *Электроэрозионная обработка металлов*. Минск. Наука и техника. **1988**.

5. Попилов, Л.Я. *Электрофизическая и электрохимическая обработка материаллов. Справочник.* Машиностроене, М. **1982**.

6. Ferri, C., A. Ivanov, A. Petrelli. *Electrical measurement in mikro-EDM*. Manufacturing Engineering Centre of Cardiff University.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р Панчо Данаилов
Технически университет – София
e-mail: pdanail@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

CLASSIFICATION OF HORIZONTAL MACHINING CENTERS ON STRUCTURE CRITERIA

Plamen UGRINOV

Abstract: *Single-spindle horizontal machining centers are classified on structure criteria. It is shown, that most preferable structures are as following: T-bed type, converted T-bed type, non-movable working table, „Box-in-Box" –type, for dry and near-dry machining. Structures are 4- and 5-axis, not often 3-axis.*

Key Words: *horizontal machining centers, structure*

КЛАСИФИКАЦИЯ ПО КОМПОНОВЪЧЕН ПРИЗНАК НА ХОРИЗОНТАЛНИ ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ

Пламен УГРИНОВ

Резюме: *Извършена е класификация на съвременните компоновки на едновретенните хоризонтални обработващи центри. Показано е, че най-често използваните компоновки са следните: Т-образни, обърнати Т-образни, с неподвижна маса, „Box-in-Box", със странично разположение на вретенната кутия, за суха и квазисуха обработка. Прилагат се и други компоновки. Изпълняват се 4- и 5-координатни, много рядко- 3-координатни.*

Ключови думи: *хоризонтални обработващи центри, компоновка*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Хоризонталните обработващи центри (ХОЦ) са исторически първите обработващи центри (ОЦ). Демонстрацията на първия ОЦ- Milwaukee-Matic II на Kearney&Trecker (САЩ)- се е състояла през 1959 г. [1]. Възможностите за автоматична смяна на инструментите (АСИ) и заготовките (АСЗ), за цялостна 4- и 5-странна обработка на призматично-корпусни детайли (ПКД) ги прави предпочитан вид оборудване с ЦПУ. За задоволяване на разнообразните нужди на пазара бяха разработени различни компоновки ХОЦ. През последното десетилетие се забеляза тенденция към нарастване на интереса към висикоскоростната обработка (HSM) и често съчетаваните с нея суха, квазисуха и твърда обработка, към значително повишаване на точността обработката с едновременно нарастване на производителността. Това постави нови изисквания към архитектурата на машините и в резултат се появиха нови компоновки, като същевременно старите се доразвиха.

Тъй като компоновката в много голяма степен определя техническите възможности на машината, въпросът за класификацията на компоновките на ХОЦ е с особена важност и актуалност за теорията и практиката на металорежещите машини с ЦПУ.

2. МЕТОДИКА НА КЛАСИФИКАЦИОННИЯ АНАЛИЗ

Класификационният анализ обхваща съвременните едновретенни ХОЦ, които фирмите предлагат в производствените си листи към момента на изследването. Разглеждат се както водещи фирми, така и такива с по-слабо изразено присъствие на пазара от различни страни и региони на света- Европейски съюз, САЩ, Япония, Русия, Република Корея, Тайван. За детайлизиране на търсенето са използвани информационните масиви за фирми-производители в уеб-сайтовете [1] и [2]. Информацията за ХОЦ е снемана online от фирмените уеб-сайтове,

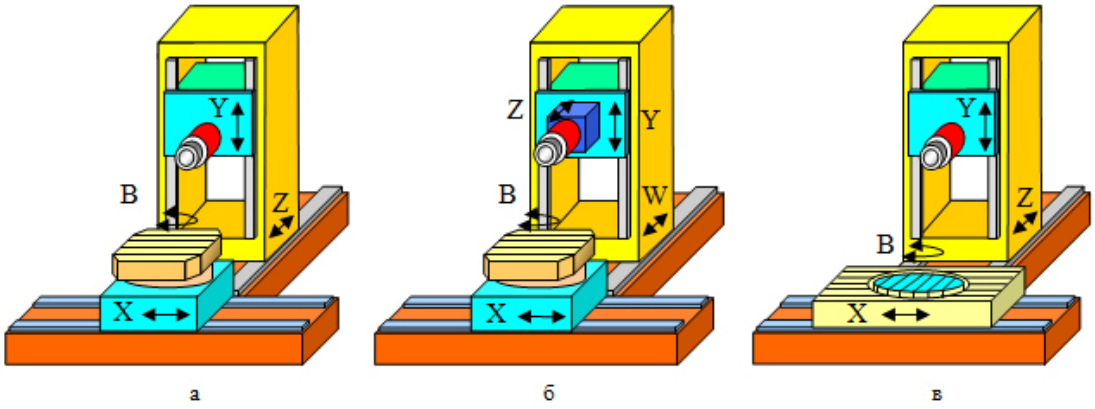
като в редица случаи тя е допълвана чрез фирмени проспекти, реализирани върху хартиен носител.

Извършеният анализ позволява компоновките да се разделят на следните големи класификационни групи, разгледани в следващите т.т. 3-9.

3. Т-ОБРАЗНИ КОМПОНОВКИ

3.1. 4-координатни компоновки

Компоновките с Т-образно тяло са класически за ХОЦ. В съответствие с тях се изграждат повечето от произвежданите модели. Прилагат се предимно при машини от среден типоразмер, като в отделни случаи се използват и при долния сегмент на големия типоразмер. Общата философия на тези компоновки е изразена най-добре в 4-координатната компоновка, показана на фиг.1а [3-16]. Движението на заготовката е съсредоточено само върху една транслационна ос, изпълнявано от шейната X. Другите две транслационни движения се извършват от работните органи, носещи инструмента: колоната се движи по ос Z, а вретенната/предавателната кутия (наричана за краткост по-нататък вретенна кутия)- по ос Y. Колоната представлява затворена ососиметрична рамка, към която са монтирани направляващите по ос Y. За разлика от вертикалните ОЦ, при които вретенната кутия е извън колоната (за да се осигури позициониране на вретеното в произволна точка от работната повърхнина на масата), при ХОЦ вретенната кутия е вградена в колоната, което се прави с цел



Фиг.1. 4- координатни компоновки с Т-образно тяло

вретеното да не навлиза в обема над работната повърхнина на масата при координатните му движения по осите X и Y. Върху шейната X е разположена въртяща маса (ВМ) по ос B, която в повечето случаи е NC-управляема, но може да бъде и индексираща. Чрез нея се осигурява четиристранна обработка, която се оказва достатъчна за повечето детайли от групата на ПКД. Компоновката е удобна за реализиране на АСЗ, най-често във вид на челно разположена двупалетна станция; в този случай върху ВМ се установява палет.

При по-тежките машини с цел избягване на честото придвижване на големи маси, каквито са колоната и вретенната кутия, се добавя една спомагателна ос W, успоредна на ос Z, но компоновката остава 4-координатна. Движението по ос W се извършва от колоната, а оперативните движения по ос Z - от пинолата на вретеното (фиг.1б) [12,17,18].

Компоновката на фиг.1в е с разширение за обработване на голямогабаритни заготовки, които се установяват върху правоъгълната работна маса. В този случай може да се реализира само 3-координатна обработка. При заготовки, вписващи се в габарита на вградената ВМ, се изпълнява пълноценна 4-координатна обработка [18].

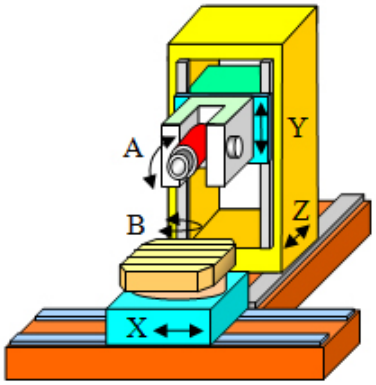
3.2. 5-координатна компоновка

Вретеното се изпълнява наклоняващо се по ос A, с което кръговите оси стават две- по оси A и B- фиг.2.5 [12].

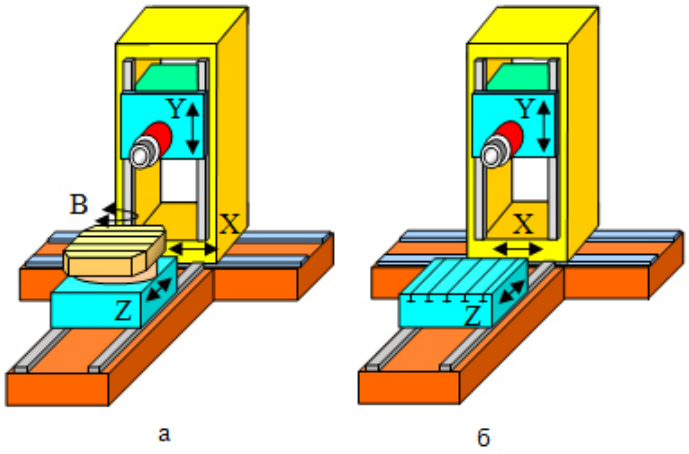
4. ОБЪРНАТИ Т-ОБРАЗНИ КОМПОНОВКИ

Това са сравнително нови компоновки (фиг.3 и фиг.4). При тях движението по ос Z се изпълнява от шейната, носеща заготовката. Използва се при машините среден типоразмер. Производителите ги предпочитат все по-често, тъй като имат съществени предимства,

свързани с АСИ и АСЗ. Отсъствието на координатно преместване на колоната по ос Z способства за намаляване на времето „от стружка до стружка" при АСИ, а наличието на незаето пространство около шейната Z (челно и две странични) дава свобода за различни конструкторски реализации на системата за АСЗ.



Фиг.2. 5-координатна компоновка с Т-образно тяло



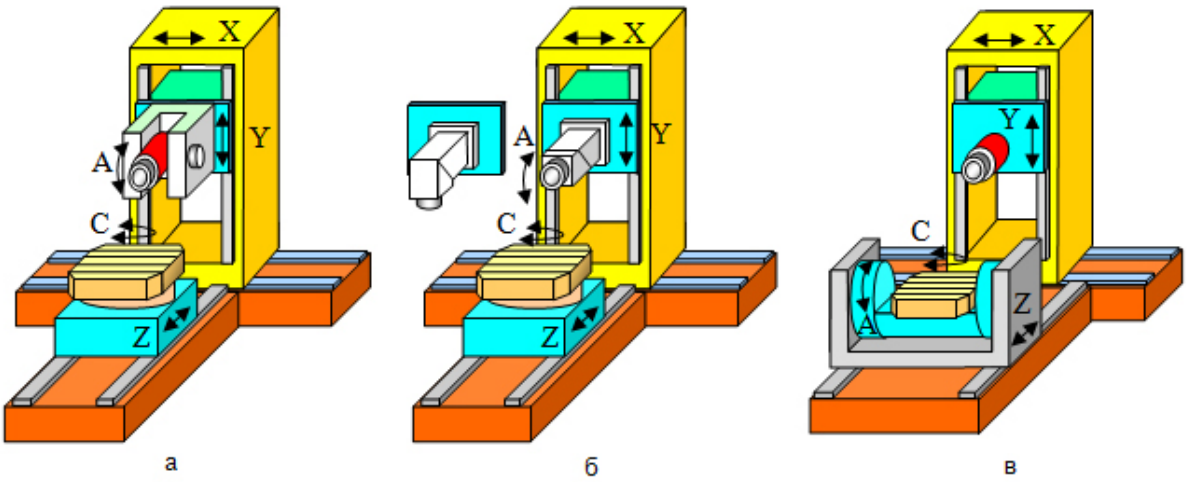
Фиг.3. 4- и 3-координатни обърнати Т-образни компоновки

4.1. 4- и 3-координатни компоновки

Компоновката с ВМ по ос В е 4-координатна и се реализира при редица ХОЦ (фиг.3а) [4,7,13,17,19,20,21,22]. В противовес на нея е показаната на фиг.3б [13] компоновка, в която ВМ отсъства. Така е реализиран редкият случай в практиката- 3-координатен ХОЦ.

4.2. 5-координатни компоновки

Изпълняват се в три варианта. При първите два (фиг.4а и б) петата координата се реализира от вретеното. На фиг.4а то е наклоняващо се [17], а на фиг.4б е във вид на ъглова вретенна глава [13]. И в двата случая положението на вретеното от хоризонтално може да се променя до вертикално. По-универсалното решение е това на фиг.4а, изпълнява се обикновено като NC-координата и се използва по-често. Ъгловата вретенна глава на фиг.4б често се предлага в индексиращ вариант, което автоматично превръща машината в 4+1 координатна.



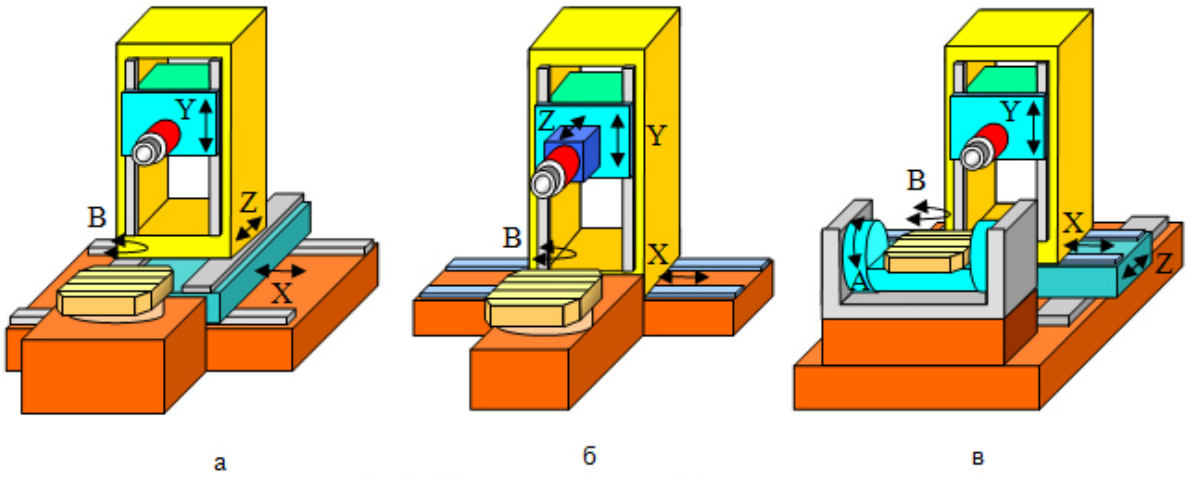
Фиг.4. 5-координатни обърнати Т-образни компоновки

При третия вариант кръговите оси са реализирани от комплект ВМ+НМ (НМ-наклоняваща маса). Компоновката на фиг.4в е предпочитана при по-малките типоразмери [23,24]. Дава свобода при конструирането и разполагането на вретенния възел, но налага известно ограничение върху конфигурацията и разполагането на система за АСЗ.

5. КОМПОНОВКИ С НЕПОДВИЖНА МАСА

При тях заготовката не извършва движения по осите X, Y и Z, поради което са подходящи за машини по-голям типоразмер. В някои случаи се предпочита оформянето на машината като отделен модул, включващ работните органи, които се движат по транслационните оси. Това дава свобода на потребителя в избора му на конфигурация на възела, съдържащ масата. Поради тази причина компоновката е подходяща за гъвкави автоматизирани модули и системи-притежава висока степен на независимост от спецификата на системата за транспортиране на заготовките.

Компоновката на фиг.5а е 4-координатна и се използва в компоновките от горния сегмент на средния типоразмер [13,25]. Аналогична на нея е показаната на фиг.5б компоновка, при която движението по ос Z се изпълнява не от колоната, а от пинолата на вретеното [17,26]. Компоновката на фиг.5в е 5-координатна, като кръговите оси (A и B) са реализирани от комплект BM+HM [8,27,28].



Фиг.5. Компоновки с неподвижна маса

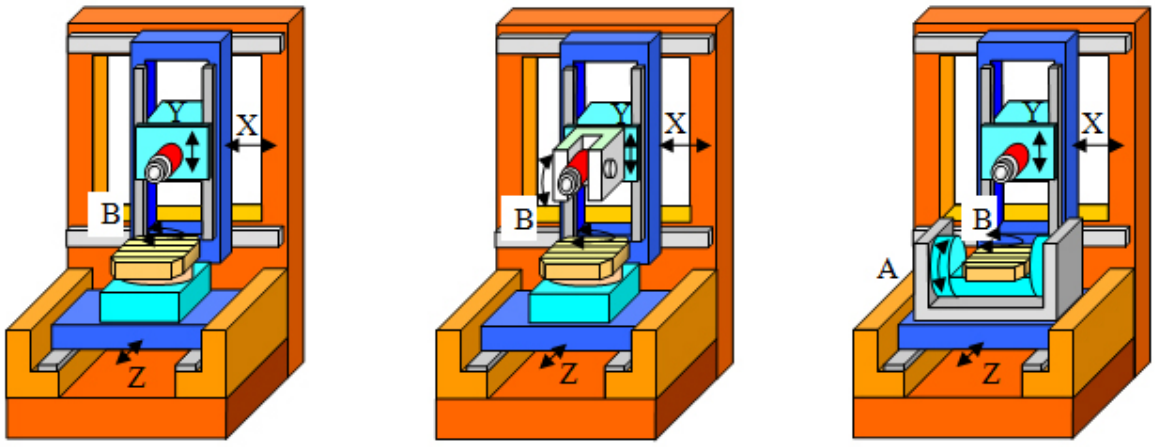
6. КОМПОНОВКИ „BOX-IN-BOX”

Най-новите компоновки са тип „Box-in-Box” (фиг.6). При тях колоната и шейната X имат специално изпълнение във вид на рамка. Това придава на колоната предимствата на портала-съпротивителният момент на напречното й сечение W_Z е значително по-голям, отколкото при обикновената колона, което намалява както собствените й деформации, така и завъртането в съединението „колона-тяло”. Шейната X се движи по колоната по направляващи с голяма база (разстояние между тях), благодарение на което се създават условия за съществено намаляване на еластичното завъртане в подвижното съединение „шейна X-колона”. По аналогичен начин голямата база на направляващите осигурява висока стабилност на съединението „шейна Z-тяло”. Всичко това спомага за повишаване на общата стабилност и прави компоновката подходяща за работа с повишени показатели на точността и производителността. Допълнително предимство, но не по-маловажно, е възможността за конструктивно реализиране на принципа за задвижване на шейните през техния ЦТ, което намалява нивото на трептенията на носещата система в периодите на ускоряване/забавяне. Благодарение на това компоновката е предпочитана при изграждане на високоскоростни машини.

Компоновките „Box-in-Box” се реализират като 4-координатни (фиг.6а) [27,29] и 5-координатни- с BM (ос B) и наклоняващо се вретено (ос A) (фиг.6б) [13,19,30] и с комплект BM+HM (съответно оси B и A), разположен върху шейната Z (фиг.6в) [27,29].

7. КОМПОНОВКИ СЪС СТРАНИЧНО РАЗПОЛОЖЕНИЕ НА ВРЕТЕННАТА КУТИЯ

Вретенната кутия е разположена странично на колоната по подобие на конвенционалните хоризонтални пробивно-разстъргващи машини (фиг.7) [12,13,31]. Това дава предимство при голямогабаритните и уникалните ХОЦ, например, към вретенната кутия се монтира кабина и двете извършват общо транслационно движение по ос Y, което дава възможност на намиращия се в кабината оператор на машината удобно да наблюдава, настройва и коригира процеса на рязане.

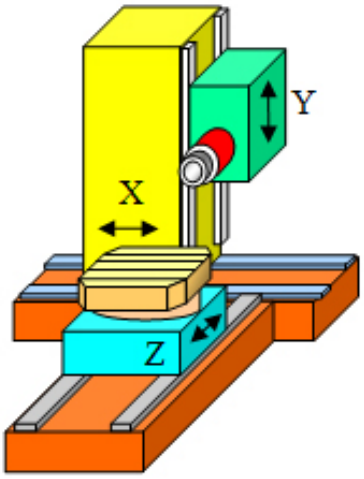


а б в

Фиг.6. Компоновки „Box-in-Box"

8. КОМПОНОВКИ ЗА СУХА И КВАЗИСУХА ОБРАБОТКА

Главната характерна особеност при тях е наличието на НМ или комплект ВМ+НМ, позволяващи при обработване заготовката да заема странично или обърнато положение, и разположен под тях широк отвор в тялото за събиране на падащата по гравитационен път стружка [2,23,24] (фиг.8).



Фиг.7. Компоновка със странично разположение на вретенната кутия

9. ДРУГИ КОМПОНОВКИ

Съществуват и други компоновки, които се използват рядко при ХОЦ, макар и да са сред най-използваните при вертикалните ОЦ. Едни от тях са компоновките с кръстата маса. Изпълняват се в 3-координатен (фиг.9а) и 4-координатен (фиг.9б) вариант [13]. Тайванската TaChen [13] предлага класическа компоновка на ВОЦ с кръстата маса, при която странично на колоната е разположена вретенна кутия с хоризонтално вретено.

10.РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

В течение на няколко десетилетия и до днес Т-образната компоновка запазва своята актуалност, най-често използваната от производителите е и може да се нарече „класическа" за ХОЦ.

Все по-често в практиката се налага обърнатата Т-образна компоновка, която дава широки възможности за свободен избор на конструктивен вариант и разполагане на системата за АСЗ.

Компоновката с неподвижна маса позволява органите на машината, извършващи работните движения, да се оформят в отделен самостоятелен модул, който лесно се приспособява към конкретиката на възела, носещ заготовката.

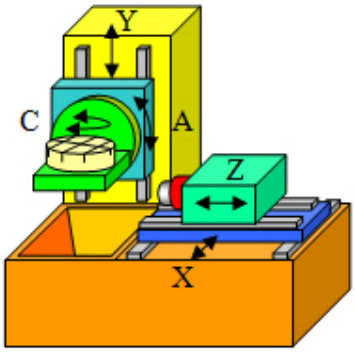
Компоновката „Box-in-Box" осигурява много висока обща стабилност на носещата система и поради това е предпочитана при машините, съчетаващи висока точност с висока производителност, в частност- за HSM.

Компоновката със странично разположение на вретенната кутия се използва основно при голямогабаритните и уникалните машини.

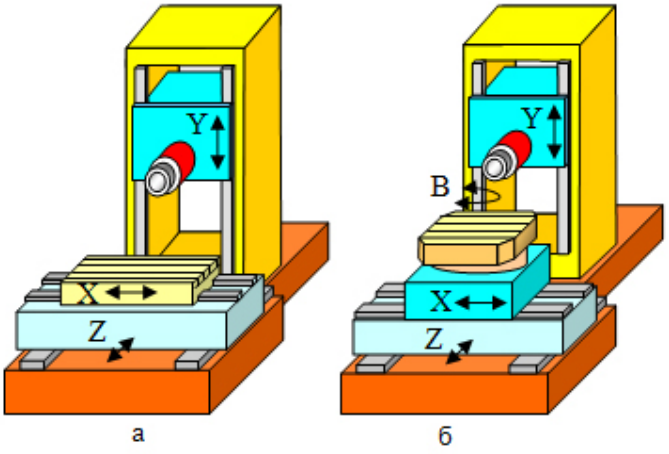
Компоновките за суха и квазисуха обработка намират все по-широк дял в производствените листи предвид нарастващия интерес към този нов вид стратегия на обработката чрез рязане. Характеризират се с възможността за странично и/или обърнато положение на заготовката по време на рязане и широк отвор в тялото за събиране и последващо бързо отвеждане на стружката извън машината.

Използват се и други компоновки. Една от тях е компоновката с кръстата маса, която е класическа при вертикалните ОЦ, но при ХОЦ има слабо изразено присъствие.

Повечето компоновки имат 4- и 5-координатни изпълнения. Кръговата четвърта координата се постига чрез ВМ по ос В. В 5-координатните изпълнения кръговите оси се реализират чрез



Фиг. 8. Компоновка за суха и квазисуха обработка



Фиг.9. Компоновки с кръстата маса

ВМ и наклоняващо се вретено, ВМ и ъглова вретенна глава или комплект ВМ+НМ.

11.ЗАКЛЮЧЕНИЕ

11.1. Извършена е класификация на компоновките на едновретенните хоризонтални обработващи центри, предлагани в актуалните производствени листи на производители от различни страни и региони на света.

11.2. Най-често използваните компоновки за изграждане на хоризонтални обработващи центри са Т-образната, обърнатата Т-образна, с неподвижна маса, „Box-in-Box", със странично разположение на вретенната кутия, за суха и квазисуха обработка.

11.3. Най-често използваната е Т-образната, която може да бъде наречена „класическа" за хоризонталните обработващи центри.

ЛИТЕРАТУРА

1. www.stankoinform.ru
2. www.ugrinov.com
3. www.gildemeister.com
4. www.mazak.com
5. www.makino.com
6. www.hyunday-kiamachine.com
7. www.doosaninfracore.co.kr
8. www.stanok-mte.ru
9. www.hurco.com
10. www.emag.com
11. www.starragheckert.com
12. www.pama.it
13. www.machinetools.net.tw
14. www.alesamonti.com
15. www.miltronics.net
16. www.innse-berardi.com
17. www.izts.ru
18. www.spinner.eu.com
19. www.mandelli.com
20. www.haascnc.com
21. www.lena.bg
22. www.kitamura.com
23. www.hueller-hille.com
24. www.horkos.co.jp

25.www.bpt.com
26.www.sugino.com
27.www.mag-ias.com
28.www.willemin-macodel.com
29.www.moriseiki.com
30.www.gig-ant.com
31.www.kondia.com

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

доц. д-р инж. Пламен УГРИНОВ
катедра „Енергетика и машиностроене” при КЕЕ към ТУ-София,
България, София, Студентски град, бл.16, (тел. 0895-58-99-54)
e-mail: ugrinov_mmcpu@yahoo.com, web-site: www.ugrinov.com.

РОБОТИЗИРАНИ СИСТЕМИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОИЗВОДСТВОТО

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

THE ROBOTS ARE COMING - ARE WE READY TO MEET THEM? STATUS AND DEVELOPMENT OF THE TRINITY "MAN-TECHNOLOGY-ROBOT"

Veselin PAVLOV Ivan AVRAMOV

Abstract: *The dynamics of development in robotics shows the man will be surrounded by robots, assisting him in house and daily work as well as in the community activities in very near future. This makes it necessary to adopt new relationships and laws to technically advanced and highly technological societies.*

This study is on the trinity status "human-robot-technology" marking some typical stages of its development. Important social issues, such as: "fear of robots" and "hope for better human live", assuming the future changes in thinking and actions of the "new 21-th century man", which will have a high technologies and reproductive intelligent robots, are also discussed.

Key words: *human, robot, technology, the trinity status, reproductive intelligent robots.*

РОБОТИТЕ ИДВАТ - ГОТОВИ ЛИ СМЕ ДА ГИ ПОСРЕЩНЕМ? СЪСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ НА ТРИЕДИНСТВОТО „ЧОВЕК-ТЕХНОЛОГИЯ-РОБОТ"

Веселин ПАВЛОВ Иван АВРАМОВ

Резюме. *Динамиката на развитие в роботиката показва, че човекът в много близко време, ще бъде заобиколен от роботи, помагащи му в ежедневната работа, в дома, и в обществената дейност. Това налага да се приемат във високо технологичните общества нови отношения и закони.*

В настоящата работа се представя състянието на триединството ***„човек-технология-робот"****, като са маркирани също така и някои характерни етапи от това развитие. Дискутират се такива важни социални и етични проблеми, като например: страхът от роботите и надеждата за по-добър живот на хората, като се приема още, че ще настъпят промени в мисленето и действията на „новия човек на 21- ия век", който ще разполага с високи технологии и с репродуктивни интелигентни роботи.*

Ключови думи: *човек, робот, технология, триединство, репродуктивен интелигентен робот.*

1. УВОД

Проблемът за състоянието и развитието на *триединството* - ***„човек-технология-робот",*** който с публикуването на тази работа си поставяме, е твърде общ, но много важен. Той засяга широк спектър от технически и социални страни на човешката дейност в условията на технически развито високотехнологично и роботизирано човешко общество на близкото бъдеще. Триединният проблем не подлежи на строги тълкования и доказателства и затова той се нуждае от проверката на времето.

Ние сме убедени във водещата роля на човека (както в рамките на лансираното тук триединство, така и извън него), по отношение на собственото му развитие, и така също, по отношение на това, което го заобикаля. Затова ние искаме, да подготвим обществото за събитията, които му предстоят, за да бъдат посрещнати с по-малко негативни последици за човека и природата, новите предизвикателства.

Осъзнаваме също, че ако сме добре подготвени, ще консумираме по-малко загуби като индивиди и човешка общност. Съществува възможност, като държава да се държим на „*гребена на вълната*" на техническия прогрес, като извлечем ползи от това. За да не ни подмине, или отнесе „*вълната на прогреса*", е необходима сериозна предварителна подготовка, не само на научната и инженерна общност, а и на всички хора по света, тъй като много скоро обществото ще се развива *„в среда от умни машини"* (или още, *„в среда от роботи*"), силно развито *генно инженерство* и повсеместно използване на *нанотехнологиите*.

В тези условия, възможностите на човешкия индивид, както да създава, така и да руши, ще бъдат неизмеримо по-големи. Ако за създаването на опасните оръжия за масово унищожаване (ядрени, химични и биологични), се изискват големи капиталовложения, които са по възможностите само на големите и силно развити държави, то в близкото бъдеще, възможности да създават „*опасни оръжия*" ще имат и по-малките държави и човешки общности, тъй като *съвременните оръжия ще са базирани главно на знанията и ще бъдат несравнимо по-евтини*.

Има редица дискусионни неща, свързани с началото, произхода и ролята на човека, както и по въпросите за неговите постижения и неудачи, които го съпътстват в течение на епохите и вековете [2].

Естествено, възникват следните любопитни и същевременно, научно значими въпроси, като например:

- *Как се създават откритията и каква е ролята на човека?*
- *Има ли „външна намеса" (напр. на други цивилизации, или Бог), които да управляват и контролират процесите на Земята?*
- *Какво знае днес човекът и какво му се предоставя да знае в бъдеще?*
- *До каква степен, човекът е зависим в мислите и действията си, и ако има някаква външна намеса, какво той може да промени?*

Въпроси с такъв общ характер могат да се поставят още много, но авторите няма да ги дискутират на този етап.

Като специалисти, взели участие в развитието на съвременната роботика (основно с публикации), авторите имат квалификацията и претенциите, че могат да оценят темповете и тенденциите в развитието на съвременната роботика и нейното бъдеще, както и отражението, което тя днес и в бъдеще ще има към отделния човек, към човешкото общество и към заобикалящата го природа.

Натрупаният житейски опит дава възможност да се проследи историческото развитие на роботиката, да се оцени състоянието и бъдещето на *емблематичното триединство „човек - технология - робот",* да се споделят страховете от негативните последствия на роботиката и да се прогнозират възможностите за положителното й въздействие при създававане на адекватни взаимоотношения между *„новия човек и умния репродуктивен робот".*

В анализа, оценките и прогнозите, отразени в доклада ни, са използвани също интересни публикации и интернет представяния на други автори по света [1], [2], [3], [6].

2. ЗАЩО В АНАЛИЗА СЕ ИЗПОЛЗВА ТРИЕДИНСТВО ОТ „ЧОВЕК–ТЕХНОЛОГИЯ-РОБОТ"?

Схващането ни за триединството не е породено от идеите на Библията, или от нумерологията, въпреки че, значението на *числото „три"* е било използвано още в древността от много изследователи *при формулиране и потвърждаване на нови научни идеи и хипотези*. Приема се, че триединната връзка е естествено обоснована и нейното разкъсване би довело до изваждане на проблема от реалната среда (т.е., до деобективизирането му).

Накратко, нашата гледна точка е следната: *трите компоненти на триединството - човек, технология и робот* се представят и развиват в *балансирана взаимовръзка*, като на този етап, приблизително може да се приеме една тяхна *непълна равностойност.*

- ***Човекът,*** логично се поставя в *основата на трикомпонентната структура*, защото той и досега си остава вероятно „*най-съвършеното произведение на дългогодишната човешка еволюция".* Ако приемем някои от многобройните и екстравагантни научни теории и хипотези, човекът би могъл да бъде „*един много съвършен биологичен клонинг",* реализиран от своя *„неизвестен създател"* [4].
- ***Роботът (на близкото бъдеще),*** заема достойното място, близо до човека, тъй като е справедливо да се отбележи, че роботът би могъл да бъде „*най-съвършената и високоинтелигентна известна ни досега машина*", която Човекът, по подобие на „Бог", от

хилядолетия мечтае „*да сътвори от заобикалящата го мъртва природа*". Засега може да се заяви категорично, че през 21-вия век тази човешка мечта се сбъдва във висока степен. На този етап се приема, че научната област, определяна като „*роботика*", освен всичко известно и казано за нея досега, е един, „*небиологичен (респ. изкуствен) път за инженерно клониране"* на най-важните механични, управляващи, сензорни, интелектни и поведенчески функции на човека, вкл. и на част от заобикалящия го животински свят.

- ***Технологията,*** представлява „*екстракт и есенция на многогодишното човешко познание и човешките практически умения",* натрупани, съхранявани и доразвивани в многолетната еволюция. Технологията е също така, *обобщен израз на човешкия инструментариум* (технически и интелектуален), чрез който човекът, в течение на епохи и хиляди години, изучава и променя заобикалящия го свят. Затова, технологията следва да заеме мястото на „*необходимата среда–посредник*" между човека и робота, и в този смисъл, тя е задължителната *трета основна компонента на триединството.*

Пояснявайки връзките между трите компомененти, се забелязва, че взаимното влияние и взаимодействие между всяка от тях поотделно, *е двустранно*, като човекът може да влияе както на технологиите, така и на роботите, като последствието е свързано със значително разширяване на възможностите и знанията на човека. Взаимовръзката между технологиите и роботите е исторически най-старата, но и в днешно време тя трудно може да се разкъса.

Нов момент в доклада, е отчитането на *директната връзка между човекът и „умният, репродуктивен робот",* с което лансираната триединна структура напълно се затваря. Спорен е въпросът обаче, дали тази директна връзка винаги и реално съществува, и дали тя е видима на този етап. Според нас, значението на „директната връзка", вероятно ще играе изключително важна роля за хармоничното развитие на новия човек и човешкото общество, което ще бъде базирано и на репродуктивните интелектни роботи.

3. КРАТКА ДИСКУСИЯ ПО ОСНОВНИТЕ СТРУКТУРНО ОПРЕДЕЛЯЩИ ЕЛЕМЕНТИ НА ТРИЕДИНСТВОТО

Тази дискусия ще се проведе по следните *три основни въпроса*, въпреки че, и други подобни въпроси ще са основателни:

3.1. Защо в основата на лансираното триединство е поставено обобщеното понятие „човек", а не „човек - учен и/или инженер"?

Ако изключим свръхестествените сили, човекът, изучаващ и усвояващ всичко материално и нематериално, което го заобикаля, и досега си остава основния фактор и движеща сила, определяща собственото му развитие. Ролята му е опрделяща като индивид и като общност.

Върху човешката дейност изключително влияние оказва средата, в която човекът се ражда и развива (обучава, възпитава и твори). Високо технологичното и роботизирано общество на близкото бъдеще, ще вляе върху формирането на новия човек и повсеместно ще го съпътства в неговата индивидуална и обществена дейност, независимо от това, с какво той се занимава и какво е нивото на професионалната му подготовка, която той има (дали човекът е работник, техник, инженер, лекар, полицай, пожарникар, социален работник, музикант, композитор, художник и др., няма да бъде съществено). Учените и инженерите ще създават *високо интелектуалните продукти,* част от които ще се *репродуцират* (предполага се, че това задължително ще става в контролирани граници) и тези продукти, масово ще навлизат в човешкия бит и във всички останали човешки дейности. Общуването с подобни високо интелектуални продукти, ще засегне цялата човешка общност и затова, ще трябва много бързо да се изгради връзката между *„човека и умния репродуктивен робот",* така че, като едно цяло, съжителството да се окаже позитивно.

3.2. Защо технологията е важна свързваща компонента на триединството?

Знанието, което отдавна е сърцевината на човешкото творчество и съзидание, засега се отъждествява главно с термина „*технология*", разглеждана във всичките нейни теоретични, дидактични и приложни аспекти (индустрия, медицина, социална, културна, военна, пожаро-охранителна, спасителна и полицейска дейности). В бъдещото технкратско човешко общество, този термин ще бъде все по-широко застъпван, защото освен знанието, той съдържа в себе си и една *прагматична, изразителна и целесъобразна последователна подредба на натрупаното човешко знание*, като подобна „*подредба на натрупаното човешко знание*", осигурява също постигането на нови полезни резултати, очевидно, „базирани знанието".

3.3. Защо се използва в лансираното триединство термина „робот", а не „умната", и/или „високо интелигентната машина"?

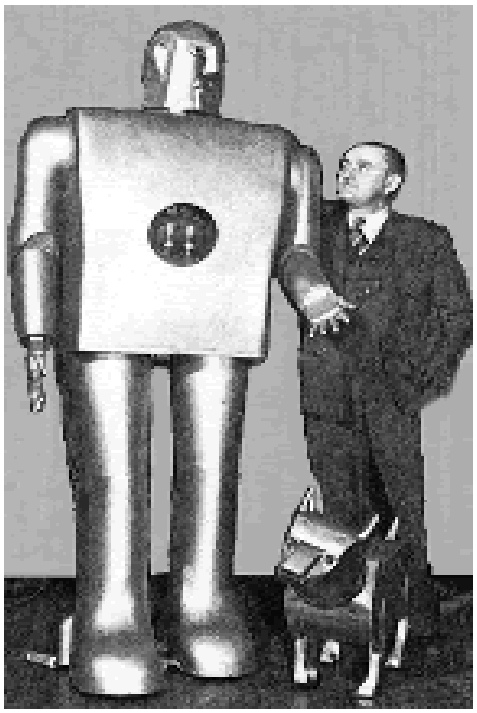
Желанието на човек да създаде първоначално *механичен (или изкуствен) човек,* датира още от древността, докато понятието „***робо***т", както е добре известно, за първи път се използва от чешкия писател Karel Capek в пиесата *R.U.R.*(Rossum's Universal Robots) през 1921 г. Малко по-късно, германският филмов деец Fritz Lang, създава своя филм за бъдещето, наричан "*Metropolis".* В сюжета на този филм е включен и образа на красив домашен робот, наречен „*Мария*".

На световно изложение през 1939 г. в New York, американската фирма *Westinghouse* ,представя робот (наречен „Elektro"), приличащ много на човек, заедно с неговото куче, наречено „*Sparky*".

На представената по долу черно-бяла снимка, може да се забележи една хипотетична, екстравагантна и крайно неприемлива за бъдещето възможност, при която, човекът е застанал между големия и силен хуманоиден робот и между малкия „робот-куче". Тази емблематична историческа снимка отразява някои сравнения не само в ръстта на трите обекта, но вероятно тя прави и някои емоционални и интелектуални внушения. Нашето виждане по този въпрос е, че подобен сюрреалистичен сценарий, не бива да се допуска в скоро време, но също и в по далечното бъдеще.

От казаното по-горе, може да се приеме, че това са едни от ключовите исторически фактори, които окончателно утвърждават в международен план **терминът „робот".** Опити за замяна на този термин са правени и продължават да се правят и сега, като все още се използват и *заместващи термини,* като: *„умни машини", „интелигентни машини", „железен човек", „андроид"* и мн. др. Според нас е невъзможно, терминът „робот" да отмре в близкото, а и в по-далечно бъдеще, главно поради факта, че чрез емблематичния термин „робот", кратко, ясно и събирателно се набелязва една нова и реална възможност за техническо сътворяване и възпроизводство на аналози на обекти от живата природа (засега, накратко и може би не много сполучливо, на български език те са наричани „***биологично инспирирани интелигентни роботи***" (***Biologically Inspired Intelligent Robots*** [9]). Очаква се в скоро време да бъде предложен подходящ български термин, или отново, да се наложи смислово англииския термин.

Животът показва, че роботът отдавна съществува в много форми и изпълнява разнообразни функции, като например: забавление, обучение, индустрия, медицина и почти всички човешки дейности. Нещо повече, термина ***„робот"*** е така широко навлязъл в живота ни, че в някои случаи *той се преекспонира и неправилно употребява* (например, в последно време, в криминалистиката неправилно се назовава с термина *„фоторобот*", изкуствено създадения фото образ на човек, който подлежи на проучване и издирване).



4. СЪСТОЯНИЕ, РАЗВИТИЕ И БЪДЕЩЕ НА ТРИЕДИНСТВОТО

Никой в днешно време не си представя съвременна индустрия без роботи, независимо от това, какъв е продукта, който се произвежда [7]. Постигнати са сериозни резултати за *приложението на роботите в медицината* (хирургични операции, рехабилитации, протезиране и помощ на инвалидите и мн. др.), като в скоро време, *няма да е възможно съвременно медицинско обслужване без участието на роботи.*

Очаква се, във военните действия в Афганистан да се използват над 1000 робота, или по-точно, «роботизирани оръжия».

От няколко години в продажба е *автономната мобилна прахосмукачка-робот «Румба»,* а за други нови видове роботи, предназначени за домашни дейности, няма да се чака дълго.

Япония, която е родината на популярната в близкото минало в България детска игра, наричана «Тамагочи», се очаква много скоро да пусне на пазара нови роботи-играчки, очаквани любимци на децата. Вероятно, това ще бъдат силно подобрените и значително по-евтините версии на «робота–куче» и «робота–мече» на фирмата Sony.

В игрите и образованието, делът на роботите все повече ще нараства. Роботиката вече се включва в „*топ 10–та на професиите*", по които в скоро време трябва да се провежда по-масово и организирано обучение. Могат да се посочат и други любопитни примери, показващи ни «в действие настъпващата роботика», но може би по-съществено е, да се отбележи сега и прогнозата на Бил Гейтс, а именно, ***че «през 2020 година се очаква производството на роботи да надмине това на автомобилите», като самите автомобили, вероятно ще се превърнат в «специален клас от автономни мобилни роботи».***

Безспорен е факта, *че три са направленията,* в които е насочен човешкият научен потенциал през настоящото столетие на 21-ия век – ***роботика, генно инженерство и нано технологии***. Сериозен конкурент на роботиката е *генното инженерство*, още повече, че според редица хипотетични твърдения [2], преди много хилядолетия, хората от сегашната цивилизация са били вероятно генетично синтезирани (или клонирани) от съществуващи тогава на Земята себеподобни или по-низши биологични видове По този начин, по всяка вероятност, е била ускорена еволюцията на човека и той много бързо се е превърнал в «образ и подобие на своя създател».

В близкото бъдеще се очертава следната тенденция: роботизираните индустрии да се конкурират силно помежду си не само в чисто прагматичен смисъл, но и по отношение на ефективното използване на такива пределно общи философски категории като: *„материя, енергия и пространство"*.

Освен това, биологичните видове ще бъдат притиснати от много нови обстоятелства, като в тази насока се разглеждат засега ***двете крайни тенденции за бъдещето на роботиката*** [2]:

- ***"robo–fear"*** (страх от бъдещето развитие и свръх-развитие на роботиката);
- ***"robo–hope"*** (надежда за по-добро бъдеще чрез ускореното развитие на роботиката).

4.1. В какво направление ще се развиват „човешките страхове" от роботиката?

Ако допуснем, че още през настоящата година, военните получат 1000 робота, то *по законите на прогресивно нарастване на повечето масови артикули*, през 2020 година военните ще трябва да разполагат с около 1 000 000 роботи, предназначени за военни цели [2]. Това драстично ще промени структурата на армиите и начина на водене на военни действия [8]. Потребността от работници за военните производствата и от войници за армията ще намалее.

Какво ще стане с излишния в тази сфера човешки потенциал ?

При сегашните темпове на развитие, един интелигентен робот, който ще може да репродуцира свои копия, вероятно ще бъде произведен до 2030-2050 година. Дори да се приеме стратегията за *контролирано еволюиране на копията*, отново стои въпроса за предпочитанието ни: „*човек, или робот*".

Несъмнено, човекът ще продължи да управлява персоналните си машини, като: кола, компютър, личен робот. Управлението на големите „*системи от машини*", в това число на „*роботите за военни цели*", вероятно ще се окаже в ръцете на малка група от хора (управляващ технократски елит), който ще взема отговорните решения. Обикновените хора няма да могат сами да изключват машините, а още по-малко *„системите от машини*", защото на практика, те ще са много зависими от тях и изключването им ще е равно на самоубийство.

Тогава стои въпросът: *„какъв „тип елит" да се култивира от човешкия потенциал"? Какви са възможностите тук?*

- *Безкрупулен (коравосърдечен),* който изтребва масата от хора по Земята и остава само толкова от тях, които са необходими за собственото си възпроизводство.
- *Хуманен (сърдечен), който* хуманно намалява раждаемостта на хората в съответствие с потребностите за запазване на генетичния потенциал (ако между впрочем, не се култивира идеята за управляване на този процес чрез средства на генното инженерство).
- *Дружелюбен (мекосърдечен),* при което *елитът*, образно казано играе ролята на *„пастир на по-голяма, или по-малка група от хора"*, като в този случай, биологичните видове се оставят да се развиват и усъвършенстват еволюционно, спазвайки законите на природата.

Много изследователи считат, че най-непредвидими са *трите водещи засега технологии на 21 век – роботика, генно инженерство и нано технологии* [2]. Те могат да се окажат далеч по-опасни от предходните технологии на 20-тия век, тъй като една бомба от 20-тия век може да се взриви „само един път", а един репродуктивен робот, може „*да излезе извън контрол*" и сам да възпроизведе безброй свои копия.

Образно казано, всяка от трите споменати по-горе съвременни технологии на 21-ия век, може „*да хвърли хайвера си*" в нови класове злоупотреби, злополуки, и катаклизми, които да бъдат далеч по-опасни от известните ни технологии на 20–тия век, каквито все още са

ядрените, биологичните и химични бомби. Опасното на новите технологии на 21-вия век е, че те са *базирани изключително на знанието* и за тях не са нужни тежки съоражения, редки суровини и големи капиталовложения. По тази причина, както положителните (полезните) така и отрицателните (вредните и опасните) технологични продукти, могат да се създават и от по-малка група хора. Трябва обаче, човекът и обществото и преди всичко управляващия елит, да се подготвят за избягване на вредните продукти и негативните последствия от развитието на *трите водещи технологии на 21-ия век*, така че, както бомбите на 20–тия век, въпреки обстоятелствата, не успяха да унищожат човека, човешкото общество и природата на на Земята, така и негативните последствия от новите технологии на 21-вия век, е възможно да се предотвратят. Всичко тогава ще бъде „в ръцете на човека", подчинени и на неговите морални и етични качества, при което се очаква, волята на човека да бъде насочвана и използвана за развитието на новите технологии за придобиване на лична и обществена полза.

Отчитайки факта, че Вселената е пределно широка и необозрима, човешкият потенциал може да бъде насочен за нейното опознаване и овладяване, вместо да се следва по лесния, но грешен път на „*човешкото самоунищожение*".

Досега човечеството винаги е намирало изход от възникващите локални и световни войни и катаклизми. Проблемът е, че с предоставянето на технологиите в ръцете на малък елит от хора, се осигуряват все по-големи възможности и се повишава вероятността от възникване на конфликти с мащабни и даже планетарни поражения.

Ето защо, все по-важно е да се усъвършенства и хармонизира триединството „*човек-технология–робот* и по-точно, да се повиши ролята и отговорността на човека при създаване на новия клас машини - „*биологично инспирираните машини - аналози", включващи и биологично инспирираните интелигентни роботи* [9].

4.2. Светлата страна в развитието на роботиката и нейната роля за по-доброто бъдеще

Като всяко нещо в природата, и роботиката си има своята *светла и тъмна страна*. Още повече, че досега сме видели повече *светлата страна на роботиката*, а нейната *тъмна страна,* е само в прогнозите ни.

Няма съмнение, че роботите имат изключително голяма заслуга за развитието на индустриалните технологии, а технологиите от своя страна, допринасят за усъвършенстването, подобряване на качествата и възможностите на роботите.

Както отбелязахме вече по-горе, роботите постепенно се превръщат в незаменими и отлични помощници на лекарите, особено, при изпълнение на безкръвните, прецизни и сложни хирургични операции. В подкрепа на казаното, отбелязваме също, че от няколко години, вкл. и в България, в хирургията се използва известния по света телеуправляем робот, наричан „робота Da Vinci".

В борбата с различните видове инвалидности, роботиката също е един ценен помощник, която осигурява предпоставките и условията за появата и развитието на съвременните адаптивни и интелигентни протези, ортези, изкуствени крайници и изкуствени органи.

Нещо повече, някои хора вече искат да разширят своите човешки възможности, ползвайки се от достиженията на роботиката (физически и интелектуални). Например, възможно е имплантирането на технически средства в тялото на живия човек, които средства в общи линии са познати и използвани предимно в роботиката. Това има връзка и с идеята за превръщането на хората в „*хора-роботи*", т.е. в киборги (cyborgs), при което, част от биологическата същност на човека се заменя с нов тип *робототехнически компоненти и принципи*. Във фантастичните филми, а и при някои изследователи, битува идеята, че в следващото, или по-следващото столетие, *роботите-хуманоиди и хората-киборги,* ще се срещат и ще си общуват помежду си чрез следните примерни въпроси: «*ти човек-киборг ли си, или си истински робот».*

Отбелязахме вече по-горе, че сериозно направление в развитие на съвременната роботика са т. нар. *биологично инспирираните интелигентни роботи*, което се обуславя от факта, че в хилядолетната си история, природата е създала и позволила да оцелеят многообразни и уникални биологични видове, които по определени показатели, многократно превъзхождат възможностите на човек. В подкрепа на това, могат да се дадат много примери, например такива, свързани с начините и режимите на двукрако и многокрако придвижване в различните екстремални условия и в условията на променливите и неподредени външни среди, в начините на трансформация на енергията и също в реализацията на ефективните мускулни задвижвания, във възприятията и прецизните действия върху динамично изменящата се външна среда и мн. др.

Хората, упражняващи военни и полицейски дейности, и сега предпочитат да обезвреждат взривни устройства с роботи, а защо не, когато е възможно, те напълно да ги заместят в конфликтни и терористични ситуации. Логичен е тук въпросът, *докъде „доброто и злото" е все още в ръцете на човека, ако изключим влиянието на свърх естествените сили ?.*

Нашата *сегашна много кратка прогноза за бъдещето на роботиката*, макар и тя да изглежда малко декларативна, е следната*:*

Роботите на близко бъдеще ще са тотално навлезнали в живото ни - в индустрията (чрез новите видове роботи, имащи разширени възможности), в домовете ни (за почистване, готвене, охрана, забавление на деца и грижи за възрастни), в земеделието и животновъдството, в строителството, в минното дело, в болниците и възстановителните здравни заведения, във военните и полицийски дейности, в спасителните операции при условията на природни бедствия и промишлени аварии, в изследванията на океаните и космоса и в още много други области на човешка дейност и в мн. още други области.

5. ОБЕКТИВНИ ПРОМЕНИ В ЧОВЕКА И ЧОВЕШКОТО ОБЩЕСТВО, ПОРОДЕНИ ОТ РАЗВИТИЕТО НА ТЕХНОЛОГИИТЕ И РОБОТИКАТА

Много скоро, роботиката ще бъде навсякъде сред хората - в дома и на работата. Тя коренно ще промени начина на живот на човека, което поражда необходимост от решаването на нови и специфични философски, социални и политически проблеми.

Едно от направленията, където трябва да настъпят съществени промени, по което имаме много добра подготовка, натрупан опит и виждане, е формирането на „*новия човек*". Това може да стане чрез въвеждане на най-съвремени средства в обучението и възпитанието на човека (от раждането му до навършването на пълнолетие) и също, в образованието на човека (което да става през целия активен период). Процесът засега е сложен и неясен, но трябва да се започне и в България отсега, за да не се окаже твърде късно,и както по отношение на много други неща, в страната ни непрекъснато се взаимства и купува чуждия опит.

Специално внимание трябва да се обърне на подготовката на много добри специалисти по роботика. Проучванията ни показаха, че подготовка на специалисти по роботика стои в „топ 10 –сятката", съгласно някои водещи световни класации, като в някои от индустриално напредналите страни, се предвижда разширяването на това обучение да стане още през 2012 г. [5].

При такава постановка, винаги стои въпроса „какви и колко специалисти"?

При глобализацията на икономиката (въпреки, че новите нтехнологии скоро ще променят тази тенденция, наследена от миналия век), логично е да се очакват аналогични процеси и в подготовката на специалисти с висша квалификация. Мястото, което заема страната ни в глобалната икономика, определя засега да се подготвят специалисти с техническа квалификация, които ще могат да поддържат, ремонтират и обслужват роботите, и роботизираните системи (дейности, подобни на поддържката и експлоатацията на автомобилите, компютрите и т.н.).

По друг начин стоят нещата с началното и средно образование на децата и младежите, където роботиката трябва също да намери своето адекватно място, защото в този по-ранен етап се култивират качествата на новия човек. Засега това обучение е предоставено главно на медиите, и също, на желанието на отделните деца и ученици да се самообразоват. Ясно е, че младият човек трябва още от детска възраст да съжителства с новата техника, притежаваща изключителни възможности (каквато, например е роботиката), да търси нейното пълноценно използване и да знае, как подобно съжителството би имало най-малкото вредно влияние върху него.

В рамките на обучените специалисти по роботика, трябва да се потърси отговор и на въпроса, *„какво трябва да искат хората от своя елит, за да се осигурят законовите условия на мирното и продуктивно съжителство на репродуктивните (умни) машини с хората ?.* Трябва да се мисли още и за формиране, образование и възпитание на този елит, който ще има изключително важна роля в решаването на глобалните проблеми на нашия свят.

Още през четиредесетте години на миналия век, американският писател фантаст А. Азимов формулира известните на всички *три закона на роботиката*. Това може да се приеме като начало на законодателството в роботизираното общество. Тези закони имат своето пожелателно влияние, но те не са достатъчни, защото те още не са облечени в правни норми и затова сега те са далеч недостатъчни, за да се предотвратят евентуалните нежелателни колизии между хората и роботите, а така също, между роботизираните държави и такива държави, които не притежават достатъчно модерни роботи.

Тенденциите за прилагане на *аристократичен подход при формиране на елита* (а такива се забелязват), може да доведат до много по-опасни последици от тези, които са се получили в миналите столетия, тъй като в ръцете им ще бъде концентриран далеч по-голям потенциал. Възможностите на един *„човек-смъртен генерал*" с 1000 *„човека-смъртни войници*" и „*човек-генерал",* командващ 1000 „*репродуктивни роботи-войници*", са твърде различни, както за добро, така и за лошо. Въпросът се свежда до това, *каква подготовката и главно мисленето на генерала, командващ „армията от роботи-войници".* Това е само един груб пример, с който искаме да подчертаем, необходимостта от нова политическа воля при изграждането на съвременните високо технологични и роботизирани общества.

Убедени сме също, че човекъ,т много скоро ще създаде своите умни и репродуктивни роботи, но наред с това, той ще трябва да състави и приеме и *законите на тяхното обществено поведение и отношението им към неговите създатели*. Ще трябва още да се разработят технологии и технически средства, които да гарантират невъзможността за евентуалното неконтролирано поведение на роботите. Очевидно е, прогресът не може и не трябва да се спира, но негативните последствия от него ще бъдат по-малки, само когато се предприемат своевременни и адекватни мерки и не се разчита единствено на естественото саморегулиране и на случайностите.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Роботите несъмнено идват и ние трябва да се подготвим, за да ги посрешнем – това е основният и най-кратък съдържателен извод от нашия доклад.

Но за да не прозвучи напълно декларативно това наше твърдение, ще допълним още, че засега единствено човекът може да повлияе на тези процеси, характеризиращи се с *„постепенно настъпваща роботика"* и затова е необходимо да се положат значителни усилия за образованието на човешкия индивид и подготовката на обществото ни.

Очаква се в индустрията, роботите да навлязат главно по линия на *индустриалната глобализация*, т.е. с помощта на фирмите, които ще изграждат новите и модерни производствени звена в страната, при което, те самите, ще донесат високите технологии и съответните им обслужващи роботи.

В армията, полицията и медицината, роботите най-вероятно ще навлязат *по линия на участието на държавата ни в международни организации.* Вероятно, така ще се получи и с роботизацията на другите стопански, нестопански и обществени дейности.

Ролята и възможностите на професионалистите по роботика е, те да направят необходимото за скорошното въвеждане на по-мащабно и по-масово обучение на инженерни и технически кадри и то на всички нива и степени.

Необходими са също известни и навременни усилия на специалистите по роботика *за позициониране на роботиката като една от приоритетните области, в рамките на сравнително малките ресурси, които държавата ни отделя за научни изследвания.* Това може да даде шанс в близкото бъдеще, при определени обстоятелства, държавата ни да завоюва и някои от лидерските позиции в една, или в повече конкретни области на роботиката.

Като част от разумната общност на Земята, хората трябва да се полагат постоянни усилия за хармонизиране състоянието на триединството „*човек–технология-робот*", съответстващо на нивото на технологичното и техническо развитие.

Както изглежда, наложително е да се работи още и за изграждане на *новия човек*, който трябва да бъде „въоражен" с изключително развити технологии, включващи също и репродуктивните интелигентни роботи.

От новия човек на 21-вия век, в значително по-висока степен ще зависят както предотвратяването на опасностите, така и благоденствието на хората. До това благодентстващо състояние може да се стигне като се премине през много катаклизми, но при едно разумно поведение на новия човек, обществото може да ги избегне.

Определено, нямаме друг шанс, освен всички заедно да се подготвим, за да посрещнем *„роботите на днешния ден и на близкото бъдеще*" и още отсега да се започне работа за формиране на *„новия човек, въоръжен с високи технологии и с активни помощници от репродуктивни интелигентни роботи".*

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикуването на този доклада стана възможно благодарение на използваните финансови средства от научно-изследователски договор **№ 102 ни 216-8 /2010** „*Експериментални и симулационни изследвания върху биологично инспиирани движения от хуманоиден тип, с приложения в роботиката и протезирането*", с възложител - НИС – ТУ–София.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Robots, Man and the Future of Education*, (http://lisahistory.net/wordpress/?p=498).
2. *Why the Future is not need*, (http://www.wired.com/wired/archive).
3. Alex Roland, *Technology and War,*(http://www.unc.edu/depts/diplomat/AD_Issues/amdipl_4/roland.html).
4. Хелсинг Ян Ван, *Не пипай тази книга*.
5. *Technological singularity,* (http://en.wikipedia.org/wiki/technological_singularity).
6. *Robots: Future Technologies and How They Will Effect Us*, (http://www.echeat.com/essay).
7. *The Future of Mining – Robotics and Automation*, (http://www.miningman.com/mining-man/2010/06).
8. Singer P. W., *Military robots and the future of war*, (http://www.yutube.com/watch?v=M1pr683SYFk)
9. Bar-Cohen J., C. Breazeal. *Biologically Inspired Intelligent Robots*, Proceedings of the SPIE Smart Structures Conference San Diego, CA, Paper 5051-02, Mar 2-6, **2003**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

проф. д-р Веселин ПАВЛОВ
Технически Университет – София
Факултет „*Автоматика*”
катедра “АЕЗ”, Секция “*Роботика*”
e-mail: vpavlov@tu-sofia.bg

доц. д-р Иван АВРАМОВ
Технически Университет – София,
Факултет „*Автоматика*”,
катедра “АЕЗ”, Секция “*Роботика*”
e-mail: iavramov@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE
13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria
65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

MICROSYSTEMS IN ROBOTICS

Vladimir ZAMANOV **Petar AVRAMOV**

Abstract: *This report has examined the application of micro - electromechanical systems in robotics. Analysis is accurate for micromanipulation, were examined as part of the micro sensor information system of manipulation robots and last but not least are considered as robots with micro sizes increasingly used in microbiology and others.*

Key Words: *Micromanipulations, Microrobots, MEMS.*

МИКРОСИСТЕМИ В РОБОТИКАТА

Владимир ЗАМАНОВ **Петър АВРАМОВ**

Резюме: *В настоящия доклад е разгледано проникването на микро-електромеханичните системи в роботиката. Систематизирани са роботите с микро-размери намиращи все по-голямо приложение в микробиологията, медицината и технологиите. Анализирана е прецизна система за извършване на микроманипулации в полупроводниковите технологии. Разгледани са микросистемите като част от информационно сензорната система на манипулационните роботи.*

Ключови думи: *Микроманипулации, микроботи, МЕМС.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Микрорободотехническите системи са резултат на конвергирането на роботиката, микро електро-механични системи (МЕМС) и нанотехнологиите [1]. Те намират нови приложения в различни области: *индустрия* (микро-асемблиране, -манипулиране, -тестване, -инспекция в прецизната механика, оптиката и електрониката), *медицина* (микрохирургия и теледиагностика) и *изследвания* (клетъчни манипулации и инспекции). Микросистемите в роботиката се реализират по няколко направления:

- микроботи,
- системи за прецизни движения на роботите,
- вграждане на МЕМС компоненти (сензори и актуатори),

които качествено разширяват възможностите на роботите.

2. МИКРО – РОБОТИ

Дефинирането на *микроботи* е възможно при размерни ограничения на различни характеристични параметри на системата: робот, обект и работна сцена [2], определящи качествено нови свойства. Определящите параметри са различни за двата основни вида роботи: *манипулационни и мобилни*.

Микроманипулационните роботи се определят от следните геометрични параметри:

- габарити на манипулирания обект - до 1x1x1 mm,
- размери на работните ходове (работната зона) - 1-10 mm,
- точност (резолюция) на изпълнителните движения – 0,005- 0,0001 mm.

Тази група роботи има десетки индустриални и лабораторни представители с различна структура ма манипулационната система:

- серийни микроманипулатори с 2-3 степени на свобода [3],
- паралелни микроманипулатори с 3-6 степени на свобода [4],
- 2D контактни равнини микроманипулатори [5],
- 3D микроманипулатори с магнитно или хидродинамично задвижване на хващача [5].

Габаритите и масата на самия манипулатор не са определящи и често са големи – до 1x1x1 m.

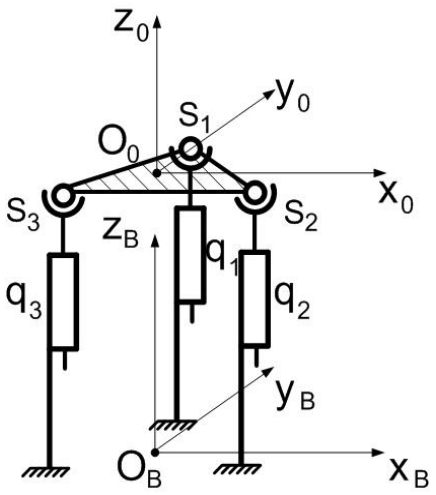
Микромобилните роботи се определят от собствените си габаритни размери – до 10 mm. Притежават двигателна автономност в относително неограничена работна сцена. В по широк план към тях се включват дистанционни сензорни системи движени от естествен поток на средата, както и *минироботи* изградени от микрокомпоненти.

3. ПРЕЦИЗНИ СИСТЕМИ ЗА РЕАЛИЗИРАНЕ НА МИКРОМАНИПУЛАЦИИ

Микроманипулирането на обекти се осъществява от робототехнически системи, които трябва да отговарят на редица изисквания като: ниска податливост, изключително висока кинематична точност, прецизно задвижване и управление. Тези критерии се покриват най-добре от паралелните манипулационни системи, при които ограниченото работно пространство не е недостатък, с оглед на малките премествания, които се реализират.

На фиг.1 е представена кинематичната схема на прецизен 3(TS) сингулярен паралелен манипулатор (PM) [6] с три степени на свобода, който включва основа със свързана координатна система L_B и платформа със собствена координатна система L_0.Връзката между двете звена се осъществява посредством три паралелни групи от активни призматични двоици (q_1, q_2 и q_3) и пасивни сферични стави (S_2 , S_2 и S_3) съответно. Показаната манипулационна система има възможност за извършване на следните движения:

- транслация по вертикалната ос Z на базовата координатна система L_B, която се реализира при едновременни, равни по големина и посока премествания във всяка от трите активни призматични стави,



Фиг. 1. 3(TS) Паралелен манипулатор

- ограничени ъглови завъртания $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$ на платформата (на координатна система L_0 спрямо L_B) съответно около осите x_B и y_B на L_B, които се осъществяват при фиксирано положение в ставата $q_3 = z$ и премествания в ставите q_1 и q_2 спрямо тази стойност. Реализирането на тези завъртания се осигурява от това, че манипулационния механизъм е в сингулярна конфигурация, което преодолява общата му свръх ограниченост Ъгловите премествания се определят от податливостта в механизма при високи предавателни коефициенти. Същевременно за малки отмествания на q_1 и q_2 спрямо q_3, тези приведени премествания са напълно определими.

Съществува явно решение на обратната кинематична задача по положение. Матрицата на положението на координатна система L_0 спрямо - L_B има вида:

$$T_{B0} = \begin{vmatrix} R_{B0} & \rho_{B0} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

където отчитайки малкия размер на завъртанията:

$$R_{B,0}=\begin{vmatrix} 1 & 0 & \Delta\beta \\ 0 & 1 & -\Delta\alpha \\ -\Delta\beta & \Delta\alpha & 1 \end{vmatrix},\ \rho_{B,0}=\begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ z \end{vmatrix} \tag{2}$$

Точките . S_1 , т. S_2 и т. S_3 лежат в равнината $x_0O_0y_0$ и делят окръжност с център т. O_0 и радиус b, на ъгли $2\pi/3$ (фиг.1). Техните координати в координатна система L_0 са:

- т. S_1 - $[0;b;0]^T$,
- т. S_2 - $[\frac{b\sqrt{3}}{2};-\frac{b}{2};0]^T$,
- т. S_3 - $[-\frac{b\sqrt{3}}{2};-\frac{b}{2};0]^T$.

След представянето им в хомогенни координати и умножението им с (1) се намират координатите на т. S_1 , т. S_2 и т. S_3 в координатна система L_B , които са съответно:

- $S_1^B = [0;b;b.\Delta\alpha+Z]^T$,
- $S_2^B = [\frac{b\sqrt{3}}{2};-\frac{b}{2};-\frac{b}{2}\Delta\alpha-\frac{b\sqrt{3}}{2}\Delta\beta+Z]^T$,
- $S_3^B = [-\frac{b\sqrt{3}}{2};-\frac{b}{2};-\frac{b}{2}\Delta\alpha+\frac{b\sqrt{3}}{2}\Delta\beta+Z]^T$.

Нарастванията в ставите q_1 и q_2 спрямо $q_3=z$ на паралелната структура са съответно:

$$\Delta q_1=e_3(S_1^B-S_3^B)=\frac{3b}{2}\Delta\alpha-\frac{b\sqrt{3}}{2}\Delta\beta$$
$$\Delta q_2=e_3(S_2^B-S_3^B)=-b\sqrt{3}\Delta\beta \tag{3}$$

Дуалността в структурата и свойствата за паралелните манипулатори [7] води до следните симетрични зависимости:

$$\Delta q=J\Delta x \tag{4}$$

където векторния вид на матрицата на Якоби зависи от същите вектори , които формират редовете му:

$$J=\begin{bmatrix} e_1^T & \cdots & (\hat{\rho}_{u1}e_1)^T \\ \vdots & \cdots & \vdots \\ e_m^T & \cdots & (\hat{\rho}_{um}e_m)^T \end{bmatrix} \tag{5}$$

Така за разглеждания манипулатор матрицата на Якоби има вида:

$$J=\begin{bmatrix} \frac{3b}{2} & -\frac{b\sqrt{3}}{2} & 0 \\ 0 & -b\sqrt{3} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{6}$$

Непосредствено от (3) се определят и обратните зависимости - ъгловите завъртания и вертикалното отместване в зависимост от преместванията в задвижващите транслационни стави:

$$\Delta\alpha = \frac{2}{3b}\Delta q_1 - \frac{1}{3b}\Delta q_2$$
$$\Delta\beta = -\frac{\sqrt{3}}{3b}\Delta q_2 . \qquad (7)$$
$$\Delta z = \Delta q_3$$

Разгледания паралелен 3(TS) манипулатор е намерил широко приложение в полупроводниковата промишленост за прецизно ориентиране на силициеви пластини при тяхната технологична обработка. Успешно допълва системите за макродвижвния в хоризонтална равнина монтирани върху платформата (Фиг.2).

4. МИКРОСЕНЗОРНИ СИСТЕМИ В РОБОТИКАТА

Основно приложение на микросистемите в роботиката е използването на MEMC сензори при управлението на робототехническите системи. Най-голямо приложение за сега намират инерционните сензори, за измерване на линейни ускорения и ъглови скорости, както и на линейни и ъглови премествания при известни начални скорост и ускорение. Малките им габарити и тегло ги прави особено подходящи за използване при управление на робототехнически системи, при които е необходима непрекъсната информация за положението, скоростта и ускорението на изпълнителното звено.

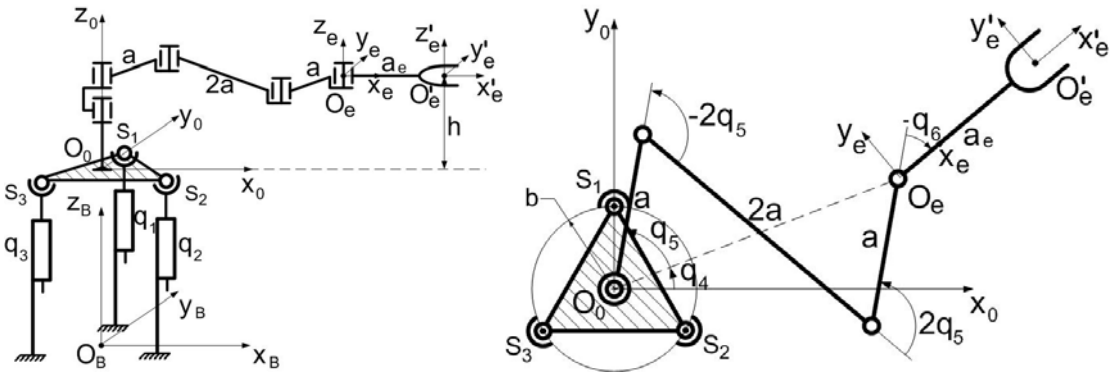
Инерционните сензори произведени чрез MEMC технология са по-малки, по-леки, по-надеждни, и не на последно място, в пъти по-евтини в сравнение с класическите инерционни сензори. Налице е тенденция към непрекъснатото повишаване на точността им, продиктувано от редица фактори. Размерите на използваните механични елементи са от порядъка на няколко микрона до няколко милиметра - при тези размери отношението между площта и масата им е много голямо, което обуславя много висока механична якост. За това спомага и много по-голямото влияние на междумолекулярните сили. При изработването на механични компоненти с микро размери се използва предимно силиции, което е допълнително предимство, тъй като силиция практически няма хистерезис при огъване и не проявява умора на материала. Освен това се използват вече съществуващи технологии за изработване на микростурктури върху силициева подложка, обединявайки механични и електронни компоненти в рамките на една интегрална схема.

Основно, инерционните сензори биват акселерометри – за измерване на линейно ускорение, и жироскопи – за измерване на ъглова скорост.

Изследвана е възможността за компенсиране на ъглови отклонения в положението на изпълнителното звено на паралелно-последователен робот, с шест степени на свобода, за манипулиране на силициеви пластини посредством високочувствителен MEMC инерционен сензор *Inertia-Link*™ [8] с шест степени на свобода. Той съчетава триосен акселерометър, триосен жироскоп и температурен сензор, които заедно с процесора за обработка на данните са изпълнени като една интегрална схема. Осъществява пълен набор от изцяло калибрирани инерционни измервания (линейно и ъглово ускорение, ъглова скорост, Ойлерови ъгли, матрица на ориентацията, малки ъглови премествания).

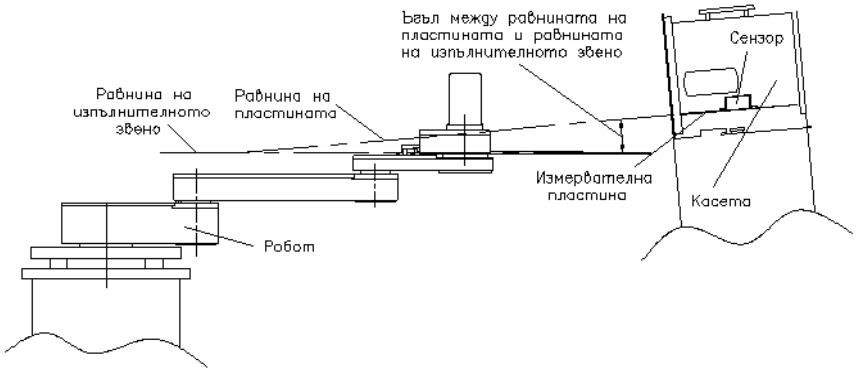
Кинематичната схема на разглеждания робот е представена на фиг. 2. При този клас манипулационни роботи, съществува изискване за строг паралелизъм между равнината на изпълнителното звено на робота и равнинните на силициевите пластини. Нарушаването на това изискване води възникване на интерференции между изпълнителното звено и пластината при вземането й, и между пластината и касетата при оставянето й, което почти винаги е свързано с преустановяване на извършваните манипулации и до намесата на оператор. Грешките в ориентацията на изпълнителното звено, на разгледания манипулационен робот при вземане/оставяне на силициева пластина се обуславят основно от:

- ъгловите отклонения между равнините на изпълнителното звено и силициевата пластина
- ъгловите отклонения породени от еластични деформации под въздействие на гравитационните сили (провисване на ръката), зависещи от коравината на ръката и тежестта на товара.



Фиг. 2. Кинематична схема на робот за манипулиране на силициеви пластини с шест степени на свобода

На фиг.3 е илюстриран характера на разглежданите ъглови отклонения. Те се регистрират с помощта на измервателна пластина, която представлява алуминиев диск с геометрията на реална силициева пластина, на горната част на която е закрепен инерционния сензор.

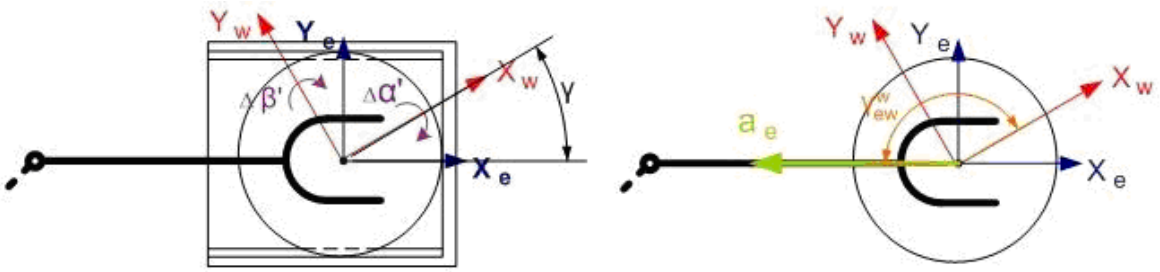


Фиг. 3. Ъглови отклонения между равнините на касетата с пластини и изпълнителното звено

Дефинирането на ъгловите отклонения между равнината на пластината в касетата и изпълнителното звено - $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$ (pitch и roll) се извършва по следната процедура:

1. Измервателната пластина с монтирания сензор се поставя на първия слот на касетата, като се ориентира приблизително.
2. Роботът се придвижва на позиция за подход към обслужваната касета .
3. С линейно движение напред, изпълнителното звено се позиционира под пластината със сензора. Проекцията на полюса на изпълнителното звено в равнината на пластината съвпада с обучената позиция за вземане/оставяне на пластина в касетата.
4. С малък вертикален ход по посока на пластината, изпълнителното звено я отделя от слота на касетата. Задържането се извършва посредством вакуум, който се активира в момента, когато пластината се „прехвърля" от касетата на изпълнителното звено. Ориентацията на пластината се променя и вече се дефинира от ориентацията на изпълнителното звено.

Определят се ъглите на завъртане около осите x и y на сензора, съответно - $\Delta\alpha'$ и $\Delta\beta'$ (фиг.4).



Фиг. 4. Измерване на ъглово отклонение

5. С линейно движение назад, робота се изтегля в позиция за подход и спира. При това движение се измерва големината на вектора на линейното ускорение - $a_e = \begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z \end{bmatrix}$.

6. Робота се позиционира в начална позиция. Определя се ориентацията на координатната система на изпълнителното звено спрямо първоначалната ориентация на измервателната пластина (в касетата), респективно ъглите $\Delta\alpha$ и $\Delta\beta$.

Тези ъгли еднозначно дефинират оринтацията на S_W спрямо S_e в начално положение. Необходимата промяна в конфигурацията (фиг. 2) се пресмята на базата на формирания вектор на ъгловите отклонения посредством израза:

$$\begin{vmatrix} \Delta q_1 \\ \Delta q_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \frac{3b\cos(q_4+q_5+q_6)-\sqrt{3}\sin(q_4+q_5+q_6)}{2} & -\frac{3b\sin(q_4+q_5+q_6)+\sqrt{3}\cos(q_4+q_5+q_6)}{2} \\ -\sqrt{3}b\sin(q_4+q_5+q_6) & -\sqrt{3}b\cos(q_4+q_5+q_6) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta\alpha \\ \Delta\beta \end{vmatrix} \quad (8)$$

Получените стойности се подават автоматично за отработване на сервозадвижвнето, или под формата на стандартни команди от потребителския интерфейс на робота.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Микротехнологиите навлизат в роботиката пряко чрез компоненти (сензори, двигатели, механизми) и подсистеми за прецизни премествания и ориентации. Изграждат се манипулационни и мобилни микроботи с приложение в микротехниката и биомедицината. Приложен е диференциален кинематичен модел за прецизна паралелна система за ориентиране на силициеви пластини в сингулярна конфигурация. Показан е лабораторен модел на приложение на МЕМС инерционен сензор *Inertia-Link*™ с шест степени на свобода при управление на изпълнителното звено на хибриден индустриален робот.

БЛАГОДАРНОСТИ

Разработката е по проект на ТУ-София с договор **№ ДУНК-01/3** с тема : „Създаване на Университетски научно-изследователски комплекс (УНИК) за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нано технологии и материали, енергийната ефективност и виртуалното инженерство”

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаджийски, М. *Перспективи на синергизма на автоматиката и информатиката с нанотехнологиите*. Сп. Автоматика и информатика, №4, **2009**.

2. Заманов, В., Д. Карастоянов и З. Сотиров. *Механика и управление на роботите*. Литерапринт, София, **1993**.

3. http://www.micromotion-gmbh.de/englisch/products/3amm/3amm_properties.htm

4. http://www.physikinstrumente.com/en/products/hexapod_tripod/index.php

5. Floyd S., C. Pawashe, M. Sitti. *Two-Dimensional Contact and Noncontact Micromanipulation in Liquid Using an Underthered Mobile Magnetic Microrobot*. IEEE Trans. on Robotics, Vol.25, No.6, Dec. **2009**.

6. Заманов, В., П. Аврамов. *Точностен модел на хибриден манипулатор*. Сборник статии - Международна конференция “**Автоматика и информатика’07**”, София, **2007**

7. Zamanov, V., Sotirov, Z., *Parallel mechanisms in robotics*. In *IMACS/SICE Int. Symp. On Robotics, Mechatronics, and Manufacturing Systems*, pages 409-418, Kobe, 16-20 September **1992**.

8. Аврамов, П., В. Заманов, *Приложение на MEMS инерционни сензори при управление на манипулационни роботи*. Сборник доклади - МК “**Автоматика и информатика’09**”, София, **2009**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. Д-р. Владимир ЗАМАНОВ
Маг. Инж. Петър АВРАМОВ
Технически университет – София
Лаборатория „Роботика”, ФА,
бул. Климент Охридски,8
София 1797, България.
e-mail: vzamanov@tu-sofia.bg, robotics@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

MOBILE ROBOT FOR INSPECTION

Valentin NIKOLOV

Abstract: *The report presents the design and implementation of mobile robot for indoor inspection and control. Demonstrated is hardware platform serving a large number of sensors and modules (about forty). It also offers software that includes an interactive environment for visualization of sensory information, digital images processing, robot's trajectories control and others. Demonstrates is possibilities to control the mobile robot via new generation cell phone. The applications are both for local and remote access through the Internet.*

Keywords: *mobile robots, sensors, Labview, remote control, video processing, smart phones.*

МОБИЛЕН РОБОТ ЗА ИНСПЕКЦИЯ

Валентин НИКОЛОВ

Резюме: *В доклада се представя проектирането и реализацията мобилен робот предназначен за инспекция в затворени помещения. Демонстрира се управляваща платформа обслужваща голям брой сензори и изпълнителни модули (около четиридесет. Разглежда се софтуера за управление, който включва интерактивна среда за визуализация на сензорната информация, анализ на изображенията от видео камерата, управление на траекториите и др. Демонстрира се възможност за управление и посредством мобилен телефон от ново поколение. Приложенията са както за локален, така и отдалечен достъп през Интернет.*

Ключови думи: *мобилни роботи, сензори, Labview, телеуправление, видео обработка, смарт-телефони.*

Акцент в настоящата работа има създаването на условия за задълбочени изследвания в областта на управлението на мобилни роботи на базата на реални модели. В доклада се разглеждат етапите от проектирането и реализацията на мобилен робот с практическо приложение в ежедневието. Важно е да се подчертае, че идеята на подобна разработка е не само да бъде полезен инструмент при експерименталната работа и демонстрацията на получените теоретични резултати, но преди всичко да намери ***реално приложение при контрола, охраната, инспекцията или спасителни операции в затворени помещения.*** *На фиг.1 е представена снимка на сглобения и завършен модел на мобилния робот.*

1. УПРАВЛЯВАЩА И ИНФОРМАЦИОННО-СЕНЗОРНА СИСТЕМИ НА РОБОТА

Предвид разнообразното приложение, ***платформата е оборудвана с около четиридесет сензора и изпълнителни звена***, като е осигурен непрекъснат, безжичен достъп до информацията в реално време. Възприето бе изграждането на управляващата система да бъде на модулен принцип. По този начин лесно могат да бъдат добавяни нови модули или да се правят корекции, без това да налага промени в механичната конструкция или останалите компоненти в робота. Хардуерът е организиран в три основни електронни модула (платки) – "*Главен модул*", "*Управляващ модул*" и "*Сензорен Модул*".

- ***Главен модул:*** Разполага се непосредствено върху горната страна на механичната платформа. ***Захранването*** на робота се осъществява от четири пакета *NiMH* батерии подвързани по подходящ начин, до формиране на краен пакет с параметри *12 V, 3600 mAh*. Предвиден е делител, ограничаващ максималното напрежение и позволяващ на контролера да измерва състоянието на батериите.

Тъй като по-голяма част от сензорите изискват значителен енергиен ресурс, при проектирането бе заложена възможността захранването към отделните компоненти да се изключва, когато не е необходимо използването им. ***Идеята е, когато роботът е включен, но не се използва, да не се хаби излишно електроенергия, като през това време захранване получават единствено най-важните компоненти, като контролерът и комуникационният модул. Експериментите с този подход показаха, че консумацията на електроенергия в режим на изчакване (stand-by) е под 20mA, като зарядът на батерията позволява работоспособност повече от три седмици.***



Фиг. 1. Реализиран мобилен робот за наблюдение, контрол, охрана инспекция, спасителни операции и др. в затворени помещения

Движението на платформата се осъществява с класическа схема, посредством две диференциално задвижвани колела и едно плаващо. Постояннотоковите електродвигатели са с монтирани редуктори за понижаване на максималната скорост на въртене. Управлението на скоростите се постига с широчинно-импулсна модулация (ШИМ).

За ***управлението на електродвигателите*** се използва *H-мост* в интегрално, *SMD* изпълнение. Интегралната схема *L298* включва в себе си два *H-моста* и позволява индивидуалното управление на два електродвигателя, като максимално допустимият ток през чипа е *2 A* на канал. Реализацията на ШИМ става с управление на логическите нива на входовете за разрешение на схемата. Предвидена е възможност за измерване на тока през електродвигателите. Това става с регистриране на напрежение върху резистори, последователно свързани на електродвигателите.

Въпреки, че почти всички сензори са разположени в управляващия и сензорния модул, в главната платка са поместени някои компоненти, изискващи по-голяма консумация. Такъв елемент е ***сензорът за метан***. Избран е *Semi GAS 04*.

- ***Управляващ модул:*** Управляващият модул се разполага върху главния, като връзката им се осъществява чрез конектор, като по този начин системата се надгражда като “сандвич”. В него са концентрирани както значителна част от сензорите на робота, така и управляващия контролер. За управление на мобилния робот бе избран едночипов контролер на *Microchip - PIC18F6722*.

Роботът поддържа два вида ***комуникация***: USB - за връзка с компютър посредством кабел и безжична - *Bluetooth* комуникация. При изграждането на радио връзката бе избран *Bluetooth*-адаптер, преобразуващ входно/изходния пакет данни в *UART (RS-232)* съвместим.

Основният начин за събиране на данни от робота и настройка на параметрите му е безжично, посредством компютър. За да се избегне непременната зависимост от външно управляващо устройство, е реализирана опция за визуализиране и въвеждане на параметрите ръчно. Върху робота е монтиран ***дисплей***, а информация може да се въвежда посредством бутони.

Моделът е оборудван с ***цветна видео камера,*** с вграден микрофон. Видео и звуковият сигнали от камерата се предават по ***безжичен*** път до компютър, посредством A/V предавател (сендер) с честота *1,2 GHz*. Посредством приемник, композитният видео сигнал от камерата може да бъде наблюдаван на обикновен *TV* монитор или обработван от компютър (през *capture хардуер*).

Роботът е оборудван с модул за запис на информацията от сензорите в текстови файлове, съхранявани на ***SD карти-памет***.

Часовникът за реално време позволява настройката и получаването на информация за ден и час, като запазва функционалността си и след изключване на захранването, благодарения на малка литиева батерия.

За ***предпазване от сблъсък*** в автономните режими на работа, както и за ***измерване на разстояние до обекти*** са монтирани пет специализирани сензора. Избрани са сензори на фирма *Sharp* тип *GP2D120XJ00F*. Изходът е аналогов, като сигналът варира в зависимост от близостта на обекта, влизащ в работния диапазон на сензора, както и от неговия цвят, и вида на материала.

За да бъдат провеждани експерименти с по-сложно поведение, както и за редица практически приложения, роботът бе оборудван с ***четири сензора за измерване на осветеност***, разположени в предната и задната части на робота.

Върху управляващата платка е запоен ***температурен сензор*** *LM95071*. Температурният диапазон на сензора е от *-40 до +150 C*, при точност *+/-0.5 C* (13-бита резолюция).

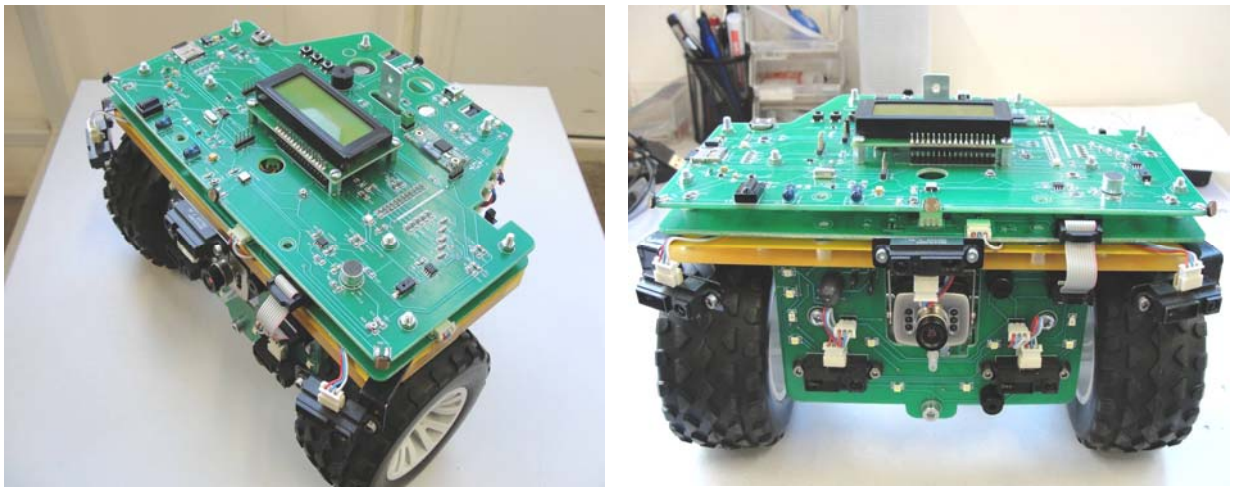
Друг елемент, показващ параметрите на въздуха в помещението, е ***сензорът за влажност.*** Използван е елемент на фирма *Honeywell - HIH-4030*. Изходът на сензора е аналогов, с диапазон от 0*.8 V при 0%* и *3.9 V при 100 %* влажност.

При представянето на видеокамерата бе пояснено, че в нея има вграден микрофон. Върху управляващата платка е запоен ***втори микрофон, работещ като акустичен ключ***. Над определен, софтуерно зададен праг на шума, може да се включи звукова индикация, а в автономен режим да се изпрати предупреждение (чрез *SMS* или *E-mail*).

Роботът е оборудван със ***звукова индикация***. Звуците се възпроизвеждат от зумер, запоен върху управляващата платка и могат да се възпроизведат принудително от оператор, посредством софтуера за управление на робота. Тази опция е разширена и позволява изпращането на ***морзов код***, като се поддържат едновременно латиница и кирилица.

Монтираният върху робота ***сензор за ускорение*** се използва като детектор за ъглово отклонения и ориентация в равнината на движение. Ускорението (ориентацията) се измерва по две взаимноперпендикулярни оси – *X и Y*. Изходите на сензора са аналогови.

Голяма част от битовата електроника се управлява дистанционно, посредством пулт, излъчващ инфрачервени (*ИЧ*) лъчи. Тъй като този начин на комуникация е сравнително достъпен и лесен за реализация, както и с оглед полезността която би имал, роботът е оборудван с модул за запис и ***възпроизвеждане на команди за управление посредством ИЧ лъчи***.



Фиг. 2. Главен модул разположен най-отгоре (снимката в ляво) и сензорен модул в предната час на робота (снимката в дясно)

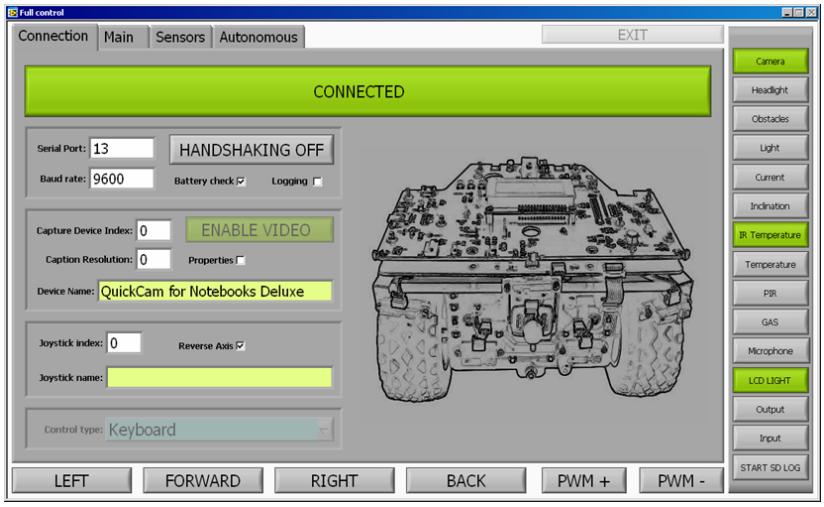
- ***Сензорен модул:*** Сензорният модул се разполага в предната част на робота (*фиг.2 дясно – платката около камерата*). В този модул е монтиран ***хардуерен детектор на движение.*** Един от популярните начини за регистриране на движение е на базата на т.н. *PIR (**Passive InfraRed sensor**)* сензори. В робота е използван подобен сензор в микро-изпълнение. При наличие на движение пред робота, изходът на сензора преминава в лог.1, като това се индицира от два червени светодиода, разположени симетрично в двата края на платката

Инфрачервените термометри използват инфрачервеното излъчване от повърхността на обектите, като начин за безконтактно измерване на температурата им. Роботът е оборудва с ***два инфрачервени термометъра***, разположени вертикално, един над друг. Използвани са инфрачервени термометри, разработени от фирма *Melexis*. Сензорът *MLX90614ACC* позволява измерване на температури от *-70 до 380 C*, като максимална чувствителност се получава в диапазона от 0 до +/- 20 ъглови градуса.

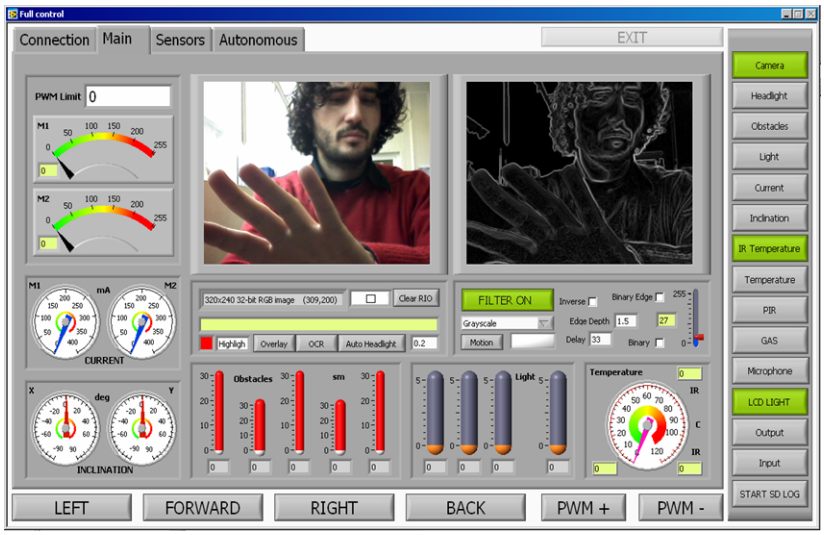
Роботът позволява ***работа и при пълен мрак***, благодарение на серия ***светодиоди (фарове)***, разположени на различни нива в сензорната платка.

2. ИНТЕРАКТИВНО ПРИЛОЖЕНИЕ ЗА ДИСТАНЦИОНЕН ДОСТЪП ДО РОБОТА В РЕАЛНО ВРЕМЕ

Софтуерното приложение е реализирано в програмната среда на Labview. Тъй като изобразяването на цялата информация върху един екран е невъзможно, без това да доведе до безпорядък, софтуерът е разделен на няколко отделни панела След стартиране, се зарежда ***панел за настройка на периферията*** (*фиг.3*), който представлява модул за връзка с периферните устройства свързани към компютъра, настройка на параметрите за комуникация, запис на данните от сензорите във файл както и активирането на някои допълнителни функции. В ***главния панел*** (*фиг.4.*) са включени едни от най-важните функционални модули, използвани често и осигуряващи не само безопасността, но и визуализацията на голяма част от сензорната информация. Централно място тук заемат двата прозореца за визуализиране и обработка на видео изображенията В левия прозорец се изобразява директно картината, получена от видео камерата, а десният е прозорец, в който изображението подлежи на филтрация и обработка.



Фиг. 3. Панел за настройка на периферията.



Фиг. 4. Главно меню и активиран edge detection във входящото изображение от камерата на робота. Видео обработката е в реално време

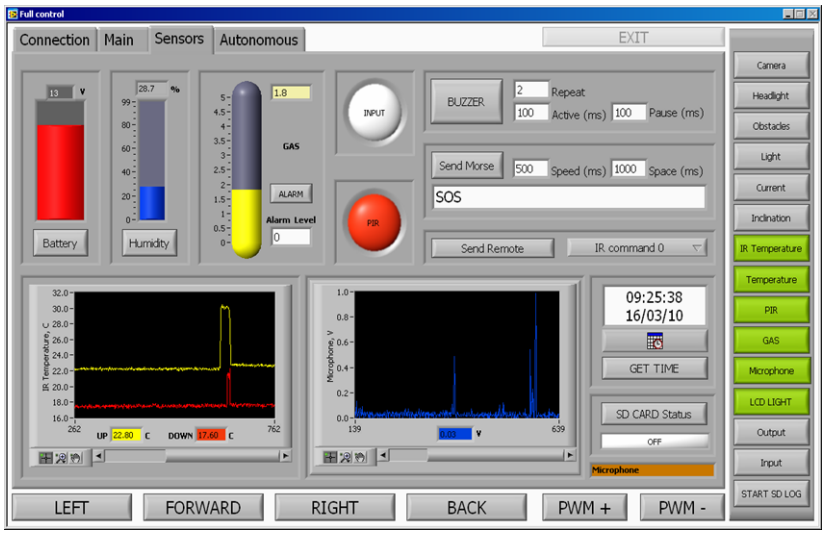
Предложени са процедури, свързани с анализа и обработката на изображенията, като: откриване на ръбове (*edge detection реализиран със Sobel оператор*)(*фиг.5в*), инверсия на кадъра, бинаризация на ръбовете (*фиг.5а*) или бинаризация на цялото изображение и др. ***Важно е да се подчертае, че обработката на изображенията са в реално време, а забавянията са незначителни.*** Интересна е възможността, използвайки камерата, роботът да ***открива движения*** в околното пространство (*фиг.5б*). Когато роботът се използва за охрана, регистрацията на движение може да е показател за проникване с взлом или друго нежелано събитие, което изисква своевременно известяване. Тази опция се активира от бутон "*Motion*".

Разработена е и друга допълнителна опция - възможността за ***разпознаване на текст и знаци*** (*фиг.5г*). За да бъде възможно това, първоначално се създава графичен шаблон с всички знаци, които ще срещне роботът, като срещу всеки знак се въвежда стринговото му съответствие. При работа в реални условия, алгоритъмът сравнява всеки знак с базата от знаци записани в шаблона. В този панел на визуализация и управление подлежат още: *управление на електродвигателите, фаровете, измерването на тока през двигателите, сензорите за ускорение, измерване на разстояние, светлина и тези за безконтактно измерване на температура.*



Фиг. 5. Операции върху изображението: а) бинаризация на ръбова; б) детектор за движение; в) визуализиране на информация върху картината и edge detection; г)

По-подробна информация за температурата е представена в следващото меню на програмата – **меню "*Сензори*"** ("*Sensors*" – *фиг.6.*). В графика, разположена в долния ляв ъгъл може детайлно да се наблюдава изменението на температурата, отчетена от двата инфрачервени термометъра. Графиката позволява мащабиране, поставянето на маркери, автоматично оразмеряване и мн. др. От този панел, за управление са достъпни: *микрофонът, часовникът за реално време, записът в SD картата, индикаторите за влажност, температура, нивото на батериите и сензорът за метан. Също така се визуализира информацията от хардуерния детектор за движение, подсветката на дисплея, звуковата индикация и генерирането на морзов код, управлението на електроуредите посредством IR, както и някой допълнителни модули.*



Фиг. 6.Панел – "Сензори"

Почти всеки съвременен дом или офис има достъп до глобалната мрежа. Управлението на робота от значителни разстояния би повишило неговата функционалност, би решило много проблеми, свързани с контрола на достъпа, както и сигурността и управлението на средата, когато потребителят е ограничен от директно манипулиране в средата. Поради тези причини бе реализирано приложение за управление през Интернет (*фиг.7*).

Допълнително е разработен софтуер (*фиг.8*), за ***управление посредством мобилен телефон от ново поколение (смартфон)***. Приложението поддържа всички представени до тук функции, като ограничението е единствено по отношение визуализирането на изображенията на камерата. Мобилните устройства от подобен род не поддържат управлението на външни периферни устройства. Поради тази причина няма как аналоговото изображение да бъде въведено в телефона. Решение на проблема може да се намери с използването на външен портативен *LCD* монитор/телевизор, с *A/V вход*. По този начин, комбинацията мобилен телефон и външен екран биха осигурили значителна мобилност и гъвкавост, при нужда от бърз и непретенциозен начин на управление на робота.



Фиг. 7. Приложение за достъп през Интернет



Фиг. 8. Управление на робота чрез мобилен телефон

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирането на робота бе съобразено с потребностите, които биха имали потребителите при евентуалната експлоатация на модела в ежедневието. Комбинацията от почти **четиридесет сензора и изпълнителни звена** (като брой) прави робота многофункционално устройство с различни приложения. Модулното изграждане позволява надграждането на платформата с допълнително компоненти и улеснява експерименталната работа, с използването на взаимно-заменяеми компоненти. Софтуерът за управление включва: интерактивни приложения за визуализация на информацията от сензорите; анализ на изображенията от видео камерата; управление на траекториите и др., посредством компютър или мобилни телефони от ново поколение. Разработката успешно би могла да се използва в експериментална работа и демонстрация на получените теоретичните резултати, **както и за реални приложения при наблюдението, контрола, охраната, инспекцията, спасителни операции и др. в затворени помещения.**

БЛАГОДАРНОСТИ

Публикуването на този доклада стана с препоръката на доц. д-р инж. Иван Аврамов, който спонсорира също неговото публикуване чрез средства на ръководения от него научно-изследователски договор № 102ни216-8 /2010 „*Експериментални и симулационни изследвания върху биологично инспирирани движения от хуманоиден тип, с приложения в роботиката и протезирането*”, с възложител - НИС – ТУ–София.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ahn, Ho Seok. *Advances in Service Robotics.* In-Teh press, **2008**.
2. Clark, D. Owings, M. *Building Robot Drive Trains.* McGraw-Hill, **2003**.
3. Gates, B. *A Robot in Every Home*. Scientific American, January **2007**.
4. Graf, B., Schraft, R.D., Neugebauer, J. *A mobile robot platform for assistance and entertainment*. in Proc. **ISR-2000**, Montreal, Canada, pp.252–253.
5. Corke, P. *Safety of advanced robots in human environments*. in A Discussion Paper for IARP, **1999**. V.J. Lumelsky and T. Skewis, “Incorporating range sensing in the robot navigation function,” IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. 20, no. 5, pp. 1058–1068, **1990**.
6. Gonzalez, R. and Woods, R. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, Reading, MA, **1992**.
7. Florczyk, S. Robot *Vision: Video-based Indoor Exploration with Autonomous and Mobile Robots*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, **2005**.
8. Kurfess, T. *Robotics and automation handbook*., CRC press, **2005**.
9. Kyushu Electric. *Intelligent House*. *Demonstrating and proposing a new lifestyle for the future*. Kyushu Electric Power Company, Research Laboratory, **2008**.
10. Венков, П.Г. *Анализ и разпознаване на изображения и сцени.* София, **1996**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

маг. инж. Валентин НИКОЛОВ
Технически Университет – София
Факултет „Автоматика”
катедра “АЕЗ”, Секция “*Роботика*”
e-mail: **val_niko@yahoo.com**

ТРИБОЛОГИЯ И ТРИБОТЕХНОЛОГИИ

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

RESEARCHES CONCERNING THE INFLUENCE OF THE POLYT-IONIC ACID SOLUTIONS ON THE STAINLESS STEEL

Al Jaseem Makki Majeed HABEEB Niculae Napoleon ANTONESCU Marius Gabriel PETRESCU

Abstract: *Polyt-ionic acids are not naturally present in petroleum products, but are formed by oxidation and hydrolysis of iron sulfide in the presence of oxygen and water. Corrosion due polyt-ionic acids can be considered as a secondary consequence of sulfide corrosion and occurs as intergranular.*

The paper presents the results of corrosion tests carried out on U-shaped tension specimens made of steels W1.4300, W1.4301, W1.4541, W1.4550, W1.4571 and W1.4435 in polyt-ionic acid solutions.

Key Words: *Polyt-ionic acids, corrosion, petroleum products, austenitic stainless steels, hydrofining installations.*

1. THEORETICAL ASPECTS

In the paper there are studied the austenitic stainless steels that are used for the construction of the equipments from the petroleum distilled hydrofining installations. There utilization is due to the satisfactory resistance to the action of the sulfur and hydrogen composites at high temperatures and pressures. But, the existence in the technological fluid of the polyt-ionic acids may affect their integrity.

The polyt-ionic acids are not present naturally in the petroleum products, but there are formed by the oxidation and the hydrolysis of the iron sulfide in the presence of the oxygen and water. The corrosion due to the polyt-ionic acids may be considered as a secondary consequence of the sulfide corrosion and occurs as intergranular. The phenomenon takes place at the environmental temperature [1, 2, 3, 4].

The main conditions for the apparition of the intergranular corrosion due to the polyt-ionic acids are:

- **The presence of the sulfides and iron polysulfides on the metal surface.** The sulfide deposits are the result of the sulfide corrosion in the installations with equipments, with the austenitic stainless steel pipes and with steel carbon situated upstream. In the case in which these FeS deposits are eliminated by oxidation in the decoking processes or by the alkaline chemical and mechanical cleaning before opening the equipments, then it may be avoided the corrosion due to the polyt-ionic acids.
- **The presence of the water and oxygen.** These two elements are presented at the equipments opening. In order to avoid it, there is recommended to stop the installation without opening the equipments, putting into pressure with azote or ammonia avoiding thus the air entry and the maintenance of the temperature over the temperature of the water vapour dew point. If it is necessary the equipments' opening, their surface is cleaned with soda/carbonat de sodiu alkaline solution inhibited with sodium nitrate.
- **The thermal sensibilization/awareness of the austenitic steels.** The prevention of the thermal awareness is the main factor for avoiding the apparition of the austenitic stainless steels corrosion in polyt-ionic acids.

The thermal awareness of the stainless steels is due to the carbides precipitation and to the separation in the grains' limits creating around regions poor in chrome, preferential for the attack with intergranular character.

- **The presence of the tensions in the steel.** If the tensions are over the critical level, the stainless steel becomes susceptible to the cracking corrosion due to the polyt-ionic acids.

The susceptible regions to the action of the polyt-ionic acids in the hydrofining installations are the heat exchangers effluent/ raw material, the furnaces' pipes and the reactors made from stainless steels. The presence of the polyt-ionic acids, the existence of the tensions and of the metal material structure modifications due to the exposure to high temperature favors the apparition and the development of the cracking corrosion at the stainless steels.

2. EXPERIMENTAL RESEARCHES

In order to research the corrosive action of the polyt-ionic acids and to prevent the apparition of the intergranular corrosion there is realized a programme of experimental researches that anticipated:

The preparation of the polyt-ionic acids solution according to the data presented in the specialty literature [1, 3, 4].

The corrosion tests of the tensioned samples in the U form, made from W1.4300, W1.4301, W1.4541, W1.4550, W1.4571 and W1.4435, in the solutions made from polyt-ionic acids.

The tests of protection against the cracking corrosion in the solution of the polyt-ionic acids.

2.1. The preparation of the polyt-ionic acids solution

The getting of the polyt-ionic acids solution needs the following reaction stages:

The bubbling of the sulfur dioxide in distilled water, with the forming of a sulfuric acid saturated solution.

$$SO_2 + H_2O \longrightarrow H_2SO_3 \quad (1)$$

-

The bubbling of H2S in the sulfuric acid with the forming of the tio-sulfuric acid.

$$H_2S + H_2SO_3 \longrightarrow H_2S_2O_2 + H_2O \quad (2)$$

-

The tio-sulfuric acide reacts with the sulfuric acid forming treat-ionic and hexa-ionic acid.

$$H_2S_2O_2 + 2\,H_2SO_3 \longrightarrow H_2S_4O_6 + 2\,H_2O \quad (3)$$

$$H_2S_2O_2 + 2\,H_2SO_3 \xrightarrow{+2\,S} H_2S_6O_6 + 2\,H_2O$$

or reacts with the tio-sulfuric acid forming the tritionic and penthat-ionic acid.

$$H_2S_2O_2 + 2\,H_2S_2O_3 \longrightarrow H_2S_3O_6 + 2\,H_2O + 3\,S \quad (4)$$

$$H_2S_2O_2 + 2\,H_2S_2O_3 \longrightarrow H_2S_5O_6 + 2\,H_2O + S$$

Practically, the sulfuric dioxide was bubbled by a tube with frit, in 1 liter of distilled water, during 3 hours and then there was bubbled sulfide hydrogen during 3 hours. In the obtained polyt-ionic acids solution, with pH = 2,0 there were made corrosion tests with samples sensitized and not sensitized to temperature. In fact, this solution is a mixture of polyt-ionic acids with small quantities of sulfuric acid.

2.2. Corrosion tests in polyt-ionic acids made in laboratory

In polyt-ionic acids solution there were tested samples from not stabilized austenitic stainless steels W1.4300, W1.4301, stabilized with Ti – W1.4541, stabilized with Nb – W1.4550, stabilized with Ti and Mo – W1.4571 and with a content of 0,03 % C – W1.4435, having the chemical compositions presented in the table 1.

Table 1 The chemical composition of the researched steels

No.	Steel's mark	Component elements, %									
		C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	Nb	Mo	P	S
1	W1.4300	0,08	1,51	0,65	17,7	8,5	-	-	-	0,040	0,015
2	W1.4301	0,06	1,10	0,42	18,5	9,1	-	-	-	0,032	0,015
3	W1.4541	0,04	1,20	0,38	18,2	11,2	0,41	-	-	0,035	0,012
4	W1.4550	0,05	1,16	0,52	18,1	10,9	-	0,8	-	0,022	0,011
5	W1.4571	0,07	1,48	0,49	17,8	12,2	0,50	-	2,3	0,019	0,012
6	W1.4435	0,03	1,37	0,51	18,3	13,5	-	-	2,8	0,023	0,013

The samples were tensed in U form and are sensitized to temperatures of 450, 500, 550 and 600 ^{o}C, during 3, 40 and 80 hours. The tests results are presented in the table 2.

There is noticed that the W1.4300 chemical not stabilized steel, sensitized to temperatures between 450 – 600°C, during 3, 40 and 80 hours is cracking in polyt-ionic acids solution and W1.4301

behaves better in this thermal filed 450 – 500°C, but it is cracking at temperatures between 550 – 600°C. From the research of the samples research at the metallographic microscope it may be observed the cracking intergranular trajectories (figure 1).

Table 2 Sensibility to cracking corrosion of some austenitic stainless steels in polyt-ionic acids solution, with pH = 2,0, at the environmental temperature, during 50 days/ 1200 hours

No.	Thermal sensitiveness		Steel's type					
	Temp., °C	Time, hours	W1.4300	W1.4301	W1.4541	W1.4550	W1.4571	W1.4435
1	450	3	C	NC	NC	NC	NC	NC
2		40	C	NC	NC	NC	NC	NC
3		80	C	NC	NC	NC	NC	NC
4	500	3	C	NC	NC	NC	NC	NC
5		40	C	NC	NC	NC	NC	NC
6		80	C	NC	NC	NC	NC	NC
7	550	3	C	C	NC	NC	NC	NC
8		40	C	C	NC	NC	NC	NC
9		80	C	C	NC	NC	NC	NC
10	600	3	C	C	NC	NC	NC	NC
11		40	C	C	NC	NC	NC	NC
12		80	C	C	NC	NC	NC	NC

Note: NC – not cracked
C – cracked

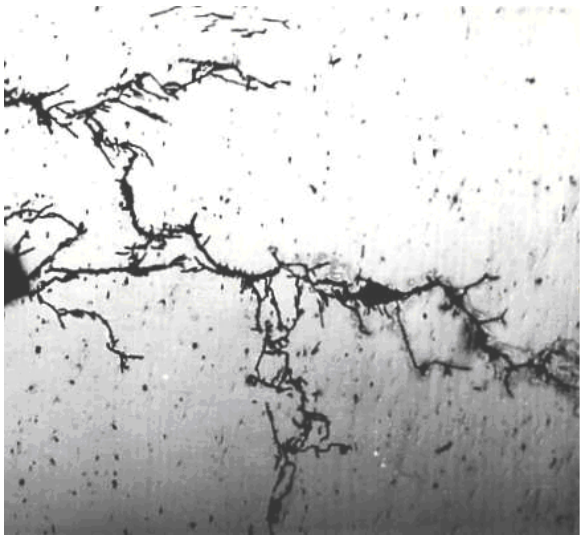


Fig. 1. The intergranular corrosion of W1.4300 steel in polyt-ionic acids with pH = 2,0

The other stabilized stainless steels with Ti or Nb, with addition of Mo or with small carbon content (0,03 %) are not cracking in the researched conditions. As it may be observed, the stabilized stainless steels present great resistance to corrosion due to polyt-ionic acids that is in direct dependence also with the carbon content from the steel (table 3).

From the presented data it results that the samples of W1.4301 steel with 0,06 % C did not satisfied the test of cracking corrosion in polyt-ionic acids solution in the condition of thermal sensitized during 3 and 20 hours at a temperature of 6000C. Also the samples of W1.4301 steel with small carbon content 0,04 % cracked if there were thermally sensitized during 20 hours at 6000C. But, the samples that were thermally sensitized submitted only 3 hours did not crack. Also, even the W1.4541 steel stabilized with Ti, but with a great carbon content (0,07 %), was affected by the cracking corrosion in the case of the samples sensitized at 6000C, during 20 hours. At small period of time (3 hours) its behavior was accordingly. The other two steels W1.4571 and W1.4550 stabilized with Ti and Mo, respectively with Nb corresponded to the corrosion test.

The steel stabilization with Ti or Nb determines the decrease of their sensitiveness toward the polyt-ionic acidsaction, but it does not disappear completely as in the case of the long exposures in thermal sensitiveness 450 – 600°C. Ti and Nb, having more affinity toward carbon than chrome, form titan carbide or niobium; the chrome remaining in the steel matrix, fact that assures the resistance to corrosion. In the case of decreasing the carbon content from the stainless steel composition, the sensitiveness to the cracking corrosion decreases.

Table 3 The influence of the austenitic stainless steels carbon content on the resistance to cracking corrosion in the polyt-ionic acids with pH = 2,0

No.	Steel's type	Time of thermal sensitiveness at 600^{0}C, hours	Observations
1	W1.4301 – 0,06 % C	3	cracked – 22 h
2		20	cracked – 4 h
3	W1.4301 – 0,04 % C	3	not cracked – 120 h
4		20	cracked – 100 h
5	W1.4541 – 0,07 % C	3	not cracked – 120 h
6		20	cracked – 120 h
7	W1.4541 – 0,04 % C	3	not cracked – 120 h
8		20	not cracked – 120 h
9	W1.4571 – 0,07 % C	3	not cracked – 120 h
10		20	not cracked – 120 h
11	W1.4571 – 0,05 % C	3	not cracked – 120 h
12		20	not cracked – 120 h
13	W1.4550 – 0,06 % C	3	not cracked – 120 h
14		20	not cracked – 120 h

Thus, it may be deduced that the resistance to the cracking corrosion of the austenitic stainless steels in polyt-ionic acids solution at the environmental temperature varies in the order: X6CrNiMoTi17-12-2 (W1.4571) > X6CrNiMo18-10 (W1.4550) > X6CrNiTi18-10 (W1.4541) > X5CrNi18-10 (W1.4301) > W1.4300

As it may be observed, the austenitic stainless steels chemically stabilized and with a small carbon content present satisfactory resistance to the polyt-ionic acids corrosion, in the researched conditions. In the case in which in the reaction system there appear other ions that may be preferentially adsorbed on the metal surface and may deteriorate the passiveness film, the steel may be affected by point – like located corrosion. This may constitute the propagation nucleus of the cracking corrosion whose level depends on the value of the tension induced in the material. That is why, in order to avoid these unexpected phenomenon, knowing the mechanism of polyt-ionic acids apparition, it is necessary to avoid the creation of the sulfuric acid and polyt-ionic acids forming premises.

2.3. Corrosion tests of the stainless steels with sulfur layers or iron oxide, thermally sensitized, in humidity environment, air and/or SO_2

As it was shown, on the metal equipments of stainless steels, there are sulfur and iron oxides deposits, emphasized by the Mössbauer microscopic measurements and absorption spectrofotometry in infra-red (IR).

In order to research the influence of these deposits, in the presence of the oxygen and humidity, on the steels integrity, there were prepared corrosion samples constantly deformed in U form, from steel W1.4300 and W1.4541 and with these samples there were made tests in the iron sulfur, iron oxides and environmental humidity presence. At some samples, in order to accelerate the corrosion process, there was bubbled SO_2 gas in the system. The samples were thermally sensitized to temperature of 600°C.

The FeS slim was sampled from the heat effluent / raw material exchangers from the gasoline hydrofining installation. These deposits contain also small quantities of chloride and metal oxides. The iron oxides layers were made in the laboratory, by the immersion of the steel samples in distilled water at an environmental temperature. The corrosion tests results are presented in the table 4.

The corrosion tests were made in a research leak-proof cracking corrosion chamber in salty fog. The tensed samples in U form were introduced in the test chamber in which there were sprayed water, air and, at some tests, SO_2 gas.

After 480 testing hours, from six samples of W1.4300 covered with FeS layer, in the presence of humidity and air, it appeared cracking at four samples at a pH = 5,5. By introducing the SO_2 gases, the solution pH decreases at 1,5 and after 480 testing hours all the samples cracked. The samples from W1.4541 tested in humidity environment, air and / or SO_2 were not affected by cracking corrosion, but on their surface it appears located corrosion especially in the environment with pH = 1,5.

From the analysis of the experimental results it results the iron sulphide presence on the stainless steels, in the humidity presence, air and / or SO_2 favors the apparition and the development of the cracking corrosion due to the polyt-ionic acids. The basic reaction of polyt-ionic acids forming is:

$$8\,FeS + 11\,O_2 + 2\,H_2O \rightarrow 2\,H_2S_4O_6 + 4\,Fe_2O_3 \quad (5)$$

in which *S* may be 2, 3, 4, 5 or 6.

Table 4 The influence of the iron sulphide and the iron oxides layers on the stainless steels corrosion, sensitized, humidity environment, air and / or SO_2

No.	Samples covered with	Steel's type	Work environment	pH	Test duration, hours	Number of tested samples / number of cracked samples
1	FeS layer	W1.4300	Humidity Air	5,5	480	6/ 4
2			Humidity Air SO_2 gas	1,5	144	6/ 6
3		W1.4541	Humidity Air	5,5	480	6/ 0
4			Humidity Air SO_2 gas	1,5	480	6/0
5	Iron oxides layer	W1.4300	Humidity Air	6,5	480	6/ 0
6			Humidity Air SO_2 gas	1,5	480	6/0
7		W1.4541	Humidity Air	6,5	480	6/ 0
8			Humidity Air SO_2 gas	1,5	480	6/0

The adsorption of the ions $S_4O_6^{2-}$ on the metal surface decreases the steel repassiveness propriety, thus the tetra ionic acid is very aggressive in the researched solution.

2.4. Tests of cracking corrosion decreasing dut to the polyt-ionic acids

From the presented data it results the prevention and the decrease of the polyt-ionic corrosion supposes the utilization of the steels stabilized with Ti or Nb or of the steels with small carbon content, avoiding the water and air presence of the installation stop and decreasing the residual tensions by stress relaxation thermal treatments. The removal of the residual tensions is realized by stress relaxation thermal treatment at a temperature of 950 – 1100°C, depending on the austenitic stainless steel nature, thus the time of passing by the temperatures 450 – 800°C is reduced. After the removal of the residual tensions, the metal structure is no more submitted to other operations.

In the cracking corrosion tests, the samples deformed in U form were thermal sensitized at 600°C during 3 hours and then stress relaxed by heating at 10500C for the steels W1.4541 and W1.4550 and 1070°C for the steel W1.4571 and after that cooled in air. The heating speed was of 50°C/ h and the maintaining time in the stress relaxation field was of 30 minutes for the samples thickness of 2 mm. The corrosion tests were made in polyt-ionic acids solution, at an environmental temperature, the results being presented in the table 5.

The corrosion samples from W1.4541, W1.4550 and W1.4571, deformed in U shape, thermal sensitized and then thermal stress relaxed (cooling in air) did not cracked after 288 hours of immersion in polyt-ionic acids solution with pH = 2,0 – 2,1. Thus, it is deduced the favorable effect of the thermal stress relaxation of the austenitic steels in order to increase the resitance to cracking corrosion.

The eliminating solution of the residual tensions by thermal stress relaxation may be applied for the small equipments, but for the bigger ones it is hard to be realized.

Table 5 The resistance to polyt-ionic cracking corrosion of the samples from austenitic stainless steels thermal sensitized and thermal stress relaxation

No.	Material	Thermal sensitiveness		Thermal stress relaxation		Cooling environment	Observations after 288 hours
		Temp., ^{0}C	Time, hours	Temp., ^{0}C	Time, hours		
1	W1.4541	600	3	1050	30	air	not cracked
2	W1.4550	600	3	1050	30	air	not cracked
3	W1.4571	600	3	1070	30	air	not cracked

In the case in which the internal tensions can not be eliminated accordingly, it is necessary the decrease of the technological environmental aggressiveness. Thus, there were made resistance to corrosion tests, in the variant of neutralizing the environmental acidity with faint alkaline solution.

The samples from austenitic stainless steel W1.4550, from which there are made the furnace pipes from the hard distilled hydrofining installation, thermal sensitized at 500°C during 3 hours and are covered with iron sulphide layer were introduced in the testing chamber. In the closed chamber there was sprayed alkaline solution of 3 % Na_2CO_3 with 0,5 % sodium nitrate (corrosion inhibitor). At some tests there was introduced sulfur dioxide. The obtained results are presented in the table 6.

Table 6 The resistance to polyt-ionic corrosion tests by decreasing the environmental acidity

No.	Test environment	pH	Number of tested samples/ number of cracked samples
1.	- samples W1.4550, sensitized, covered with FeS - humidity - air	6,0	6/ 1
2.	- samples W1.4550, sensitized, covered with FeS - sprayed solution 3 % Na_2CO_3 + 0,5 % $NaNO_3$ - air	8,5	6/ 0
3.	- samples W1.4550, sensitized, covered with FeS - sprayed solution 3 % Na_2CO_3 + 0,5 % $NaNO_3$ - air - SO_2	6,5	6/ 0

From the presented data it results that the alkaline solution in contact with the metal surface protects the steel against the cracking corrosion.

3. CONCLUSION

1. The presence of the polyt-ionic acids, the existence of the tensions and of the metal material structure modifications due to the exposure at high temperature favor the apparition and the development of the cracking corrosion at the stainless steels.
2. The stabilized stainless steels present great resistance to corrosion due to the polyt-ionic acids that it is in direct dependence also with the steel carbon content.
3. The austenitic stainless steels chemically stabilized and with a small carbon content present satisfactory resistance to the polyt-ionic acids corrosion in the researched conditions. In the case in which in the reaction system there appear other ions that may be preferentially adsorbed on the metal surface and may deteriorate the passiveness film, the steel may be affected by point – like located corrosion. This may constitute the propagation nucleus of the cracking corrosion whose level depends on the value of the tension induced in the material. That is why, in order to avoid these unexpected phenomenon, knowing the mechanism of polyt-ionic acids apparition, it is necessary to avoid the creation of the sulfuric acid and polyt-ionic acids forming premises.
4. The iron sulphide presence on the stainless steels, in the humidity presence, air and / or SO_2 favors the apparition and the development of the cracking corrosion due to the polyt-ionic acids.
5. The adsorption of the ions $S_4O_6^{2-}$ on the metal surface decreases the steel repassiveness propriety, thus the tetra ionic acid is very aggressive in the researched solution.

6. From the presented data it results the prevention and the decrease of the polyt-ionic corrosion supposes the utilization of the steels stabilized with Ti or Nb or of the steels with small carbon content, avoiding the water and air presence of the installation stop and decreasing the residual tensions by stress relaxation thermal treatments
7. In the case in which the internal tensions can not be eliminated accordingly, it is necessary the decrease of the technological environmental aggressiveness
8. The alkaline solutions in contact with the metal surface protect the stainless steels against the cracking corrosion.

REFERENCES

1. Habeeb, Al J. M. H. *Researches regarding the actional technological environments with high sulphide content, over the hydrofining units equipment*. PhD Thesis, Petroleum – Gas University of Ploieşti, Romania, **2010**.

2. Lobley, G. R. *Stress corrosion cracking: case studies in refinery equipment, Polythionic acid stress corrosion cracking*. The 6th Saudi Engineering C o n f e r e n c e , **KFUPM 2002**, Dhaharam, vol. 5, , pp. 17 – 20, **2002**.

3. Nagashima, E., K. Shibata. *New Method for Polythionic Acid Stress Corrosion Cracking using Iron Sulfide Powder*. P r o c e e d i n g s of JSCE Materials and Environments **1997**, C – 107, **1997**.

4. Singh, P. M., N. Malhotra. *Stress Corrosion Cracking Susceptibility of Various AISI Austenitic Stainless Steels in Polythionic Acids*. Corrosion NACE, March 1985, pp. 26, **1985**.

5. Habeeb, Al J. M. H., N. N. Antonescu, M. G. Petrescu, O. Georgescu. *Research regarding corrosion protection of stripping column top equipment from Hydrofining Units*, Journal of the Balkan Tribological Association, vol. 16, no. 1, **2010**.

6. Constantinescu, Gh. *Researches regarding the corrosion and corrosion protection of technological installations of oil refineries*. PhD Thesis, “Gh. Asachi” University of Iaşi, Romania, **2001**.

7. Shargay, C. A., A. J. Bagdasarian, J. W. Combs, W. K. Jenkins. *Corrosion in Hydroprocessing Units; Corrosion in the Oil Refining Industry*. Ed. L. Kaley, J. E., Feather, N. Coble, R. Strong, NACE Houston, Texas, **1996**.

8. WALID A. Al-Naim *Ammonium bi-sulphide corrosion in hydrocrackers*. Petroleum Technology Quarterly Winter, pp. 45,**1999/ 2000**.

9. *** ASTM G 35 – 98.

CORRESPONDENCE

Prof.dr.eng., Niculae Napoleon ANTONESCU
Petroleum-Gas University of Ploiesti,
Bucuresti Bvd. 39
100680, Ploiesti, Romania
e-mail: nnantonescu@upg-ploiesti.ro

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

EXPERIMENTAL RESEARCHES CONCERNING THE GREASE SQUEEZE FILM

Alexandru Valentin RADULESCU **Irina RADULESCU**

Abstract: *The paper studies the pressure distribution for grease squeeze films between circular surfaces. The rheological model for the grease is the Bingham model and the process is considered isotherm. The problem is solved using numerically methods. The theoretical results are validated on an experimental stand, based on a modified Weissenberg rheogoniometer.*

Key Words: *Rheometry, Grease, Squeeze film, Experiment.*

1. INTRODUCTION

Squeeze-film performance plays an important role in many areas of engineering, such as the bearings of automotive engines, automatic transmissions, turbomachinery, machine tools, aircraft engines and synovial joints. The squeeze-film phenomena arise from the behavior of two lubricated surfaces approaching each other with a normal velocity. Since the viscous lubricant contained has a resistance and cannot be instantaneously squeezed out, it provides a certain time for these surfaces to come into contact. Because of their widespread applications, many contributions to the squeeze-film characteristics have been made, such as the problems in rectangular, circular and annular plates, in spherical bodies and in the studies of thin film of fluids in synovial joints, computer hard disks and coalescence of bubbles [1 – 7].

All these studies focus upon the squeeze-film performance with the ideal assumption that the lubricant used has perfectly Newtonian properties. In this paper, the pressure distribution for grease squeeze films between circular surfaces is studied. The rheological model for the grease is the Bingham model and the process is considered isotherm. The problem is solved using numerically methods. The theoretical results are validated on an experimental stand, based on a modified Weissenberg rheogoniometer.

2. THEORETICAL MODEL

The theoretical analysis for squeeze-film between two parallel circular plates (see Fig. 1) is based on a generalized model for any incompressible flow, the Bingham rheological model, expressed as:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dy}, \tag{1}$$

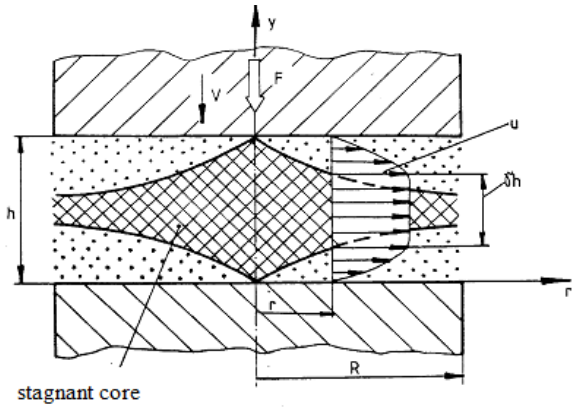


Fig. 1. The geometry for the grease squeeze film between circular surfaces

Using the Navier-Stokes equations above:

$$\begin{cases} \dfrac{dp}{dr} = \eta \dfrac{d^2u}{dy^2} & \text{for} \quad \tau > \tau_0 \\ \dfrac{d^2u}{dy^2} = 0 & \text{for} \quad \tau \le \tau_0 \end{cases} \tag{2}$$

and taking into account the stagnant core equation:

$$\frac{dp}{dr} = -\frac{2\tau_0}{\gamma h} \tag{3}$$

the velocity distribution can be obtained:

$$u = \begin{cases} -\dfrac{1}{2\eta}\left(\dfrac{dp}{dr}\right)\left[\left(\dfrac{h-\gamma h}{2}\right)^2 - \left(\dfrac{h-\gamma h}{2} - y\right)^2\right] & \text{for} \quad y \in \left[0; \dfrac{h-\gamma h}{2}\right] \\ -\dfrac{1}{2\eta}\left(\dfrac{dp}{dr}\right)\left(\dfrac{h-\gamma h}{2}\right)^2 & \text{for} \quad y \in \left[\dfrac{h-\gamma h}{2}; \dfrac{h+\gamma h}{2}\right] \\ -\dfrac{1}{2\eta}\left(\dfrac{dp}{dr}\right)\left[\left(\dfrac{h-\gamma h}{2}\right)^2 - \left(y - \dfrac{h+\gamma h}{2}\right)^2\right] & \text{for} \quad y \in \left[\dfrac{h+\gamma h}{2}; h\right] \end{cases} \tag{4}$$

By integrating the velocity distribution (Eq. 4), the squeezing flow can be obtained:

$$Q = 2\pi r\left(\frac{h^3(\gamma-1)^3}{12\eta} - \frac{h^3\gamma(\gamma-1)^2}{8\eta}\right)\left(\frac{dp}{dr}\right) \tag{5}$$

The continuity equation for the flow imposes that the squeezing flow should be equal with the lateral flow, expressed as:

$$Q = \pi r^2 V \tag{6}$$

Thus, the continuity equation becomes:

$$2\pi r\left(\frac{h^3(\gamma-1)^3}{12\eta} - \frac{h^3\gamma(\gamma-1)^2}{8\eta}\right)\left(\frac{dp}{dr}\right) = \pi r^2 V \tag{7}$$

and consequently the Reynolds equation results:

$$\frac{dp}{dr} = -\frac{12\eta V r}{h^3(1-\gamma)^2(2+\gamma)} \tag{8}$$

In the Eq. 8, the relative thickness of the core γ includes the expression for the pressure and gradient pressure as following:

$$\gamma = \frac{2\tau_0}{\left(-\dfrac{dp}{dr}\right)h} \tag{9}$$

3. EXPERIMENTAL STAND

The experimental stand used for the carrying out of the determinations was a modified rheogoniometer Weissenberg (Fig. 2), built up from the main structural elements [8]:

- Central working unit;
- Testing couple, which consists on two circular paralel surfaces;
- Driving system of the superior disc, corresponding to the friction couple;
- Electric and comand system for the servomotor;
- Three pressure transducers, displaced on the plate in center, middle and lateral position;
- Displacement transducer;
- Data acquisition system.

For the acquisition and the numerical treatment of the experimental data it has been used the LabVIEW software. The measurement of the signal provided by the three pressure transducers and the displacement transducer was realized using an acquisition board NI USB-6008. For the testing protocol, four velocities of the superior disc have been imposed (0.025, 0.050, 0.075 and 0.100 mm/s), and the film thickness varied from 0.6 to 0.1 mm. The stand has the possibility to measure the pressure variation with the film thickness, for different squeezing velocity and for an imposed geometry of the circular plates. Fig. 3 presents a detail regarding the construction and the location of the pressure transducers, with the grease put in place on the inferior plate of the stand.

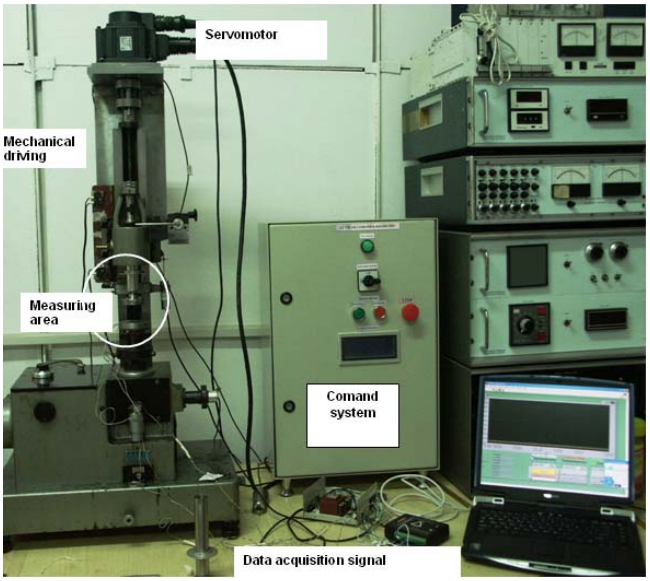
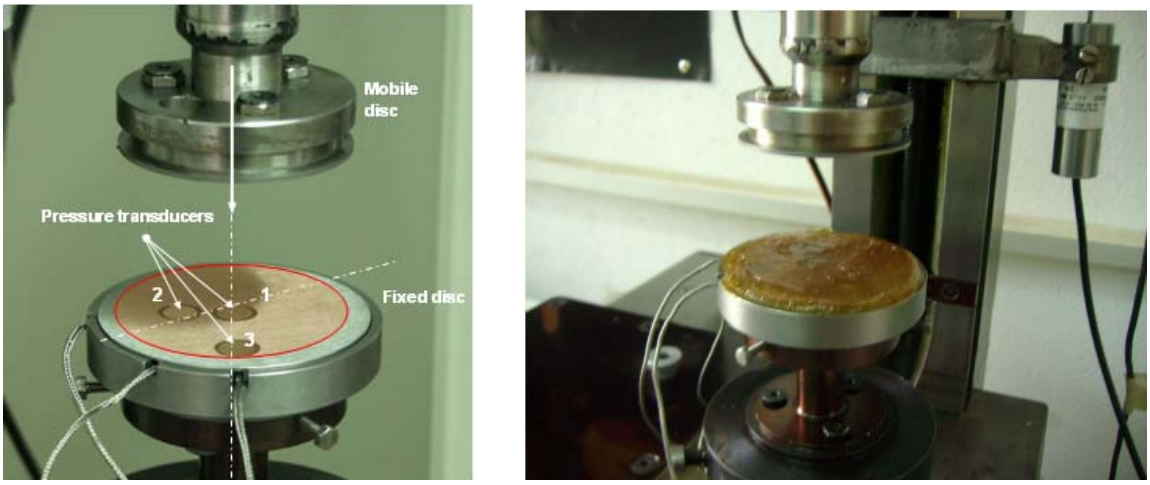


Fig. 2. General view of the experimental stand

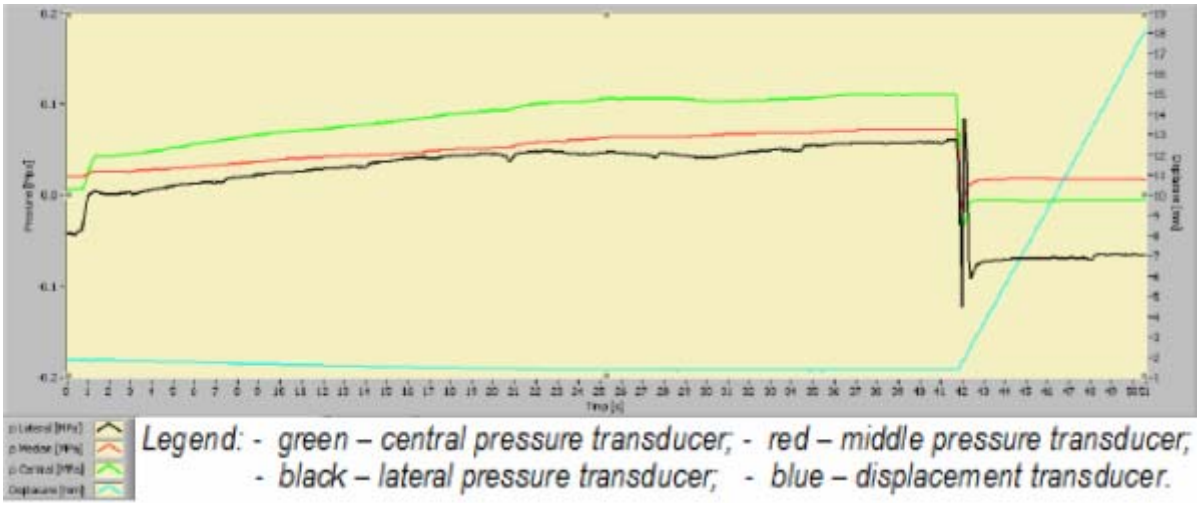


a) Location of the pressure transducers *b) Grease placed on the inferior plate of the stand*

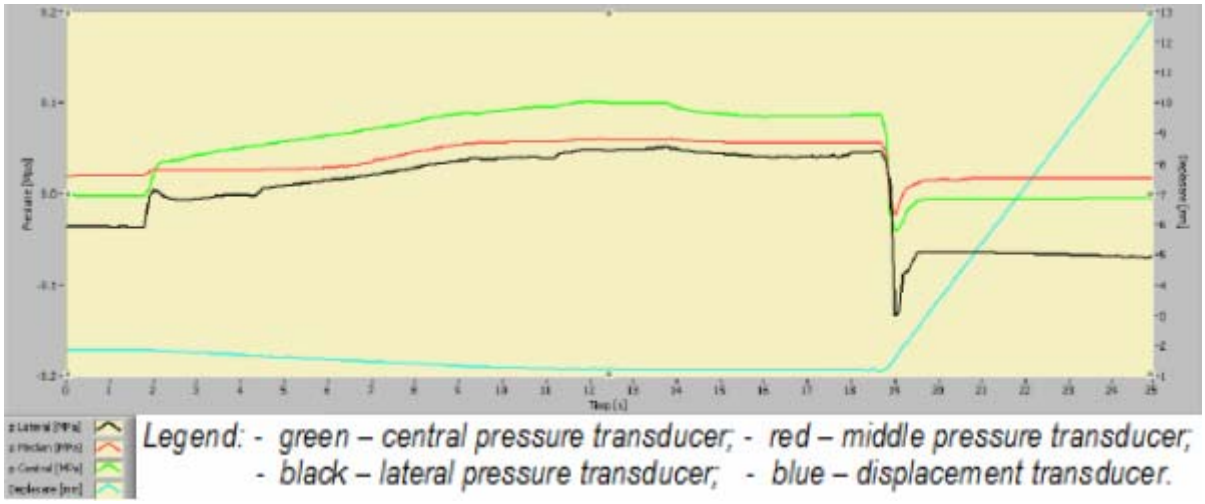
Fig. 3. Detail of the working area

4. RESULTS AND DISCUSIONS

For the squeezing experiment, two Romanian greases have been used: U 230 Ca 2 EP grease, based on calcium soap, with the dynamic viscosity η = 1.66 Pa·s and yield stress τ_0 = 908 Pa, and UM 185 Li 2 EP multipurpose grease, based on lithium soap, with the dynamic viscosity η = 0.798 Pa·s and yield stress τ_0 = 399 Pa. The rheological parameters were measured at 25^0C, with a con and plate Brookfield viscometer, [9]. Figure 4 (a and b) presents two specific examples of data acquisition concerning the variation of the pressure in the lubricant film, for U 230 Ca 2 EP calcium grease and UM 185 Li 2 EP lithium grease.



a. *U 230 Ca 2 EP calcium grease*



b. *UM 185 Li 2 EP lithium grease*

Fig. 4. Data acquisition for pressure variation in the lubricant film (v = 0.025 mm/s)

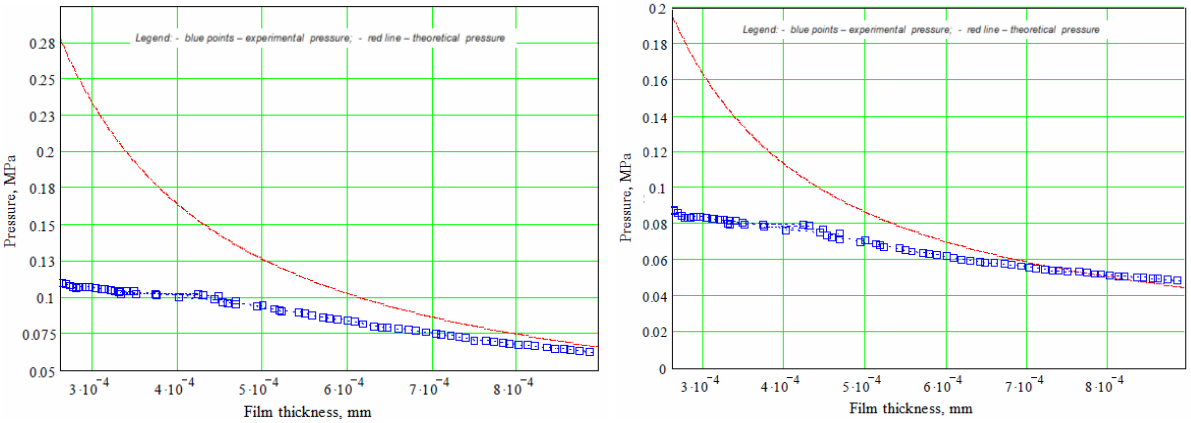
The comparison between the experimental data and the theoretical results, for both greases, is presented in Fig. 5 and 6, for all three pressure transducers (central, middle and lateral). The theoretical pressure distribution was obtained by numerical integration of the Reynolds equation (Eq. 8), using the Newton-Raphson numerical method and the MathCAD software.

5. CONCLUSIONS

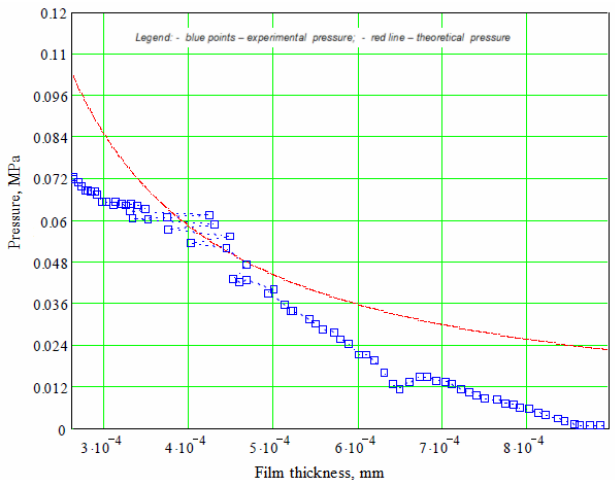
The experimental stand has as principal component an original device, coupled with an acquisition system, which is also capable to treat numerically the experimental data. Using a small quantity of lubricant and two horizontal semicouples – an inferior one, which is fixed, and a superior one, which

has a translation movement – it is possible to measure the variation of the film thickness simultaneos with the pressure distribution.

A good agreement between theoretical and experimental results has been obtained, especially for high values of the film thickness, which demonstrate the correct assumptions used for modelling the grease squeeze film.

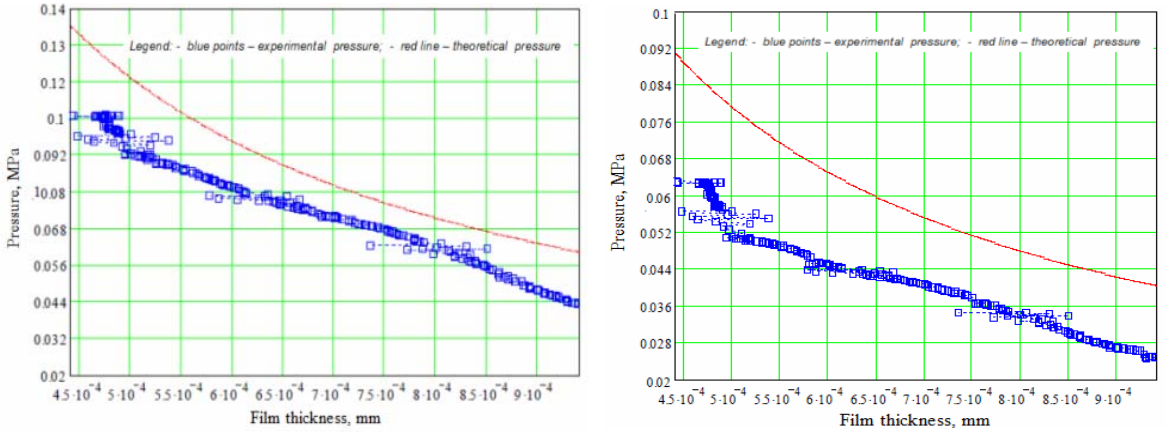


a) Central transducer b) Middle transducer

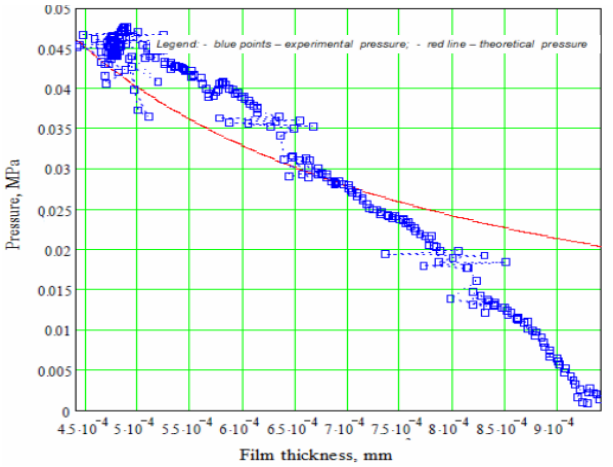


c) Lateral transducer

Fig. 5. Pressure variation for U 230 Ca 2 EP calcium grease (v = 0.025 mm/s)



a) Central transducer b) Middle transducer



c) Lateral transducer

Fig. 6. Pressure variation for UM 185 Li 2 EP lithium grease (v = 0.025 mm/s)

REFERENCES

1. Abdel-Rahman Gamal M. *The fluid flow in the thin films between the immobile conic surface.* Applied Mathematics and Computation, 153 (1), **2004**, 59–67.
2. Abdel-Rahman Gamal M. *Studying the squeeze forces and tilting moments in misaligned radial face seal coning*. Chemical Engineering Technology, 29 (3), **2006**,355–6.
3. Gould P. *High-pressure spherical squeeze films*. ASME J. Lubr Technol 1971;93:207–8.
4. Gupta, JL, KH. Vora. *Analysis of squeeze films between curved annular plates.* ASME J Lubr Technol **1980**;102: 48–50.
5. Lin, JR. *Squeeze film characteristics of long partial journal bearings lubricated with couple stress fluids.* Tribol Int. **1997**;30:53–8.
6. Lin, JR. *Squeeze film characteristics between a sphere and a flat plate: couple stress fluid model.* Comput Struct **2000**;75:73–80.
7. Ikeuchi, K, M. Oka, H. Mori. *A simulation of the squeeze film effect in a hip joint.* Trans Jpn Soc Mech Eng Ser C **1989**;55(510):508–15.
8. Rădulescu, Al.V., C. Bălan, I. Rădulescu. *Analytical Model for Lubricant Squeeze Film between Tilted Circular Surfaces*. 17th International Colloquium Tribology, Esslingen, Book of Synopses, ian. **2010**, pp. 28 (paper on CD)
9. Rădulescu, Al.V. *Thermal Aspects on the Rheology of Lubricating Greases*. International Conference **BALTTRIB**' **2009**, Kaunas, Lithuania, 19 – 21 November, **2009**, pp.41-46.

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof. Dr. Eng., Alexandru Valentin RADULESCU
University POLITEHNICA Bucharest
Spl. Independentei 313, Sect. 6
060042 Bucharest, ROMANIA
e-mail: varrav2000@yahoo.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

MICROSTRUCTURE TRANSFORMATIONS THAT CHARACTERIZE THERMAL FATIGUE WEAR OF THE FORGING DIE STEELS

Adrian Catalin DRUMEANU Stelian Tiberiu PARASCHIVOIU Ioan TUDOR

Razvan George RIPEANU

Abstract: *Thermal fatigue wear is a kind of degradation, which characterizes the metallic element friction surface of some couples, like forging dies, fire guns, heavy-duty mechanical brakes, etc. During the drop forging process the die surfaces are heated at temperature values in the range of 500 ... 800ºC. Because this heating has a variable or almost cyclic character, the thermal stresses and strains effects are similar to that, which characterize the low cycle, fatigue. The paper presents the experimental results, concerning microstructure transformations and mechanisms of cracks propagation, which characterize thermal fatigue wear of the steels used at forging dies construction.*

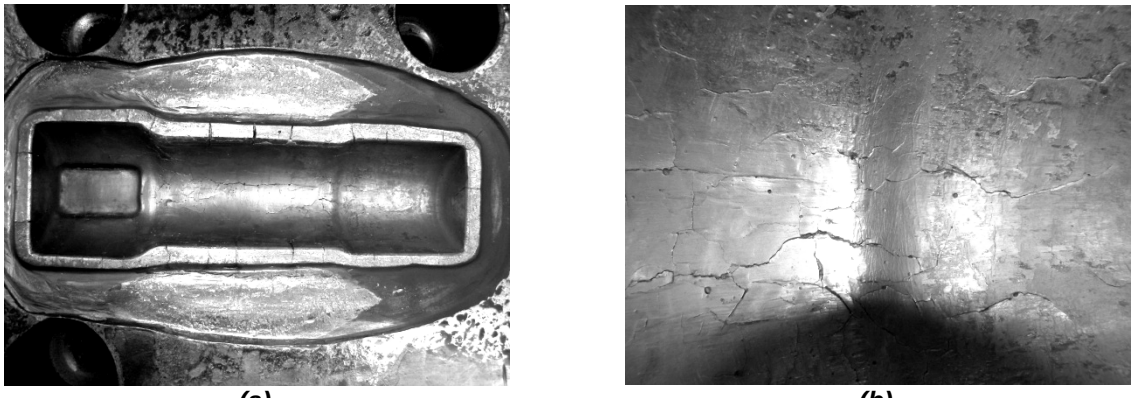
Key Words: *thermal fatigue wear, forging die, steel, microstructure, crack*

1. INTRODUCTION

Thermal fatigue wear is a kind of degradation, which characterizes the metallic element friction surface of some couples, like forging dies, fire guns, heavy-duty mechanical brakes etc. In case of forging dies the thermal stresses and strains, which appear in the friction surface adjacent zone of these couples, have high values, which are higher than the yield limits of the metallic materials used at their construction [1, 2].

During the drop forging process the die surfaces are heated. Because this heating has a variable or almost cyclic character, the thermal stresses and strains effects are similar to that, which characterize the low cycle, fatigue. These effects consist in the cracks appearance on the friction surface. In time, the number and the size of these cracks increase, and the result is the attaining of the fatigue fracture state (see Fig. 1).

Frequently the durability of the forging dies is firstly determined by the non-isothermal fatigue wear, which causes the cracks appearance on their internal surfaces, much more before their abrasion wear to reach the limit value. In these conditions it is necessary to design the forging dies firstly from the point of view of the thermal fatigue wear.



(a) ***(b)***

Fig. 1. Cracks on the forging die: a) die view; b) cracks on forging die surface (detail)

The metallic materials of the forging die subjected to thermal stresses especially at high temperatures, undergo important microstructure transformation which have specific aspects, sometimes much different from those that characterize the thermo-physical phenomena which take place in equilibrium conditions.

An important factor, that influences in a decisive manner the microstructure transformations which are produced in such situations, is the time of exposure at the maximum temperature of the cycle, that most of the times is equivalent with an isothermal maintenance. When this parameter has very small values, tending to zero, the majority of the diffusion processes, initiated during the heating period, are stopped. Other parameters of the thermal cycles, of which depend the intensities of microstructure transformations, are the heating and the cooling rates of the thermo-cyclic stressed structure. Their values can slow down or accelerate the diffusion processes and grain growth.

It has to be mentioned, that up to present, most of the researches in the thermal fatigue wear field were done for the metallic materials like heat-resisting alloys and steels used for the construction of steam-turbines, turbo-jet engines, nuclear equipments, chemical reactors a.s.o. [2].

Also, there are many structures which are cyclic thermal stressed where there are used for construction middle alloy steels. The microstructure transformations of these sorts of steels have been relatively little studied till now [3, 4, and 5].

2. EXPERIMENTAL CONDITIONS

Generally, both isothermal and non-isothermal fatigues of the metallic materials characterize their durability in oligocyclic range (low durability) [1, 6]. The isothermal durability determination in this range presumes the cyclic axial stress in an elastoplastic regime when the maximum and minimum temperature values are maintained constants. Unlike the isothermal fatigue experiments, which are developed under constant amplitude, the non-isothermal fatigue tests present the strain amplitude variation in time. In the first part of the test, the total elastoplastic strain varies until the hysteresis cycle stabilization, and finally it decreases because of the material hardening state appearance. The cylindrical test pieces are recommended for tests with the strain amplitude up to 2 %.

The experiments were developed on a testing stand, specially built for non-isothermal fatigue of the metallic materials [3]. The sample pieces heating on this stand is carried out through thermal effect of electric current. The thermal cycles were accomplished with the test piece strained with compression stresses at the maximum temperature of the cycle (by its fastening in a frame with determined rigidity).

The concrete conditions of the tests were the following:

- test pieces were tested in non-isothermal regime between a minimum and a maximum temperature values;
- test pieces were fastened by enclosure and they were stressed to compression at the maximum temperature of the cycle;
- elastoplastic strain variation was limited using three rigidity steps of the test piece fastened system (12, 28, 55 MN/m);
- maximum cycle temperature values were 700 ^{o}C respectively 800 ^{o}C in accordance with the maximum temperature values which are reached during the forging process;
- minimum cycle temperature value was 100 ^{o}C;
- average heating speeds of the test piece were in the range of 35…80 °C/s;
- average cooling speeds of the test piece were in the range of 5.5…7.0 °C/s;
- absence of the keeping time at the maximum temperature of the cycle;
- the samples were submitted, during their heating and cooling, to relative total strain variation ($\Delta\varepsilon$) with values in the range of 0.19 ... 1.02 % and corresponding to thermal stresses variation ($\Delta\sigma$) in the range of 275 ... 866 MPa.

Experimental determinations were carried out on middle alloyed steel which is frequently used for forging dies construction. Two kinds of sample pieces were used: one type made from normalized steel and the other made from temper hardening steel.

Chemical composition of tested steel is: C = 0.34 [wt. %]; Mn = 0.55 [wt. %]; Cr = 1.55 [wt. %]; Ni = 1.6 [wt. %]; Mo = 0.23 [wt. %]. Mechanical characteristics of tested steel are presented in Table 1.

Table 1 Mechanical characteristics of the tested steels

Type of the steel	Mechanical characteristics				
	Tensile strength [MPa]	Yield limit [MPa]	Elongation [%]	Reduction of area [%]	Hardness, HB
Normalized	900…1100	700	12	48	225
Temper hardening	1200…1400	1000	9	40	248

The initial microstructure state of the tested steels was conformable to the thermal treatment to which they were submitted, respectively pearlitic-ferrite for normalized steel and sorbite for temper hardening steel.

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

The test pieces subjected to thermal fatigue have a specific shape which consists in three different zones (see Fig. 2). One is situated in central zone of calibrated part of test piece where the material is subjected to compression (barrel shape), and the other two where the material was constrained to tensile stresses (bobbin shape). The kind of stresses (compression or tensile), and the maximum temperature of thermal cycle influence the material microstructure transformations.

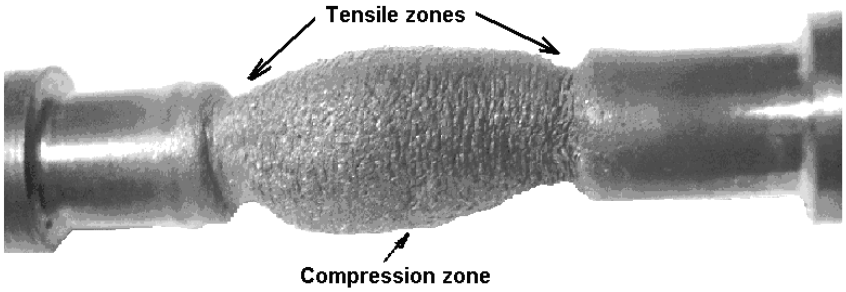


Fig. 2. Test piece subjected to thermal fatigue

The cyclic heating and cooling of the test pieces which take place in intercritic and subcritic range have consequence, for the normalized steel tested at t_{max}=800 ºC, the structure finishing, especially in the central zone of test piece, where the temperature of the cycle has maximum value (see Fig. 3). From Fig. 3 it can be observed that the heating in intercritic range caused the partial austenitization at each stress cycle, and at the cooling resulting globular pearlitic structures with much heterogeneity due of the precipitation and coagulation carbides phenomenon.

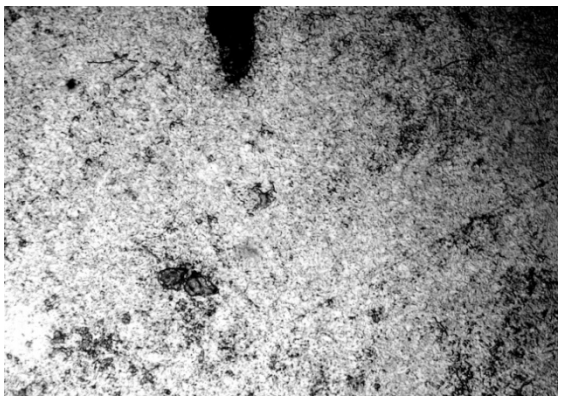


Fig. 3. Normalized steel, t_{max} = 800 ^{o}C, $\Delta\varepsilon$=1.0 %, N=136 cycles; adjacent structure to a crack tip in test piece central zone (x 1000)



Fig. 4. Normalized steel, t_{max} = 800 ^{o}C, $\Delta\varepsilon$ = 1.0 %, N=136 cycles; adjacent structure to a crack tip in test piece tensile zone (x 1000)

From Fig. 4, for the same sort of steel, cyclic heated at t_{max} = 800 ºC, in tensile zone of the test piece, it can be remarked the different structure which consist in lamellar and acicular pearlite with many cracks. Also, it can be observed the globular ferrite (see Fig. 3) and even acicular ferrite (see Fig. 4) appearance tendency.

For the temper hardening steel, heated at t_{max}= 800 ºC, in the central zone of the test piece the structure consists mainly from acicular pearlite, acicular ferrite and carbides congestion (see Fig. 5). For the same kind of steel, in the tensile zone, structure is the same but finer than those of central zone (Fig. 6).

The normalized steel, cyclic heated at t_{max}= 700 ºC, the microstructure consists in globular pearlite, globular and acicular ferrite and precipitated carbides (Fig. 7). The finest structure can be observed in the test piece central zone while in the tensile zone the structure finesse was much reduced.

In the case of temper hardening steel, cyclic heated at t_{max}= 700 ºC, because of the diffusion processes which are interrupted at each cycle and of the fine initial structure, the final microstructure is composed preponderant from globular pearlite and less acicular ferrite, and the residual austenite quantity is bigger (see Fig. 8).



Fig. 5. Temper hardening steel, t_{max} = 800 ºC, $\Delta\varepsilon$=0.8 %, N=136 cycles; structure in test piece central zone (x 1000)



Fig. 6. Temper hardening steel, t_{max} = 800 ºC, $\Delta\varepsilon$=0.8 %, N=136 cycles; structure in test piece tensile zone (x 1000)



Fig. 7. Normalized steel, t_{max} = 700 ^{o}C, $\Delta\varepsilon$=0.16 %, N=380 cycles; structure in test piece central zone (x 500)



Fig. 8. Temper hardening steel, t_{max} = 700 ºC, $\Delta\varepsilon$=0.36 %, N=400 cycles; structure in test piece tensile zone (x 500)

Taking into account of thermal cyclic stresses (maximum and minimum temperatures, heating and cooling speeds) and chemical composition of tested steel, with the austenite granulation finishing there appear precipitation and coagulation carbides phenomena. These phenomena are intensifying as the number of thermal cycles increasing. Also, because of alloying elements concentration fluctuation in ferrite and austenite there appear phasic aging and hardening phenomena of the ferrite.

The quantitative evaluation of these phenomena and the structure hardening were performed microhardness determination using Vickers method with 0.51 N load. For this, the samples were sectioned along the symmetry axis, and the surface was polished and attacked with nital. The determinations were made unilaterally from the center to the end of the sample (see Fig. 9 and Fig. 10). Regarding the microhardness determination it can be done the following observations:

- for normalized steel, cyclic heated at t_{max} = 800 ºC, the structural hardening in sample central zone is lowest, about 350...370 HV (see Fig. 9); this increase is higher than for the temper hardening steel (about three times) if it is reported to the microhardness values registered at the sample extremities;
- the highest structural hardening appears for temper hardening steel cyclic heated at t_{max} = 800 ºC (see Fig. 10), whose structure in the central sample zone presents maximum microhardness values up to 500 HV (about two times higher than the thermal uninfluenced zone from the extremities):
- for temper hardening steel, cyclic heated at t_{max} = 700 ºC (see Fig. 10), the hardness increases are relatively small (about 1.5 times) when the total relative strain has average values ($\Delta\varepsilon$ = 0.36 %) and the durability is higher (N = 400 cycles);
- the micro-hardness increase in the sample central zone in comparison with the samples extremities, for normalized steel cyclic heated at t_{max} = 700 ºC, are about two times for small values of total relative strain (0.16 %), and about three times for higher total relative strain values respectively (see Fig. 9).

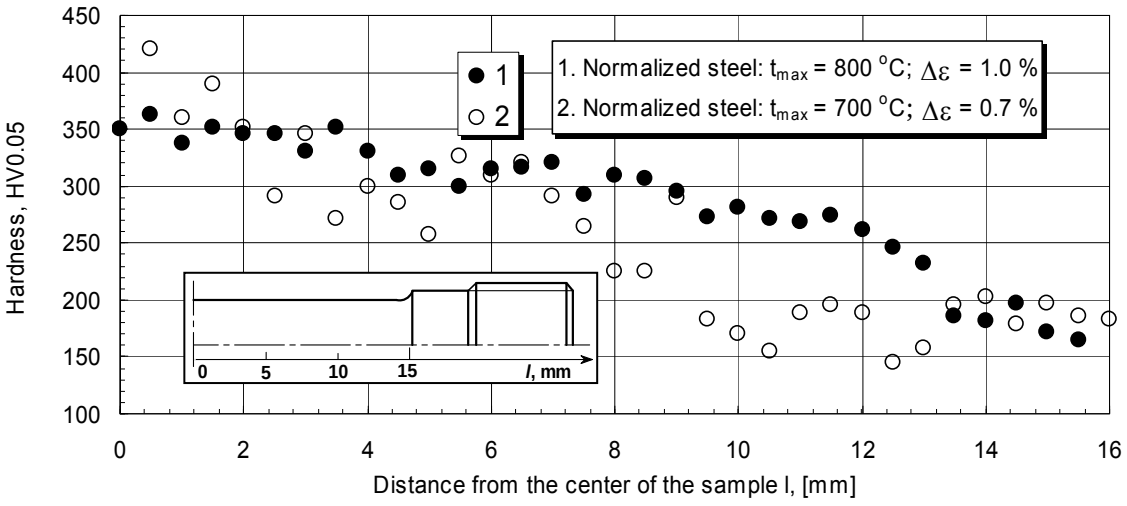


Fig. 9. Microhardness variation with the distance from the center of the sample for normalized steel

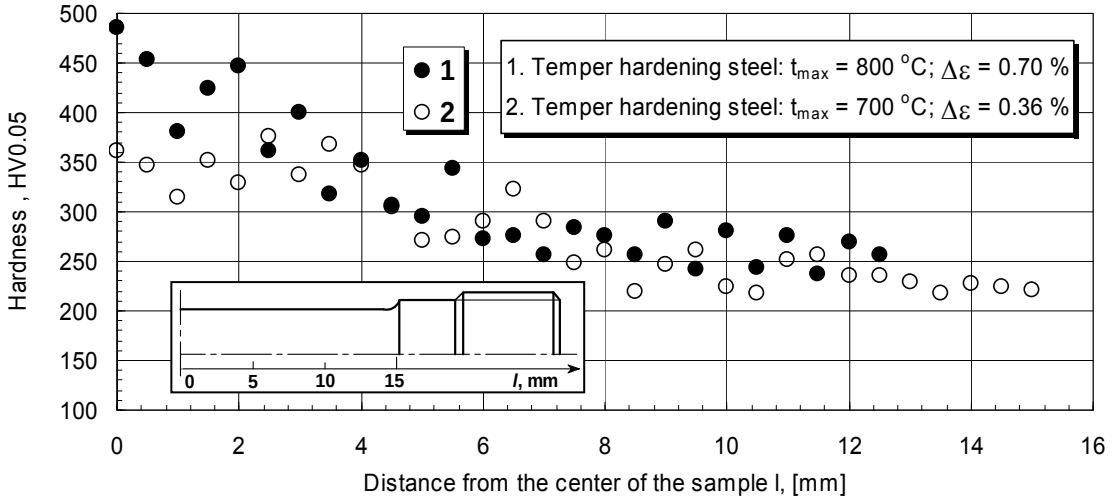


Fig. 10. Microhardness variation with the distance from the center of the sample for temper hardening steel

Cracks initiation and development in tested samples depend on the existence of a lot of factors concerning the parameters of the stress thermal cycle, material type, thermal stresses and strains, hardening tendency of the material and its microstructure. Regarding the crack appearance there can be done the following remarks:

- in most of the cases the cracks appeared in central zone of the sample, where the compressing-tensile stresses were maximum (Fig. 2);
- cracks orientation was on normal direction on the sample generating axis;
- cracks appearance was preceded by the corrugation phenomenon of the external surface of the sample. These aspects are in accordance with Wood's theory [6] after which the fatigue crazes initiation is explained as a result of stresses concentration in the surface zone. The effect, at a microscopic scale of the extrusion and intrusions is, in this situation, similar to that of the microscopic stresses concentrator (see Fig. 2 and Fig. 4);

The cracks propagation mechanism for the analysed steels has the following particularities:

- for tested steels, the cracks generally have pointed tops which is an indication of their propagation in a hardened or tough structure (see Fig. 3 and Fig. 7);
- the cracks character is without exception intercrystalline and it follows the limits of the initial grains of austenite (Fig. 4,6 and 8);

- cracks development was done in zones where ferrite share is higher, because after the quick stresses, the ferrite presents a strong division of the grains with an enough high hardness and also, a high interphasic heterogeneity (Fig. 4, 5 and 7);
- cracks propagation was visible influenced by the precipitated globular carbides in the preponderant ferritic zones, especially on the intergranular limits, corresponding to the primary particle of austenite (Fig. 4, 6 and 8).

4. CONCLUSIONS

The main conclusions of the paper are the following:

- the consequence of thermal cyclic stresses is granulation finishing, carbide coagulation and precipitation, microstructure hardening respectively obtaining of a microstructure far of those which corresponds at equilibrium conditions;
- maximum temperature of the stress thermal cycle and the number of the stress cycles have reverse compensatory effects on the structure degree of fineness which appear due of the repeated cycles of heating and cooling;
- the microstructural hardening degree is influenced by chemical composition (especially the carbon and chromium content), the total relative strain level, the thermal stresses value, the number of thermal stress cycles, the maximum and minimum temperature values of the thermal cycle, the initial characteristics of structure;
- maximum temperature value of the cycle and the number of cycles have reverse effects on the microstructure hardening; high maximum temperature value and small number of cycles have same effect like low maximum temperature value and large number of stress cycles;
- the cracking process is preceded by the formation of some complex structures which have a high hardness and accentuated fragility. These structures are made from a ferritic matrix with grain carbides precipitate so with a phasic hardening and accentuated structural heterogeneity.

REFERENCES

1. Dulnev, R.A., P.I. Kotov. *Thermal Fatigue of Metals*. Masinostroenie, Moskva, **1980**.
2. Tuleakov, G.A. *Thermal Fatigue in Thermal Energy*. Masinostroenie, Moskva, **1978**.
3. Drumeanu, A.C., N.N. Antonescu, R.G. Ripeanu. *Some Aspects Concerning the Experimental Determinations Methodology for the Non-Isothermal Cyclic Durability of the Machine Steels*. 3rd International Conference on manufacturing Engineering, "**ICMEN'08**", Kallithea of Chalkidiki, Greece, 01-03.10.**2008**, Proceedings of Papers, **2005**, pp.423-434. **ISBN** 960-243-615-8.
4. Antonescu, N.N., A.C. Drumeanu, I. Nae. *Some Aspects Concerning Wear by Thermal Fatigue of Some Steels Used to Dry Friction Couples Construction*. 10th International Colloquium Tribology, Esslingen, Germany, 09-11.01.**1996**, Proceedings of Papers, **1996**, pp. 899-908. **ISBN** 3 - 924813 - 34 – 5
5. Drumeanu, A.C., N.N. Antonescu. *Wear by Thermal Fatigue of the Metallic Elements from the Mechanical Brakes*. 11th International Colloquium Tribology, Esslingen, Germany, 13-15.01.**1998**, Proceedings of Papers, **1998**, pp. 1927-1934. **ISBN** 3-924813-39-6.
6. Rusu, M., M. Teodorescu, N. Lascu-Simion. *Materials fatigue*. Technical Publishing, Bucharest, **1992.**

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof. Dr. Eng. Adrian Catalin DRUMEANU
Petroleum – Gas University of Ploiesti
39 Bucharest Blvd, 100680 Ploiesti, Romania
e-mail: drumeanu@upg-ploiesti.ro

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

THE THEORETICAL EVALUATION AND EXPERIMENTAL MEASURING OF THE FRICTION FORCES FROM THE SEALING OF ROD AT THE HYDRAULIC CYLINDERS

Corneliu CRISTESCU Petrin DRUMEA Catalin DUMITRESCU

Abstract: *The paper presents some technical problems specific for the mobile sealing, used in construction of the hydraulic cylinders, and the theoretical and experimental methods which allow the determining of the friction forces which appear in the sealing of the rods. There are presented, under the graphical shape, some theoretical results obtained by the method of the mathematical modelling and numerical simulating and, also, some experimental results obtained with an experimental device mounted on a test bench used for the friction forces experimental measuring.*

Key Words: *mathematical modeling, sealing, friction forces, tribology, measurements.*

1. INTRODUCTION

At the hydraulic cylinders, the sealing may be fixed or mobile. **F**rom the point of view of the relative motion between the sealing surfaces, the mobile ones may be with rotation or translation motion, the last ones being the subject of the present article. The mobile translation sealings are specific to the hydraulic cylinders and there could be for sealing of the rod, Fig. 1, or for sealing of the piston, Fig. 2. In Fig. 1, where is realize the sealing of the rod with diameter d, being in reciprocating translation motion, on the stroke on the fluid with the constant viscosity η and under pressure p. In the Fig.1, d is the rod diameter, S is the rod stroke, v and v_r are the velocities in the both senses.

In the Fig. 2 is presented the sealing of the piston with diameter d, being in reciprocating translation motion on the stroke, versus the fluid with the constant viscosity η and under pressure p.

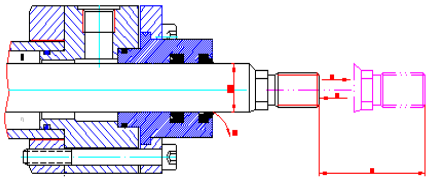


Fig. 1. The sealing of the cylinder rod

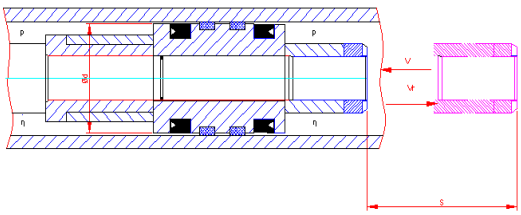


Fig. 2. The sealing of the cylinder piston

Performing optimum mobile sealings represents a key factor for providing the reliability of the drive systems to which they belong, inclusively for reducing hard wears**,** caused by the modification of the kind of lubrication used. The leakage represents a fluid loss through the fitting and the component parts towards which has a relative motion. When the rod, under the action of the working pressure, gets out with the speed v and gets back with the speed v_r are produced some fluid losses which can be calculated. At the mobile with contact sealings, with component parts in relative motion, matter much the modality of obtaining compression needed for sealing, usually due to external or internal forces [1]. In the hydraulic power systems are used mainly sealings realized under the internal forces effect, more precisely of internal pressure which is sealed by different kinds of gasket

The sealing process is influenced, beside the phenomena, from the sealing interstice, by the gasket type, material and shape and the characteristics of the sealed medium. The sealing process by contact, related to an interstice which must be closed, may be well defined by the pressure gradient, size which determines the allure of the curve, representing the pressure decline along the length ***l*** of the sealing interstice. The higher is the gradient pressure, the more abrupt is the curve representing the pressure variation in the interstice. Each sealing type has a characteristic pressure decline curve. The presence of a pressure difference shows that, in fact, there is present a leakage too.

2. THE STUDIED PHYSICAL MODEL

In order to known the sealing process for the rod of a hydraulic cylinder, it is considered a mobile sealing with the rod diameter *d* [m], width *l* [m] and height *b* [m], Fig. 3.

For analyzing the sealing process and the tribological behavior of the sealing must be determined the pressure distribution and tangential shearing efforts, for evaluating the portent force of the sealing and, respectively, the friction force and the coefficient of fluid friction between rod and the sealing ring, in the conditions of the leakages caused by the working pressure. The process of mobile sealing of the hydraulic cylinder rod is realized in conditions of friction-fluid lubrication, when between the surfaces with relative motion with speed ***v***, the sealing sleeve and cylinder rod it is provided continuous and portent lubrication with fluid lubricant which adhere to the component parts in motion. By the action of the oil pressure which appears inside the hydraulic cylinder and its tendency to get out it is created an interstice between sleeve and rod where it is produced a sudden pressure decline from the working pressure to the atmospheric pressure from outside the sealed area. The shape of this interstice depends on the working pressure, the reliability and stiffness of the material from which it is made the sealing sleeve and may be inclined plane, parabolic or wedge form.

In what follows, it will be considered *a wedge shaped interstice***,** Fig. 4, where the height of the fluid film *h* vary linear**,** from a minimum value, almost null to the exterior area of the sealing, to a maximum one of tens of microns inside the sealed and pressurized area [2]. Because the thickness of the film is small, there is no flow on the direction of the axis y**.** Also, taking into account that in the direction of the axis *z*, perpendicular on the figure, there is no fluid leaking and the flow is null.

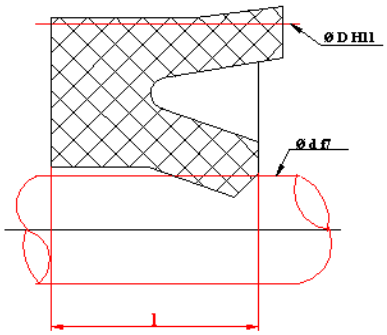


Fig. 3 The studied mobile sealing

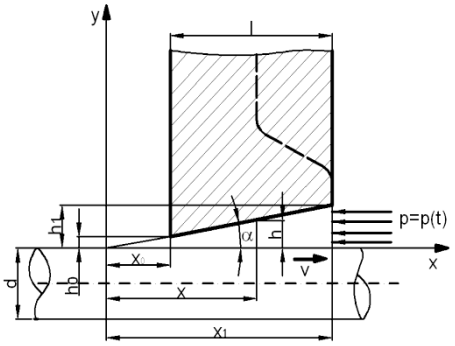


Fig. 4. The wedge shaped interstice

In the hydraulic sealing, the leakage appears only on the direction *x***,** this meaning that it can be considered the mobile translation sealing depends only on a plane flow.

In these hypothesis, for describing the process of fluid sealing at the mobile sealings with an wedge shaped interstice will be used the well-known equations from the mechanics of fluids [3].

2.1. The mathematical modeling of the mobile translation sealing

On the base of the equations of motion and of the kinematics conditions on edge, it can be calculated *the speeds distribution* in the fluid film on the direction *x***,** with the follows equation:

$$v_x = -\frac{1}{2\eta}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}y(h-y)+\frac{v}{h}(h-y) \tag{1}$$

On the base of the speeds distribution relation (1), may be determined the fluid flows $q_{1x,}$ on *x* direction, through a surface with the height *h*, width equal with the unit, perpendicularly on the flow direction *x* and the rod speed v. The flows on the directions *x*, for an unitary length, is calculated as :

$$q_{1x} = \int_0^h v_x.dy = -\frac{h^3}{12.\eta}.\frac{\partial p}{\partial x}+\frac{vh}{2} \tag{2}$$

Using the equation (2), it is obtained the equation of continuity, for the fluid column of height *h* and having as basis a rectangle with the dimensions *dx* and, respectively *1*, as: $(\partial q_{1x}/\partial x)=0$.

Replacing the flows from the relations (2), in the equation from above, it results a Reynolds equation, for a only direction of flow x, as follows:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{h^3}{12\eta}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}\right)=\frac{v}{2}\cdot\frac{\partial h}{\partial x} \tag{3}$$

The equation from above (3), may be integrated when it is known the variation of thickness of the fluid film *h* depending on *x.* If the viscosity is constant, the fluid height variable, $h=h(x)$, and that the pressure gradient varies only on the axis *x*, finally, the Reynolds equation becomes (4):

$$\frac{d}{dx}\left(h^3\cdot\frac{dp}{dx}\right)=6\cdot\eta\cdot v\cdot\frac{dh}{dx} \tag{4}$$

Fo integration, because the pressure varies from the maximum value inside the pressurized area to a value close to the atmospheric pressure outside the sealing, then the constant of integration *C* it is determined from the condition that at entering the pressurized area, when $x = x_1$, and h = h1, pressure has the maximum value, $p = p_{max}$, and the pressure gradient is null. Finally, it was obtained:

$$\frac{dp}{dx}=6\cdot\eta\cdot v\frac{h-h_1}{h^3} \tag{5}$$

If it is known the expression of the variation of height *h* of the pressurized fluid interstice, then the equation may be integrated. For example, in case of the wedge shaped interstice from Fig. 4*,* $h=xtg\alpha\cong x\cdot\alpha$. The *pressure distribution***,** on the sealing width, it is obtained by integrating the equation from above (5):

$$p(x)=\int_0^x(6\cdot\eta\cdot v\cdot\frac{h-h_1}{h^3})dx \tag{6}$$

The portent force produced by the fluid pressurized under gasket, with diameter *d* and the length $g=\pi.d$, around of the rod diameter, by integration is obtained the pressures on the surface *(g.dx*):

$$Fp=\int_0^x p(x)\cdot g.dx \tag{7}$$

It is known that, on the base of the Newton Law**,** may be determined *the viscous shear tensions* at the contact of the fluid with the surface of the cylinder rod (y=0), with the relations:

$$\left(\tau_{yx}\right)_{y=0}=\left[\eta\frac{\partial v_x}{\partial y}\right]_{y=0}=-\frac{1}{2}\cdot\frac{\partial p}{\partial x}\cdot h+\frac{\eta.v}{h} \tag{8}$$

Taking into consideration the pressure gradient expression (5), the *tangential effort* or the *shearing tension* at the level of the contact with the friction surfaces on the axis *x,* is obtained with equation (9):

$$\tau_{yx}=-\frac{1}{2}\cdot 6\eta v\frac{h-h_1}{h^3}h-\frac{\eta\cdot v}{h}=-\eta v\left(\frac{4h-3h_1}{h^2}\right) \tag{9}$$

$$F_f=-\int_0^x\tau_{yx}\cdot g.dx=-\int_0^x\left[-\eta\cdot v\cdot\left(\frac{4h-3h_1}{h^2}\right)\cdot g dx=\eta.v.g.\int_0^x(\frac{4h-3h_1}{h^2}).dx\right. \tag{10}$$

$$\mu = \frac{F_f}{F_p} = \frac{\eta \cdot v \cdot g \cdot \int_0^x \frac{4h - 3h_1}{h^2} \cdot dx}{6 \cdot \eta \cdot v \cdot g \cdot \int_0^x \left(\frac{h - h_1}{h^3} \right) \cdot dx} = \frac{\int_0^x \left(\frac{4h - 3h_1}{h^2} \right) dx}{6 \int_0^x \left(\frac{h - h_1}{h^3} \right) dx} \tag{11}$$

The friction force, or fluid friction on the gasket width, will be obtained from relation (10), and t*he friction coefficient* with relation (11).

2.2. Some theoretical results obtained by computer simulation

Taking in consideration the *relations*: (1), (2), (5), (6), (7), (8), (9), (10), and (11), it can obtain the *mathematical model* which describes the tribological behaviour of the mobile translation sealing. This mathematical modeling was used in order to simulate on computer the tribological process which appears between the rod and the sealing sleeve [4]. Using this relations and the one simulating soft, it was elaborated and informatic model in order to simulating the tribological phenomena of the fluid sealing. The simulating program allowed obtaining a lot of graphical variation of the main parameters of the process. Some of them are presented in the figures 5, 6, 7 and 8.

For realizing the simulation on computer of the presented model were used as test data the functional and structural characteristics of a mobile sealing for the rod of a hydraulic cylinder with the dyameter d=25 mm, the width l=10 mm and the rod speed towards sealing is v=0,5 m/s and oil H46.

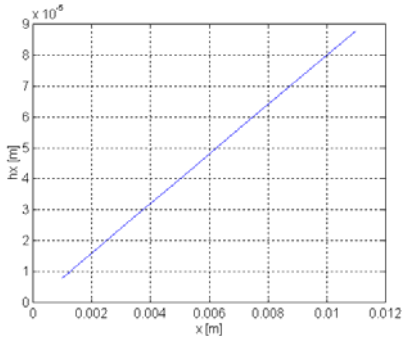


Fig. 5. The variation of the wedge interstice

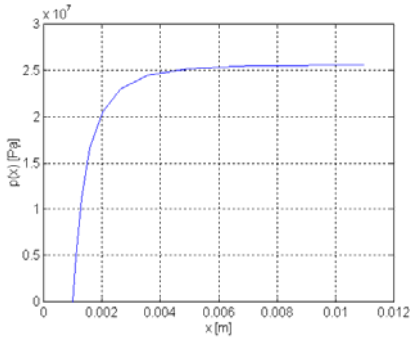


Fig. 6. The variation of the fluid pressure

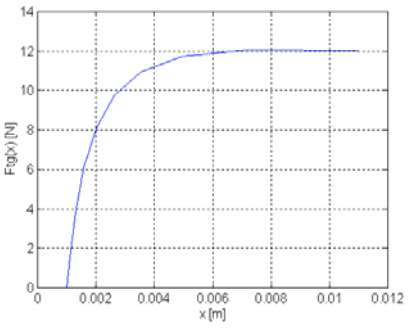


Fig. 7. The variation of the tangential effort

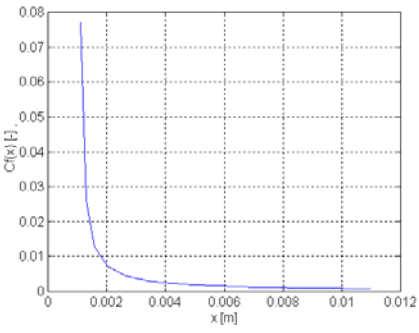


Fig. 8. The variation of the friction coefficient

The diagram from Fig. 5 shows the variation of the interstice betweeen the friction surfaces considered to have the shape of an inclined plane (wedge) with a min.value of 5 **μ**m and maximum 80 **μ**m, in conformity with the information from the specialized literature [2]. The pressure variation, alone the width of the gaket, is shown in the Fig. 6. The pressure distribution, between the friction surfaces sealed, create a portent force of the sealing Fp(x). Also, cause of the relative speed between the sealed surfaces, in the pressurized fluid appear tangential efforts, which varies like in Fig. 7. There are the fluid friction forces between the sealed surfaces. By integrating these unitary tangential efforts on the friction surface of cylinder shape, it is obtained a friction force Ftg(x, force which is perpendicular on the portent force. The relation between the tangential friction force and the portent force varies like in Fig. 8, which represents the variation of the coefficient of fluid friction between the sealing gasket and the hydraulic cylinder rod.

3. THE EXPERIMENTAL MEASURING OF THE FRICTION FORCES

3.1. Experimental device principle

In order to evaluate the friction forces from the sealing of the hydraulic cylinders, was projected and realized an experimental device**.** This experimental device is conceived purposefully for working by mounting it on a stand which provides operational strokes. The main element of the experimental device is represented by the technical solution found for maintaining under the pressure of the operational fluid the sealing of the cylinder rod, without generating additional pressure forces on the rod head, which may affect the result of the measurements. The adopted technical solution was the replacement of the rod cylinder head sealing, Fig. 9, with one double sealed guidance bushing, which to contain 2 U type sealings, fixed with the wings facing one another, see Fig. 10.The operational fluid is injected between these two sealing elements, identical with that of a hydraulic cylinder running and can be measured by means of one *pressure transducer*. That is why it is assumed that the friction force F_f , between a seal and a rod, represents, approximately, half of the force measured at the rod by the force transducer F_m , minus the wgheit of the rod, G_t.: *Ff = Ff1 = Ff2 = (Fm – Gt)/2.*



Fig. 9. The rod cylinder head sealing

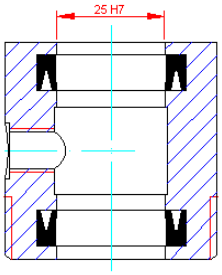


Fig. 10. The double sealed bush

3.2. Presentation of the experimental device for measuring friction forces

The experimental device is presented in the Fig. 11. In the schematic representation*, it* can see that, the rod (1) being fixed and suspended on the upper bridge of the stand, by means of a threaded bush (2), by the force transducer (3), connected at the other side by the up catching stationary head (4) of the existing stand. Downside, the rod crosses the double sealed bush (5) assembled by means of a nut (6), from the used cylinder, by its liner (7). The cylinder liner is used just for supporting the double sealed bush and for making pace necessary for performing the operational strokes of the cylinder rod. Downside, the cylinder liner is connected to the mobile rod (8) of one the hydraulic cylinder, of the existing stand where is mounted, by means of a connection part (9) and a nut (10). The experimental device, Fig. 12, operates in vertical position and need the mounting the liner of the experimental device on the mobile rod of the hydraulic cylinder of one existing stand, Fig. 13. This stand , by plant hydraulic own, provides the motion of the cylinder liner, together with the double sealed bush, up and down and, also, the measuring of the stroke with an stroke transducer. The rod of the cylinder, which passes through the double sealed bush, is immobile. In this manner, will be eliminate the risk of additional inertial force which can perturb the force transducer.

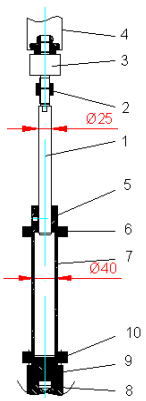


Fig. 11. Schematic representation



Fig. 12. The experimental device



Fig. 13. The existing bench test

3.3. Some experimental results

This experimental research was made in order to measuring of the friction force which appears between the cylinder rod and the seal system. In the first series of measuring, it was tested one type of seal, named *U sleeve*, for one kind of material and only for the sealing of the rod, and not for piston. One experimental result is given in Fig. 14, for *150 bar* and theoretical working speed of 0.100 m / s.

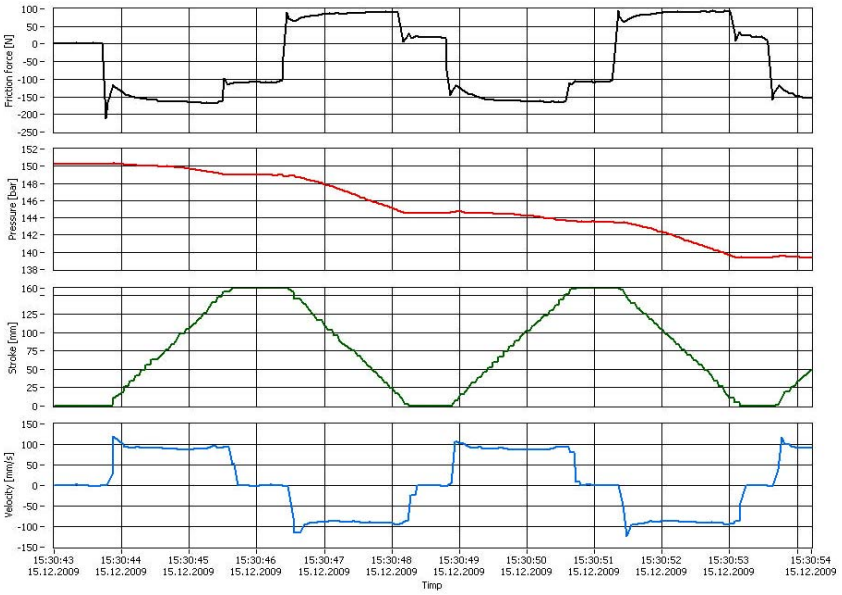


Fig. 14. The graphical variation for the main parameters

The measuring was made for the working pressure between 0 and 250 bar, in pressure steps for 25 bar, for two theoretical working velocities: 0.100 m/s and 0.050 m/s. For each measurement, were obtained the variations of the friction force; the pressure; the working stroke and the working speed.

4. CONCLUSIONS

The paper presents some technical problems of the mobile sealing used in construction of the hydraulic cylinders and, also, some theoretical graphical results, obtained by numerical simulating.

In the second part, is presented an original experimental device, made to study the real hydraulic rod seals and, also, some experimental results. The friction force on the seals is measured by a force transducer, the fluid pressure by a pressure transducer and the working stroke by a stroke transducer.

In this theoretical and experimental research were obtained a lot of interesting results and will be continued in the future in order to validate the mathematical model.

ACKNOWLEDGMENTS

Paper was elaborated on *Program NUCLEU*, financed by *Romanian Research Authority*-ANCS.

REFERENCES

1. Cristea, V., G. Creta, D. D. Ivan, P. Ardeleanu. *Sealings*. Editura Tehnica, Bucuresti, Romania, **1973.**
2. Catrina, Gh. *Introduction in Tribology.* Publishing House *Universitaria*, Craiova, Romania, **2002.**
3. Pavelescu, D., M. Muşat, A.Tudor. *Tribology*. Didactic and Pedagogic Publishing House, Bucharest, Romania, **1971.**
4. Cristescu, C., P. Drumea. *Mathematical modelling and numerical simulation of the tribological behaviour of mobile translation sealing subjected at high pressures*. In: Hidraulica, Sept. **2008**, no. 2, pp. 26-33, **ISSN** 1453-7303. Bucharest, Romania, **2008**.

CORRESPONDENCE

Ph.D. Corneliu CRISTESCU
Organisation, Address: INOE 2000-IHP, Cutirul De Argint 14, Sector 4, Bucharest, 040557, Romania
E-mail: cristescu.ihp@fluidas.ro

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

IMPROVING TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS BY NITRIDING TREATMENTS

Razvan George RIPEANU Ioan TUDOR Octavian ONITIU

Abstract: *Two austenitic stainless steels, AISI 304 and stainless steel AISI 316, have been elected having a spread use in the construction of equipments from petrochemical and refinery industry. Test samples obtained from these steels have been submitted to a gases nitriding treatment and in parallel to plasma nitriding treatment. Paper presents the tribological results obtained on ball-on disk and linear contacts couples on universal tests machines. Metallographic structure and surface microgeometric analyzes were also presented.*

Key Words: *austenitic stainless steel, gases nitriding, plasma nitriding, wear.*

1. INTRODUCTION

Austenitic stainless steels have a good behavior in the presence of powerfully oxidant or corrosive environments, but with the disadvantage of a weak attitude in friction conditions due to the combined effects of the temperature produced by friction and of the superficial plastic distortions, especially in the presence of work environments presenting poor lubricant qualities.

To improve tribological qualities, can be recalled the application of thermal and thermo-chemical treatments, in the desire to obtain a tough, ductile and homogenous layer, which:

- reduces the action of conjugated asperities of the surface;
- increases shear resistance;
- increases resistance at superficial fatigue;
- increases corrosion resistance.

The austenitic stainless steels are widely used in petroleum industrial fields because of their very high general corrosion resistance. Austenitic stainless steels can suffer pitting or crevice corrosion in specific petroleum environments and their low hardness and wear resistance can limit the number of possible industrial applications.

Traditional gas nitriding performed at relatively high temperature (500^0C or above) can increase the surface hardness and the wear resistance, but generally decreases the corrosion resistance [3]. At these temperatures, the chromium diffusion coefficient is quite large, and then the chromium atoms can move, preferentially bind nitrogen atoms and lead to the formation of the very stable and hard CrN [5]. The Cr-depleted austenitic matrix zones cannot therefore form a uniform and protective passivity film and are subject to active corrosion. Low-temperature nitriding allows obtaining a modified layer essentially composed by a metastable phase known as supersaturated or expanded austenite named *S*-phase [3,4,5,6], which, due to its large nitrogen concentration, has proved to have higher hardness and higher pitting corrosion resistance in comparison with the untreated material.

Nowadays, are used different technologies, like plasma source ion nitriding, plasma immersion ion implantation, low energy ion implantation, magnetron sputtering and plasma nitriding [2, 3], to perform low-temperature nitriding treatments and produce surface-modified layers.

2. EXPERIMENTS

Two austenitic stainless steels, stainless steel AISI 304 and stainless steel AISI 316 with chemical composition presented in Table 1, have been elected having a spread use in the construction of equipments from petrochemical and refinery industry. Test samples obtained from these steels have been submitted to a gases nitriding treatment in two stages, at a temperature of 505°C, namely 545°C for 14 hours, and in parallel to an ionic nitriding treatment at a temperature of 480°C for 8 hours.

Tribological parameters were establish on universal tribometers like tribocorrosion wear machine, as shown in Figure 1 and C.S.M. microtribometer ball on disk [1, 2], which allowed obtaining wear rate and friction coefficients.

Table 1 Chemical composition of tested stainless steels

Material	Element	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	P	S	Fe
316	% by weight	0.075	1.31	0.39	17.65	10.30	2.20	0.04	0.004	Bal.
304		0.08	1.2	0.42	18.1	9.50	0.7	0.039	0.005	Bal.

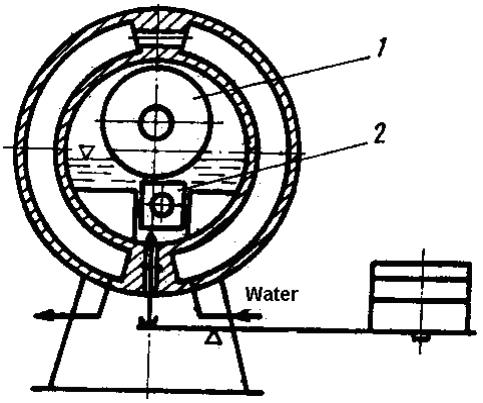


Fig. 1. Tribocorrosion wear machine
1-cylinder sample; 2-plane static sample

Testing conditions at tribocorrosion wear machine were:

- samples made of 304 and 316 steels untreated, gas nitrided and plasma nitrided;
- normal load, N = 25 N;
- sliding speed, v = 0.42 m/s;
- cylinder diameter, D = 40 mm;
- speed of rotation, n = 200 r.p.m;
- formation water as working medium;
- temperature $T = 20^{o}$C.

In Figure 2 is presented the volumetric wear results obtained for AISI 316 cylinder material sample and in Figure 3 the volumetric wear results obtained for AISI 304 cylinder material sample on tribocorrosion machine.

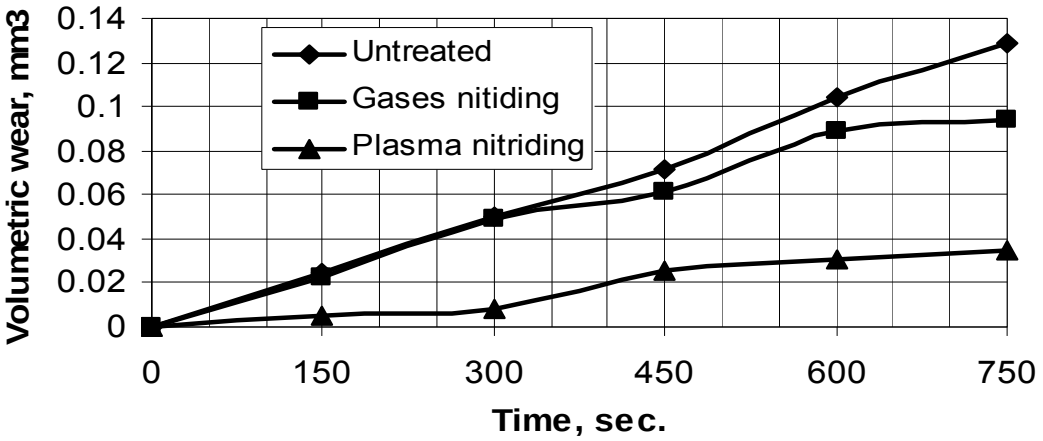


Fig. 2. Wear curve for AISI 316 material steel cylinder

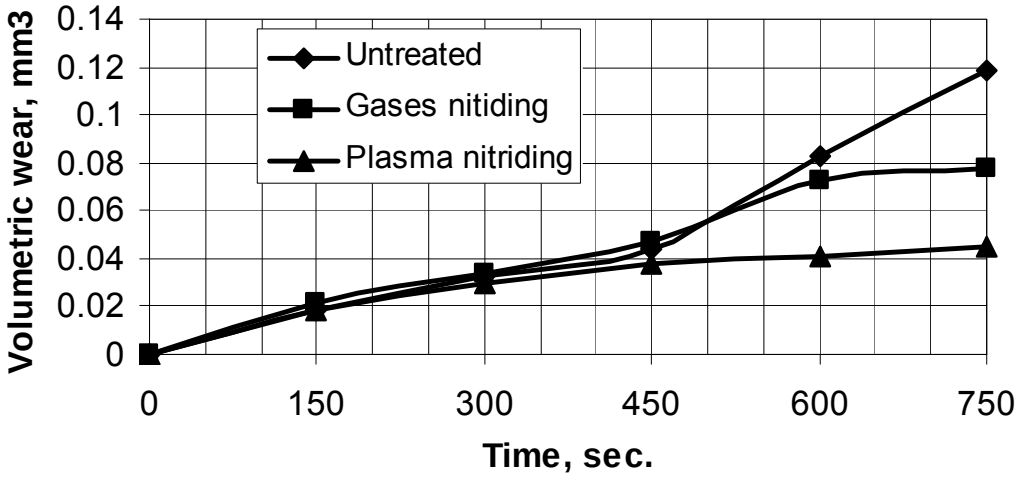


Fig. 3. Wear curve for AISI 304 material steel cylinder

From Figures 2 and 3 it could be observed that the smallest values of volumetric wear were obtained for samples plasma nitrided

Tests conditions on CSM microtribometer [1], were: disk samples made of AISI 304 and AISI 316 material steels untreated, gas nitrided and plasma nitrided, ∅6mm ball of 100Cr6, normal load N = 4N, sliding speed v = 0.366 m/s, dry friction length L = 100 m, temperature 20°C, relative humidity RH=33%.

In Figure 4 it is shown the friction coefficients for AISI 316 material samples and in Figure 5 for AISI 304 material samples.

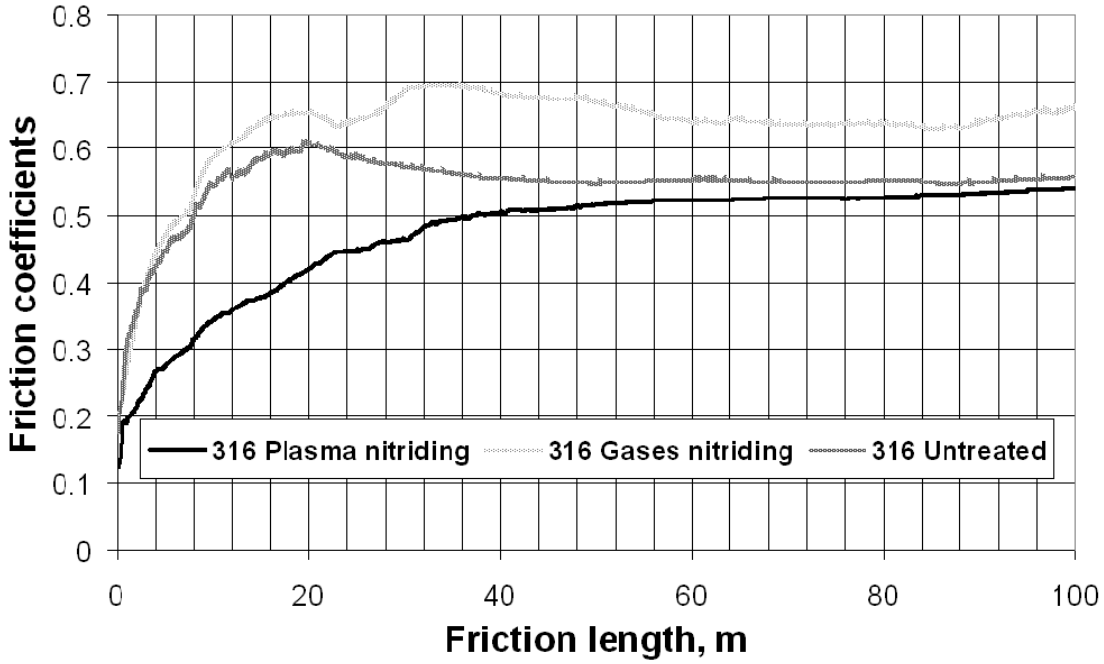


Fig. 4. Friction coefficients vs. friction length for material sample AISI 316

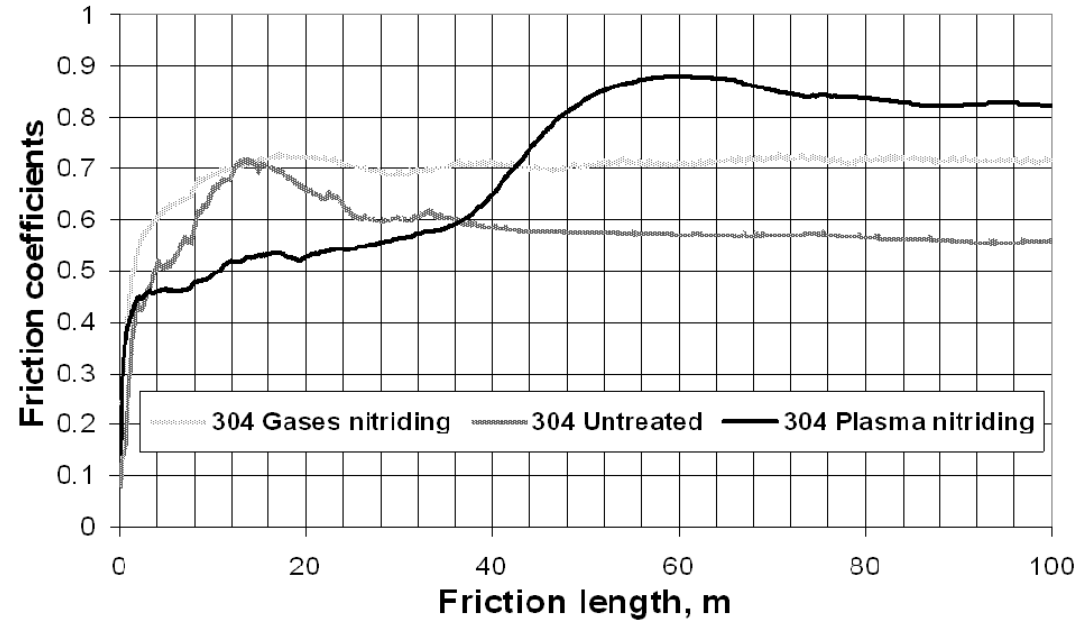


Fig. 5. Friction coefficients vs. friction length for material sample AISI 304

In Table 2, are presented the wear rate coefficients obtained on CSM microtribometer at a maximum herzian stress value of 1.024 GPa.

Table 2 Wear rate values

Sample Treatments	Wear rate values, $mm^3/N \cdot m$			
	AISI 316 material sample		AISI 304 material sample	
	Sample	Ball	Sample	Ball
Untreated	16.570E-004	1.771E-006	32.200E-004	0.429E-006
Gases nitriding	7.261E-004	6.221E-006	14.625E-004	14.910E-006
Plasma nitriding	5.816E-004	6.885E-006	10.920E-004	28.130E-006

Plasma nitrided AISI 316 material samples present the smallest friction coefficients and also the smallest wear rate as shown in Figures 4 and 5 and in Table 2.

Surface microgeometric analyzes were performed using a Surtronic 3+ device. Parameters were calculated by mean of all the sampling lengthes using a microroughness filtering is used, with a ratio of 2.5 µm (see Fig.6). In Table 3, are presented *Ra, Rt* and *Rz* roughness parameters:

Ra: Arithmetic mean deviation of the roughness profile;

Rt: Total height of roughness profile;

Rz: Maximum height of roughness profile.

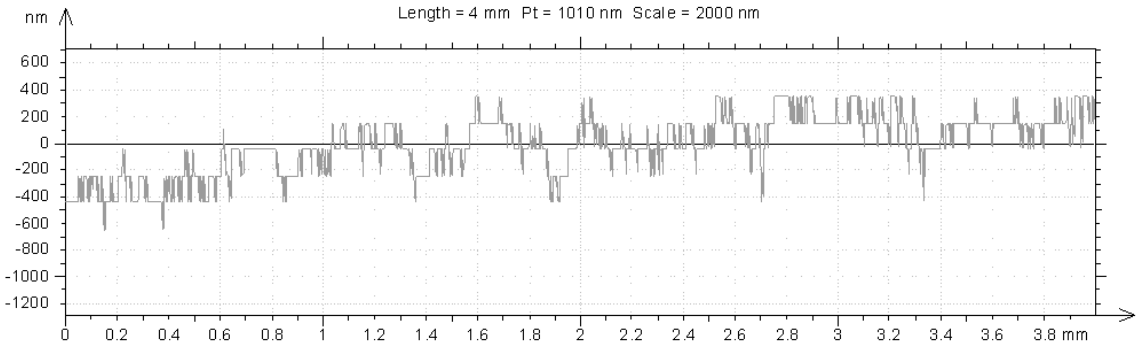


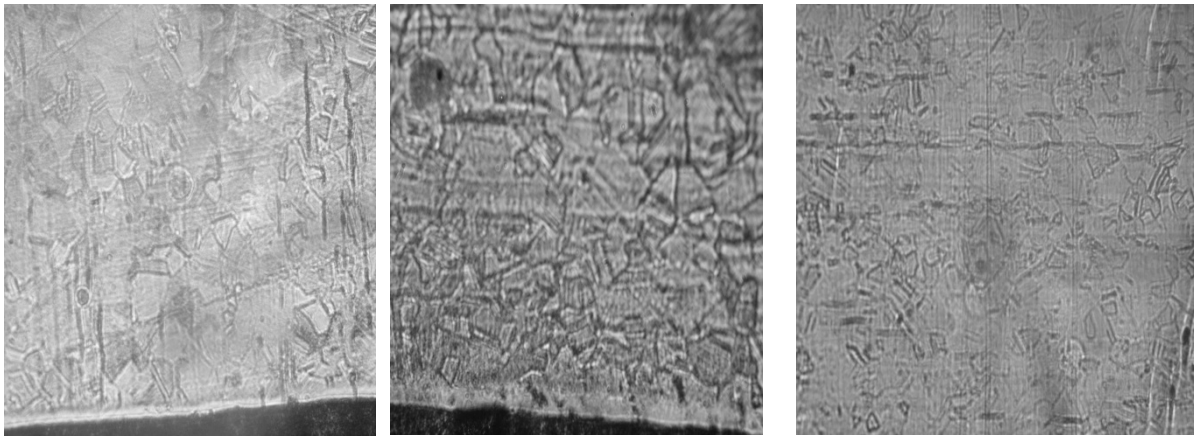
Fig. 6. Profilegraph of 404 gases nitrided

Table 3 Roughness parameters

Treatments	Roughness values, µm					
	AISI 316 material sample			AISI 304 material sample		
	Ra	*Rt*	*Rz*	*Ra*	*Rt*	*Rz*
Untreated	0.112	0.96	0.607	0.123	1.07	0.616
Gases nitriding	0.107	0.89	0.593	0.096	0.940	0.760
Plasma nitriding	0.097	0.87	0.587	0.085	0.800	0.643

The roughness parameters values obtained show that samples surfaces microgeometry were similar and the gases nitriding and plasma nitriding treatments do not affect the surface microgeometry.

From Figure 7 it could be observed that at plasma nitrided treatment the stratum thickness is greater than at gases nitrided treatment.



AISI 316 Gases nitrided *AISI 316 Plasma nitrided* *AISI 316 Untreated*

X 500 Etched Aqua Regis

Fig. 7. Microstructure of AISI 316

All the nitrided material samples AISI 304 and AISI 316 types show a peculiar surface morphology due to both plasma etching during nitriding and the presence of slip steps and relieves at grain boundaries, the latter features presumably due to the formation of the nitrided layer. Analysis shows that for the samples nitrided *S* phase, small chromium nitride precipitates are present at the surface-expanded austenite which form *S* phase with a good behavior at wear and corrosion.

3. CONCLUSION

As a result of experiments it was observed smaller friction coefficients for plasma nitriding and gases nitriding comparing with untreated material stainless steel samples.

The wear in the same friction conditions decreased substantially in the case of plasma ionic nitriding. Also the wear and friction coefficients were smaller for AISI 316 than for AISI 304 material samples. This behavior is due to the thickness of formed expanded austenite *S* phase with good behavior at friction. This explains also the better tribological behavior of plasma nitriding then gases nitriding of austenitic stainless steels. Gases nitriding was performed at temperatures higher than plasma nitriding. This due to higher temperature at the surface appear also the phase γ' Fe_4N and reduce the thickness of *S* phase. The 480^0C plasma nitriding temperature was optimum for AISI 316 but for AISI 304 was too high, the recommended value is 440^0C, [3].

ACKNOWLEDGMENTS

Authors are grateful to INOE 2000 Magurele for performing plasma nitriding treatments.

REFERENCES

1. Balaceanu, M., V. Braic, M. Braic, C.N. Zoita, C.E. Grigorescu, E., Grigore, R.G. Ripeanu. *Characteristics of Ti-Nb, Ti-Zr and Ti-Al containing hydrogenated carbon nitride films.* Elsevier, Solid State Sciences, 11(10), pp.1773-1777, **2009**, **ISSN** 1293-2558

2. Dragomir, D., M. Cojocaru, M. Alexa, R.G. Rîpeanu, A.C. Drumeanu. *Nitriding technologies using process sensors in view of obtaining of resistant layers against corrosion and wear.* Journal of the Balkan Tribological Association, Ed.SciBulCom.Ltd, 16(1), pp.80-87, **2010**, **ISSN** 1310-4772

3. Fossati, A., F. Borgioli, E. Galvanetto, T. Bacci. *Glow-discharge nitriding of AISI 316L austenitic stainless steel: influence of treatment time.* Elsevier, Surf. Coat. Technol., 200(11), pp.3511-3517, **2006**, **ISSN** 0257-8972

4. Gontijo, L.C., R. Machado, E.J. Miola, L.C. Casteletti, N.G. Alcântara, and P.A.P. Nascente. *Study of the S phase formed on plasma-nitrided AISI 316L stainless steel.* Elsevier, Materials Science and Engineering: A 431(1-2), pp.315-321, **2006**, **ISSN** 0921-5093

5. Menthe, E., U.A. Bulak, J. Olfe, A. Zimmermann, K.-T. Rie. *Improvement of the mechanical properties of steel after plasma nitriding*. Elsevier, Surf. Coat. Technol., 133–134, pp.259-263, **2000**, **ISSN** 0257-8972

6. Priest, J.M., M.J. Baldwin, M.P. Fewell, S.C. Haydon, G.A. Collins, K.T. Short, J. Tendys. *Low pressure r.f. nitriding of austenitic stainless steel in an industrial-style heat-treatment furnace*. Elsevier, Thin Solid Films 345 (1), pp.113-118, **1999**, **ISSN** 0040-6090

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof. Dr. Eng. Razvan George RIPEANU
Affiliated at: Petroleum-Gas University of Ploiesti
Dept. Manufacturing Technology and Industrial Management
100680, ROMANIA
e-mail: rrapeanu@upg-ploiesti.ro

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

THE INFLUENCE OF NANO-PARTICLE ADDITIVE TO LUBRICATING OILS ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF FRICTION SURFACES

Svetlana AKSYONOVA **Elena LYUBCHENKO**

Abstract: *The article considers the influence of additive to lubricating oils Cermet on tribological properties of a friction pair «iron – chromium», which is typical for the cylinder-piston unit of engines. It is shown that the introduction of Cermet additive reduces the coefficient of friction and the wear. The mechanism of the investigated additive action was proposed on the basis of research results.*

Key Words: *tribology, coefficient of friction, wears, ceramic-metal film, servovite film.*

1. INTRODUCTION

The additives based on natural raw materials, in particular, serpentinite, are widely used to improve the tribological characteristics of different friction units, chiefly for the friction pair «cast iron – chrome» which is typical for “cylinder-piston” group of the majority of engines. Besides, these additives successfully work in other friction pairs, for example, “steel–steel”, including those steels that are used for bearings. This means the improvement of basic tribological characteristics which reduction causes increase of operational characteristics, namely, the coefficient of friction and wear.

2. COMPOSITION AND MANUFACTURING METHOD OF THE ADDITIVE

Action of above mentioned additives is based on the properties of some natural minerals to realise “non-wear” phenomenon (or “zero-wear effect”, or “phenomenon of selective transfer in friction” [1-2]), and to reduce the coefficient of friction by formation of thin servovite (Latin: “servo” – conserve, vita – life, i.e., “life supporting”) ceramic-metal film on rubbing surfaces. The formed film protects a surface from deterioration and wear without changing the geometry of friction pair. Thus the friction in “metal – metal” contact is replaced by friction of ceramic-metal layers.

The additive to lubricating oils Cermet [3] is a complex composition made using nanotechnology.

The original patented composition of Cermet includes the ecologically safe components, each of which plays the specific role in the additive operation. Cermet consists of a powder made by special processing of natural raw materials containing Aluminium, Silicon, Magnesium, etc., which can form ceramic-metal servovite films on the rubbing surfaces under the conditions realized during friction process. Cermet also contains other compounds, in particular, salts (chlorides and silicates) of Tin and Magnesium, which serve as a material for ceramic-metal film creation and carry out plating action, smoothing a roughness of working surfaces and protecting their juvenile surfaces.

The original multistage method of raw material processing, also protected by the patent, includes dispergating (grinding), annealing, mechanical activation, and allows to provide demanded properties of the additive at all stages of a friction process.

The mixture, introducing into the friction zone, consists of several types of nano-particles placed in the lubricating oil, including the products of clay dehydratation. They are the oxides of metals and non-metals and their role is to be the “building material” for ceramic-metal film creation. Particles of clay and other components have layered crystal structure, which provides the reduction of coefficient of friction at various stages of additive operation in a friction zone. Study of the dispersivity of the particle included in the oil and the oil with suggested composition was carried out by means of high resolution X-ray low-angle scattering technique (XRLS). Investigations showed that the additive contains nano-particles. Furthermore, particles which sizes are R = 6.8 – 12.8 nm occupied the largest (~80%) specific volume; small-sized particles (R ~ 2.6 nm) occupied about 20% of the volume.

Various physical methods of investigation of raw material, the finished composition, and friction surfaces (X-ray structural and spectral analysis, scanning electron microscopy, metallography,

profilometry, etc) have allowed not only to optimise the composition and production process of Cermet, but also to establish the scientifically well-founded mechanism of this additive action in the friction zone, which explains its positive influence on the friction process.

The mechanism of Cermet action represents the processes caused by original structure and manufacturing techniques of a product. The additive, which consists of nano-particles of various types, at its introduction into the friction zone with lubricant, ensures the formation of secondary structures, providing significant improvement of the tribological characteristics of friction pairs.

3. SAMPLES AND TEST METHODS

To reveal the influence of Cermet on the coefficient of friction and wear we carried out the test using friction machine 2070 СМТ-1 и СМЦ-2. The method of testing was similar to ASTM G77, Ranking Resistance of Materials to Sliding Wear, Modified.

We used testing scheme (Fig.1), where 1 – fixed disc, 2 – moving disc, 3 – tray with lubricating oil, 4 – plastic containers for lubricating oil.

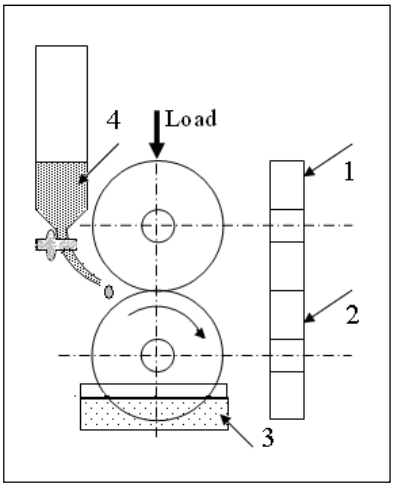


Fig. 1. Test scheme

The speed of moving disc was 1.3 mps. Diameters of discs were 50 mm.

The method of the test was following:

- for coefficient of friction measurements: 15 min of run-in at the load of 0.2 kN, then 4 steps of loading (the step was 0.2 kN up to the load of 1 kN; 2 min on each step), then 15 min at 0.2 kN, and again 4 steps of the similar loading;
- for wear measurements: at the permanent loading of 0.5 kN during 1, 5 and 10 hours.

Tribological tests were carried out using the friction pair “cast iron (moving disc) - chrome (chromium-plated fixed disc)”.

The moving discs were made of the alloy grey cast iron used for the manufacture of the cylinder sleeves. Microstructure was the pearlite with lamellar graphite and phosphide eutectic; hardness - HRB 101 – 103.

The fixed discs were made of the high-strength inoculated magnesium cast iron with spheroidal graphite (hardness HRB 105 – 108). Working surfaces were covered by chromium of the thickness 210-220 μm by means of electrolytic technique. Microhardness of chromium coating was 7-7.5 GPa.

“Cast iron-chromium” pair was chosen for test due to its wide usage in the friction nodes, particularly, in the cylinder-piston groups of modern internal combustion engines.

4. MECHANISM OF CERMET ACTION

At additive introduction into a friction zone nano-particles having the layered crystal structure create so-called “slide mirrors” (“slide surfaces”, “slickensides”), essentially facilitating friction process and working as solid lubricant (similar to graphite). In this case the friction process is lightened by stratification of materials with layered structure and shifting along the crystallographic planes of easy sliding. Simultaneously there are two types of processes: a partial filling of surface roughness with tin particles, and protection of the surface sites activated by friction by chloric films. Further, due to the local heating and pressure in friction zone nano-particles of oxides, silicates and products of clay particles destruction create servovite film. The servovite film is extremely thin ceramic-metal layer (0.1

… 0.15 μm), obtained by sintering of components of the additive ingredients that contain Aluminium, Silicon, Magnesium, etc. The important positive feature of Cermet action is that the servovite film is formed not of rubbing materials, but at the expense of different compounds of metals and non-metals comprising the additive. Formed servovite ceramic-metal film reduces wear (Fig. 2) and coefficient of friction (Fig. 3). The fact that servovite film is formed using elements of additive is proved by results of the X-ray fluorescent analysis which showed the presence of the elements which are not containing in rubbing materials on the surfaces of friction pairs (Fig. 4). The ultrafine state of Cermet particles (≤ 0.02 μm) allows an easy proceeding of sintering process at the temperatures and pressure which are cyclically realised in places of rubbing surfaces contact. The secondary structure (servovite film) formed on friction surfaces is ceramic-metal film as it is formed by sintering (i.e., at temperatures below melting temperature), and as its structure is defined by the components of additive, including oxides of metals and nonmetals.

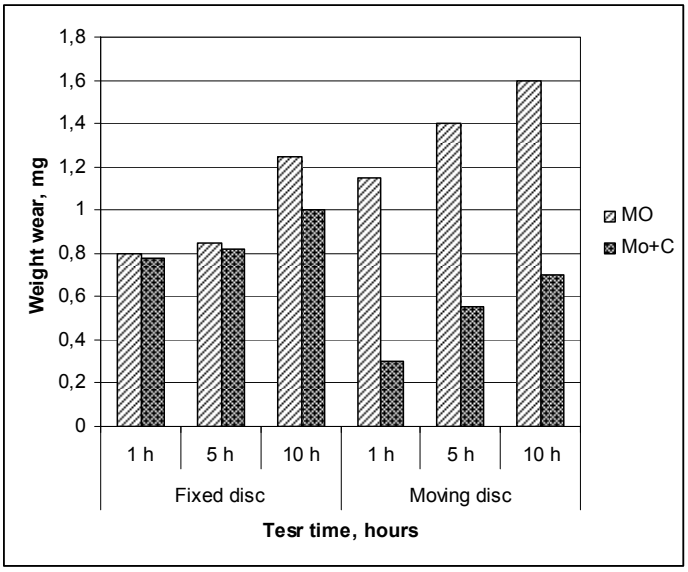


Fig. 2. Weight wear (of moving and fixed discs) for tests during 1, 5 and 10 hours in the mineral oil with (MO+C) and without Cermet (MO)

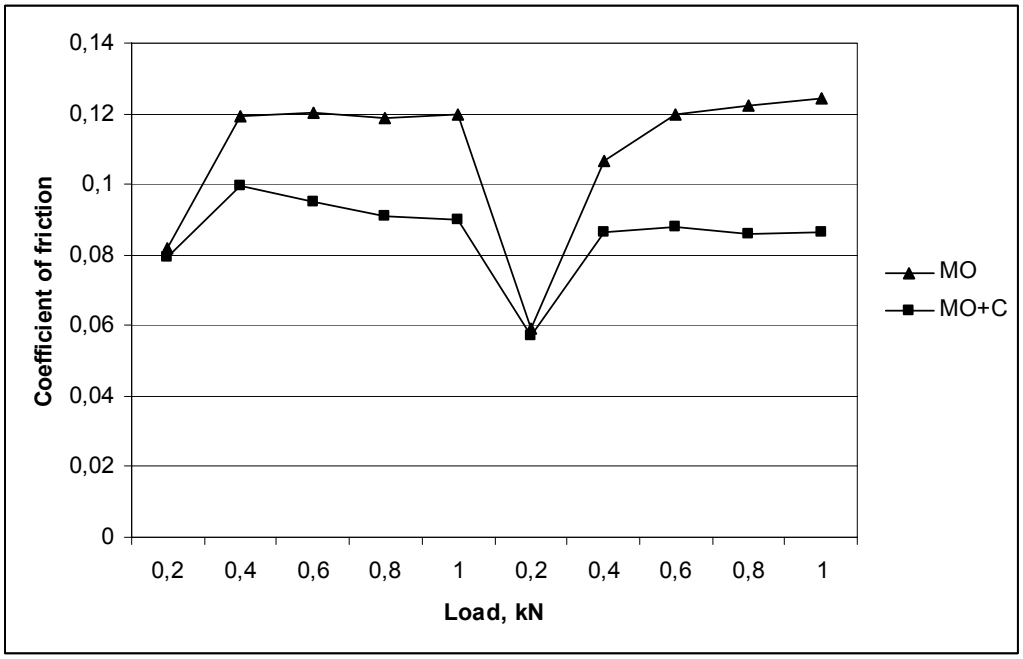
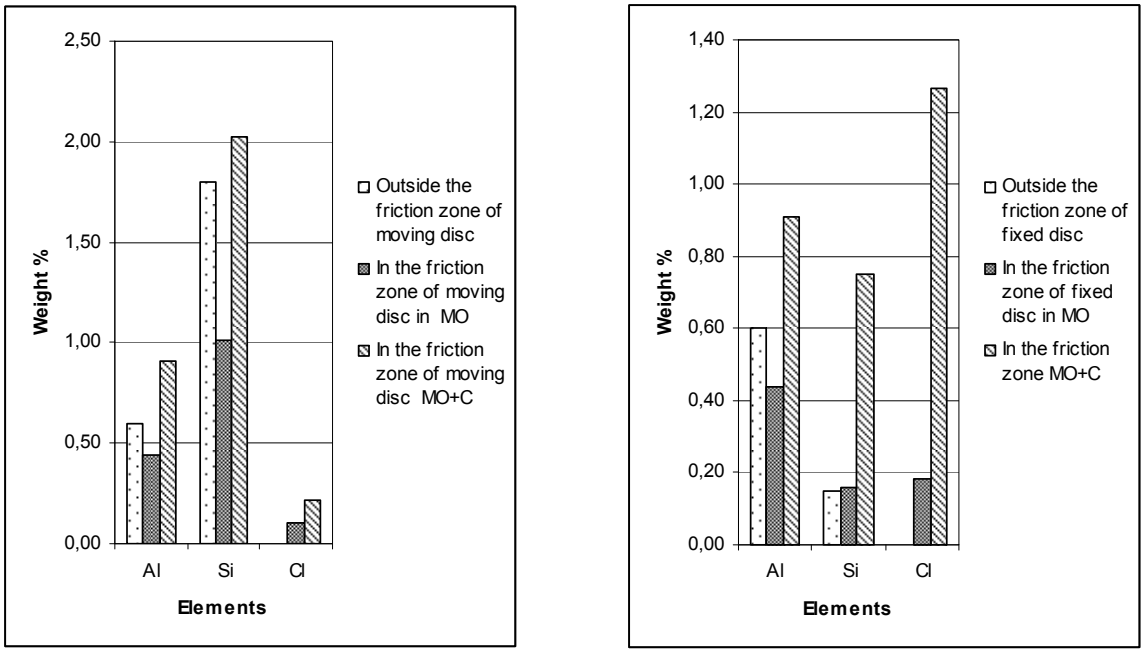


Fig. 3. Coefficient of friction dependence on load (kN) for two cycles of step loading

The servovite film is in X-ray amorphous state. The state of X-ray amorphism is determined by the absence of noticeable peaks (diffraction maxima) of crystalline objects in X-ray patterns. These peaks are related to the blur (also known as diffusion or degradation) of diffraction lines, the extent of which is comparable to the fluctuation straggling of the intensity data. This blur is caused by the decrease of reflecting volume of the ranked crystalline structure up to the range comparable to the wavelength of the initiating radiation.



a) **b)**

Fig. 4. The presence of the elements on the surfaces of friction pairs (a – moving disc, b – fixed disc) according the results of the X-ray fluorescent analysis (friction at lubrication by mineral oil without (MO) and with Cermet (MO+C)

The servovite film is in a dynamic state during the friction process. As it is known, thin films formed on the surfaces have good adhesion when they have small thicknesses, and after excess of the critical thicknesses their connection to the substrate is destroyed due to relaxation of microstresses on the "secondary structure – base material" boundary both in the film and in the substrate. As a result, they lose the adhesion and flake away from the surface. Then the cycle of film formation in sites of friction contact and its destruction repeats.

5. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The obtained results allow to state that the introduction of Cermet into the lubricating oil doesn't create an addition abrasive effect of introduced particles on the surfaces of tribosystems, and provides the surface smoothing process due to filling-up the relief dimples by the particles of Cermet [4]. Nano-sized particles of additive facilitate their good adhesion to the surface and their easy baking for metal-ceramic servovite film formation.

The process of surface modification as the result of Cermet introduction into the lubricating oils is following. The mineral component of the additive provides the introduction of the dispersive particles of metals, non-metals and their oxides together with the lubricating oil into the friction zone. During the friction pair operation these particle presence leads to the course of following processes: removal of adsorption and oxidation products from the friction surface, activation of the surface layers of rubbing samples, mechanical activation of solid particles of Cermet, baking (sintering) of the Cermet particles under the action of high temperatures and pressures in the friction zone, and, as the result, the formation of servovite ceramic-metal film.

Optimal complex of the secondary structure properties is stipulated by composition and dispersity of the nano-particles comprising the additive. It is very important that the dosed introduction of Mg- and Sn-containing components provides the plastic properties of forming film. The presence of Cl-containing component provides the protective function of chloric films in the instants and in the sites of destruction of metal-ceramic film that prevents the contact of juvenile surfaces and development of dripping processes.

The factors providing the positive influence [5] of the ceramic-metal film are:

modification of the topography of friction surface, decrease of its roughness and smoothing of its relief; increase of the microhardness of the friction surfaces;

minimization of the damageability and increase of plastic properties of the films forming on the surface at the friction in the oil with Cermet additive in comparison to the properties of secondary structures forming during the operation in the oils without additive;

provision of the shift of the dynamic equilibrium during the flowing of the processes of formation, destruction and regeneration of the secondary structures to the side of the prevalence of protecting and regenerating processes;

minimization of the wear processes: hydrogen wear minimization – due to the decrease of temperature in friction zone and, as the consequence, the process of oil decomposition; corrosion wear minimization - due to avoiding of intense oxidation of the materials of triboelements, abrasive wear minimization – due to the absence of the large solid particles in the lubricant and prevention of the spalling of rubbing surfaces, etc.

Introduction of Cermet into the lubricating oils influences positively on the following operational characteristics of machines and mechanisms, coefficient of friction, consumed capacity, fuel consumption, working temperature in tribosystems, intensity of lubricating oils decomposition, and wear of tribosystems.

Advantages of Cermet are stipulated by:

balanced composition of solid component of the additive;
optimal interval of dispersity of particles;
usage of natural raw materials;
ecological safety.

REFERENCES

1. Гаркунов, Д. Н. *Триботехника (износ и безызносность):* Учебник. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: «Издательство МСХА», **2001**. 616 с, ил. 280.

2. Зуев, В.В., Т.Л. Маринич. *Геоэнергетические основы использования минералов в качестве антифрикционных материалов*. Обогащение руд, №1, **1994**, - с.18-22.

3. Tananko, D., E. Lyubchenko, S. Aksyonova., etc. *Nano-particle metal treatment composition for creating a ceramic-metal layer***. US 7,304,020**, Int.Cl. B22C 23/02, **2007**.

4. Lyubchenko, E.A., A.P.,Lyubchenko, S.I. Aksyonova. *Влияние смазочной композиции на микростроение поверхности трения.* Proceedings of 9th International conference "**Advanced materials and operations**", **AMO'09**, Kranevo, Bulgaria, 25-29 June **2009**, v.2, pp. 461-463.

5. Аксенова, С.И., Е.А. Любченко. *Исследование морфологии поверхностей трения методом растровой электронной микроскопии*. Тезисы докладов XXIII Российской конференции по электронной микроскопии (**РКЭМ'2010**). – Черноголовка: ИПТМ РАН. – **2010.** – с. 113.

CORRESPONDENCE

Associated professor, PhD (Physics and Mathematics) Elena LYUBCHENKO,
National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute",
Ukraine. Kharkov, Frunze, 21
e_lyubchenko@ukr.net

Assistant professor, PhD (Engineering) Svetlana AKSYONOVA,
National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute"
Ukraine. Kharkov, Frunze, 21
aksyonova@gmail.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

THE EFFECTS OF SAMPLING CONDITIONS IN MEASURING SURFACE MICROTOPOGRAPHY. STUDY CASES

Minodora RÎPĂ **Lorena DELEANU**

Abstract: *The selection of measurement parameters (for example, the sampling interval) often relies on the subjective experiences of users, for most measurements of surface roughness performed by digital techniques. Determination of appropriate sampling conditions is achieved studying the sampling interval influence (using four sampling interval values), on the digital profile (from a visualisation perspective), on the variation of three roughness parameters and on the bearing ratio curve and features related to. Experimental results based on measurements carried out on two types of engineering surfaces (using a stylus instrument) are presented, to demonstrate the effectiveness of the appropriate sampling interval.*

Key Words: *surface microtopography, roughness parameters, sampling.*

1. INTRODUCTION

The surface topography plays an important part in understanding the surface nature when moving relatively to each other. For all manufacturing processes, the majority of surfaces produced by cutting processes are rough enough, from a general microscopic point of view. Therefore, the surface microtopography and the contact nature of two surfaces are the fundamentals for developing concepts on the tribological processes and phenomena characterising a tribosystem [1, 2, 3, 4].

The characterisation of the state surface from geometrical point of view and its analysis may be achieved by different techniques: visual inspection, functional characterisation, statistical analysis and characterisation, spectral analysis, fractal characterisation, image processing etc. [3, 5, 6, 7]. For a complete analysis concerning the characteristics of the surface topography it is necessary to evaluate quantitative parameters, this evaluation being useful for predicting the behaviour of the studied surface during functioning under actual exploitation conditions.

Topography characteristics as height distribution of the asperities, asperities'shape, slope and curvature, their density, texture direction, influence both processes when bodies are in contact and the stability of stiffness and fits, thermal, electrical and optical properties of the surface. Selecting an optimal texture orientation, the more fit shapes of the asperities (including peaks and valleys) may be favourable to maintain an optimal lubricating regime and the result may be an increase of the contact fatigue and corrosion limits, due to reducing the danger of initiating fatigue cracks and corrosion points.

During recent years the surface topography was allowed to be precisely measured and described by the help of new and performant equipments and methodologies for measuring but also due to accessibility of computer processing data. The digital profile allows determining parameters that could give a full characterisation of a surface. There are many national standards that define these parameters for 2D topography analysis and some specialists and international organisations are working to define and introduce parameters characterising a 3D analysis of a surface [5, 8, 9, 10, 11, 12].

2. PARAMETER VARIATION ANALYSED FOR CHARACTERISING THE SURFACE MICROGEOMETRY

2.1. Roughness Parameters

A characterisation of the roughness profile includes several groups of parameters: height or amplitude parameters[1] as R_a, R_q, R_y, R_z etc., spacing parameters[2] as: S_m, S, L_t etc., relative

[1] Arithmetic average roughness height, R_a; Root mean square average roughness height, R_q; Maximum roughness depth, Ry; Ten-point height, R_z.

[2] Total profile length, L_t; the average spacing between peaks at the mean line over the evaluation length, S_m; the average spacing between local peaks over the evaluation length, S.

parameters concerning the roughness and parameters giving information on the shape of profile irregularities: η_p, t_p, bearing ratio curve (Abbott-Firestone curve) of the profile etc.

For a statistical analysis of the profile there are necessary to study the height distribution and its moments[3] as: R_q, R_{sk}, R_{ku} and the autocorrelation and the correlation length, leading to the power spectrum and its properties.

In order to study the bearing capability, there should be analysed parameters of the bearing ratio curve of the profile, as[4]: t_p, Ht_p, H, but also the bearing ratio of the profile, the amplitude distribution, autocorrelation function etc.

2.2. Causes of the Variations for the Parameters Profiles and for the Characteristics of the Digital Profile [9, 10, 12]

Statistically speaking, the parameters'variations are due to the non-stationary character of the surfaces and/or to the limited independence of acquisition process for an arbitrary but stationary surface. Physically speaking, these variations are due both to the inherent properties of the surface and to the acquisition and processing data conditions. Thus, the causes that could affect the parameters'variations may be grouped in two categories [10].

The first category (causes A), is related to the geometrical integrity of the surface, the homogeneity and the manufacturing effects (cutting-tool wear and damage and the chip presence). Within this category, the factors that could produce the changes of the geometrical state of the surface are, usually, inevitable and hard to take under control.

The second category (causes B), is dependent on various conditions. The parameter variation is caused by topography surface measuring technique and by data processing, being also dependent on the selection of some important factors. For instance, the stylus geometry the sampling interval and measuring length are the main factors influencing the characterisation and the complete description of the surface topography.

As the factors included in category B are selectable and controllable, previous researches were concentrated on them. Thus, King (quoted in Dong et al., 1994, [10]) studied the influence of sampling conditions and properties on the value variation for parameters R_q, R_{sk} and R_{ku}.

The most important studies carried out on the parameters'variation produced by causes B discussed the influence of the measuring length and sampling interval. It was considered that for a good selection of the sampling interval, this variation would not affect too much the parameters of the amplitude but it could mainly affect the spacing, curvature and slope parameters characterising the asperities.

3. INFLUENCE OF THE OPTIMAL SAMPLING CONDITIONS ON THE MEASURING RESULTS

Modern topography measurements have used techniques of digital processing of the acquired data. Therefore, there were imposed supplementary variables and conditions for measuring as compared to those required by analogical measurements. The sampling interval, Δ, and the data number, N, are two very important variables for determining the limits of the wavelength of the measured profile, but also the size of the measuring length range (corresponding to the functional purpose of the surface) and the parameters that give a numerical description of the measured surface.

3.1. Selecting of the optimal sampling conditions

Selecting the adequate conditions for data acquisition is not yet the object of a standard and the users are tented to do a subjective selection, based on their own experience. There are no firm and unanimous criteria of selection that could assure optimal sampling conditions.

In the concept of 'functional filtering' proposed by Thomas [13] the short-wavelength and longwavelength limits are defined by the phenomenon under investigation. In the paper [14], Yim and Kim derived an equation for optimal interval based on the hypothesis that the centre-line average roughness *Ra* follows a Gaussian distribution. For 3D measurements, Stout [15] gave a list of recommended rules for the sampling matrix size and the sampling intervals. Lin [16] demonstate that the power spectrum analysis could be the basis for the selection process of the sampling interval.

Generally, the choice of the sampling interval is limited by instrument capability, functional requirements, computing power and the requirements of the Nyquist sampling theorem: the sample interval is less than half the shortest wavelength presented in the signal if all information is to be

[3] Root mean square deviation, R_q; Skewness of height distribution, R_{sk}; Kurtosis of height distribution, R_{ku}.
[4] bearing ratio, t_p; Height between two points on the profile bearing ratio curve as specified by the Upper tp (%) and Lower tp (%) controls Ht_p; Sweden heigth, H.

reconstructed. Failure to obey this causes 'aliasing', i.e. a higher frequency component is folded into a lower frequency component [17].

Thus, the sampling interval, Δ, may be too small and therefore, the data are highly corelated and their number should be very large for representing the surface area of functional interest. A finer interval would result in many redundant data and increased computing and measurement time [17].

If Δ is too large, the obtained data, characterised by a high degree of non-correlation, produce a partial or total deterioration of the link between the surface real profile and the information given by the digital profile. A larger sampling interval may distort the acquired information and give a poor visual representation [17, 18, 19].

For anisotropic surfaces that are generated by a single point of the cutting tool, surfaces are periodic in one orthogonal direction. The regular structure of the surface is formed by the cutting tool moving across the surface at a constant feed rate during machining. On the other hand, the chip formation process occurs along the direction of the cutting velocity. The surface is therefore a combination of a waviness component, generated by the feed process of the cutting point, and random components, caused by the action associated with the material removal [17]. As concerning the spectral analysis, for this kind of surfaces, adopting the optimal sampling conditions will satisfy the conditions required by the sampling theorem [20, 21]. In grinding, the surface is generated by a cumulative action of the abrasive grains, which are random in size, form and distributed unevenly in the grinding wheel. As a result, the surface exhibits a random structure. However, the surface is anisotropic owing to the grinding marks caused by the directional nature of the process [17]. Even if for this second case it is possible to maintain some components with very small wavelength, as their amplitude is very small as compared to the amplitude of the main components of the profile, their influence might be, for the most cases, neglected.

The results may be strongly influenced by the radius of curvature, r, of the stylus top used in measuring. If the top is not "fine" enough for an adequate measuring of an imposed surface, reducing the sampling interval does not improve the measuring results.

3.2. Measuring methodology

The measuring methodology supposes the establishing of a measuring length depending on the functional criteria. The preliminary measurement is done with a Δ value , recommended by some specialists (quoted by Dong et al., 1996, [19]) being equal to the stylus tip radius of curvature. This recommendation takes into account an ideal shape of the stylus. Actually, the contact is done on a local zone of the theoretical limits of the contact area and the radius is smaller than the declared one for the stylus. Therefore Δ must be smaller than r. The majority of the available stylus instruments has the radius r equal or greater than 2 μm, and the value Δ=0,5 μm may be considered as a minimum value for most measurements.

The measurements are done taking into account a succession of values for the sampling interval, corresponding to a succession 1; 2; 5; 10 samples/μm, obtaining Δ=1; 0,5; 0,2; 0,1 μm [15].

If it is considered Δ_{min}=0,5 μm, the string of values becomes: Δ=0,5; 1; 2; 5; 10 μm.

The number of acquisition data is established as an integer power of 2, starting with 2^7, that means 128, and it must fulfil the functional conditions and those for the spectral analysis but also the conditions imposed by the memory volume limit and the data processing speed of the attached computer. This last condition becomes important especially for 3D-topography analysis.

In order to provide for optimal sampling conditions for a 2D measurement, it is necessary a low-pass filtering of the raw profile, followed by selecting the cut-off length, l_n, as recommended in standards: l_n=(0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8)mm but taking also into account both the type of the measured surface (periodical or random) and the range of the preliminary value for parameter R_a. Table 1 presents the values correlation for three important factors of the measuring process: cut-off length, sampling interval and the number of sampling data.

Table 1 Number of sampling data

cut-off (sampling) length,	sampling interval, Δ (μm)				
l_n (mm)	0,1	0,2	0,5	1	2
0,08	801	401	161		
0,25	2501	1251	501	251	126
0,8	8001	4001	1601	801	401
2,5	25001	12501	5001	2501	1251
8	80001	40001	16001	8001	4001

3.3. Influence of the sampling conditions on the digital profile

Figures 1 and 2 present several digital profiles, simulated by processing a digital profile obtained after data acquisition for a turned surface (fig. 1), and for a grinded one (fig. 2), characterised by the same value of the parameter R_a=1,4μm.

The data referring to the surface profile were obtained by acquisition using a measuring system including: analogical instrument for roughness measurement (model 2201 China); acquisition card PCL 812; IBM compatible computer. The radius of curvature of the stylus tip is 2μm, the selected cut-off length l_n= 0,8mm, the measuring length l= 0,8mm, the sampling interval Δ=0,1μm and the number of recorded points was N=8001.

For both surfaces, a profile length of 0,11 mm was extracted and there were simulated profiles for four values of Δ: 2; 1; 0,5; 0,2 μm (fig. 1 b, c, d, e and 2 b, c, d, e, respectively). Comparing these profiles, one may notice that for both surface types, the most adequate is the profile given by Δ=1μm and that given by Δ=0,5μm. For Δ=2μm (value equal to the stylus tip radius of curvature) some of the actual profile information is lost, resulting a simplified profile. As for Δ=0,1μm, there were noticed small oscillations due to the noise. The authors did numerous such comparisons, for different roughness and for different mechanical surface manufacturing processes, allowing to generalise the values Δ=1μm and Δ=0,5μm as optimal values of the sampling interval, for measuring mechanically processed surfaces. The value Δ=0,5μm is also recommended by Dong and Stout (1996, [19]).

3.4. Influence of the sampling conditions on the roughness parameters

Table 2 presents values of the roughness parameters for the sampling conditions Δ=1 μm and N=801 sampling points, for six turned surfaces. In the following pages, the surfaces were coded “S” for turned and “R” for grinded.

Table 2. Roughness parameters

Parameter	S / R_a10	S / R_a7	S / R_a2,5	S / R_a1,5	S / R_a0,9
R_a	10,28	7,19	3,34	1,49	0,90
R_q	12,31	8,70	3,87	1,76	1,09
R_{sk}	1,27	-1,29	0,45	0,81	1,40
R_{ku}	2,29	2,24	2,00	2,04	2,44
R_y	44,40	31,35	15,43	7,12	4,63

It may be noticed that the kurtosis parameter (R_{ku}), has values smaller than 3, this particular value characterising the periodical surfaces.

The values near to 1,5 (absolute value) of the skewness (R_{sk}) indicates that the surface does not have a simple shape and therefore a common parameter like R_a is not adequate for characterising the surface quality.

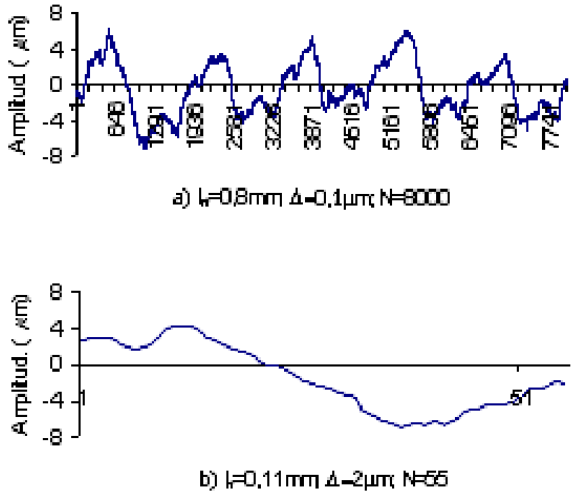


Fig. 1. Digital profile, (a) and detail (b) from the digital profiles, with Δ=2 μm for a turned surface (R_a=1,4μm)

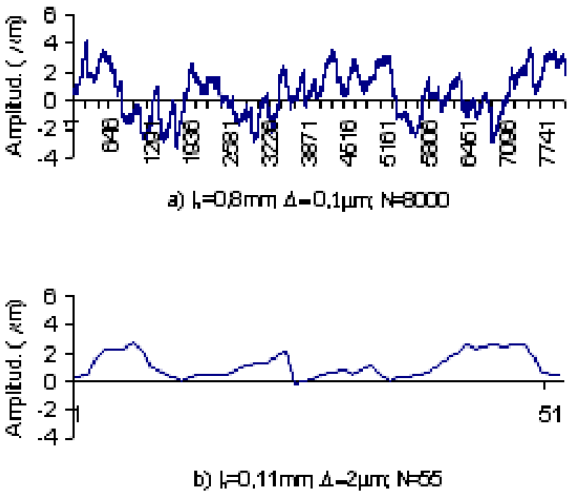


Fig. 2. Digital profile, (a) and detail (b) from the digital profiles, with Δ=2 μm for a grinded surface (R_a=1,4μm)

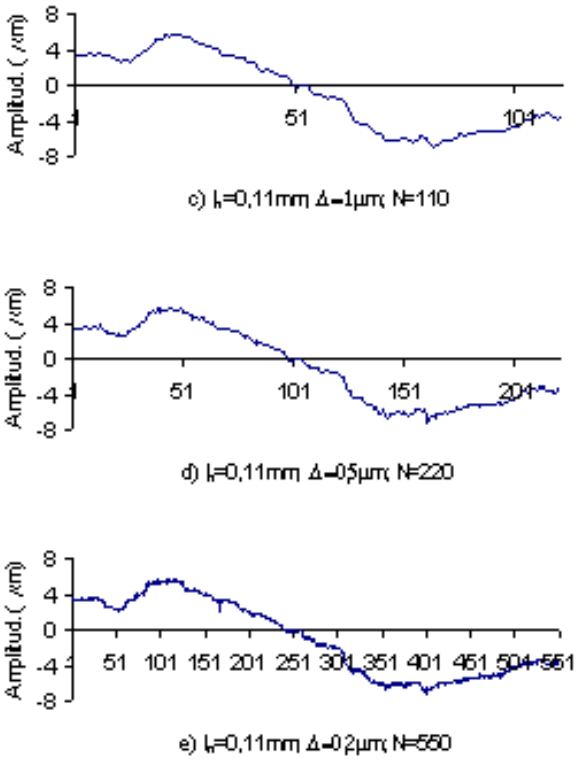


Fig. 1. Details of the digital profile (c – e) from the digital profiles, with variable Δ for a turned surface (R_a=1,4µm)

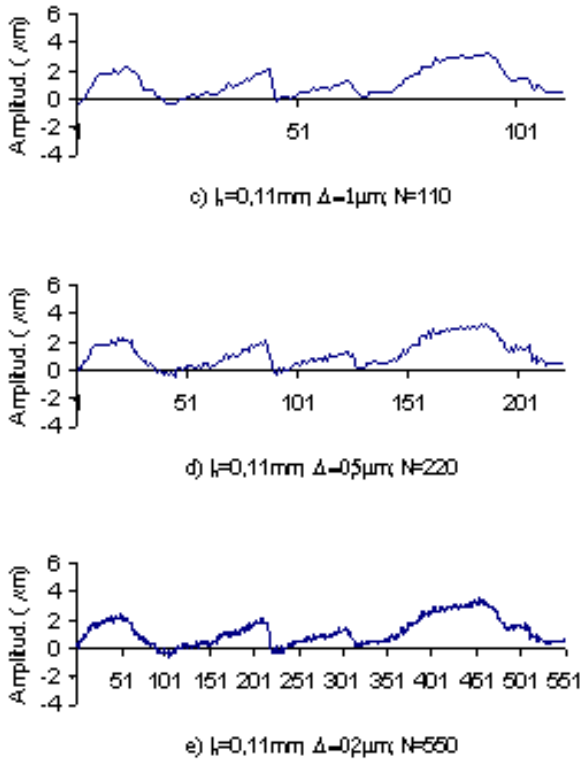


Fig. 2. Details of the digital profile (c – e) from the digital profiles, with variable Δ for a grinded surface (R_a=1,4µm)

Figures 3, 4 and 5 present the roughness parameters'values (normalized so that the value of the parameters is 1, at the largest sampling interval, Δ = 1 µm and N=801 sampling points) as a function of sampling interval (Δ = 1; 0,5; 0,2; 0,1).

Figure 3 presents the variation of parameter R_q depending on the selected range for the sampling intervals, for turned surfaces having R_a =10; 7; 2,5; 1,5; 0,9 µm, respectively. As Δ is decreased, the values for R_q diminish, but this diminishing is practically negligible, as it is less than 1%. If roughness is smaller, then the diminishing is more evident. For R_a =7 µm the values are under 0,1% and for R_a =0,9 µm the obtained values are in the range 0,4–0,6%. For very "high" roughness, the values of R_q have increased under 0,1%, characterised by a decreasing tendency associated to the decrease of Δ.

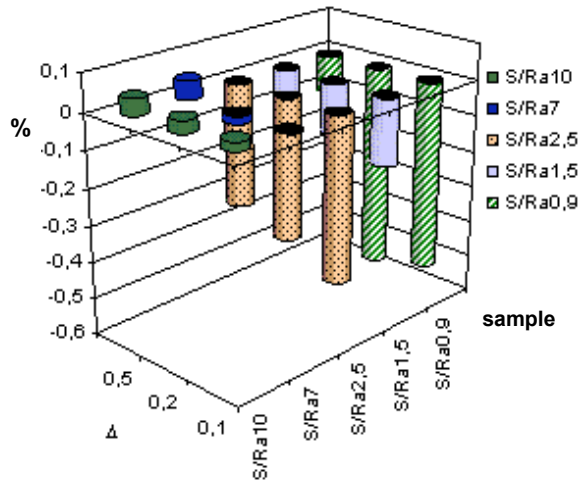


Fig. 3. Turned surfaces: variation of parameter R_q

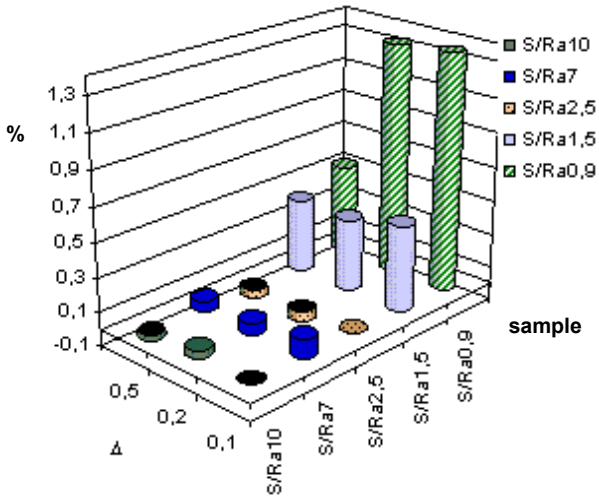


Fig. 4. Turned surfaces: variation of parameter R_{ku}

The variation of parameter R_{ku}, as illustrated in figure 4, is characterised by increases with a small percentage (2-9%) for "small" roughness of the turned surfaces (S) (R_a lower than 2,5 μm). For "high" roughness, these increases or decreases are insignificant, under the value of 0,1%.

Figure 5 points out the following: a similar tendency of increasing the roughness parameters R_y when Δ is decreased, a more accentuated tendency (3-9%) for roughness under 2,5 μm but less significant (cca. 1%) for "higher" roughness.

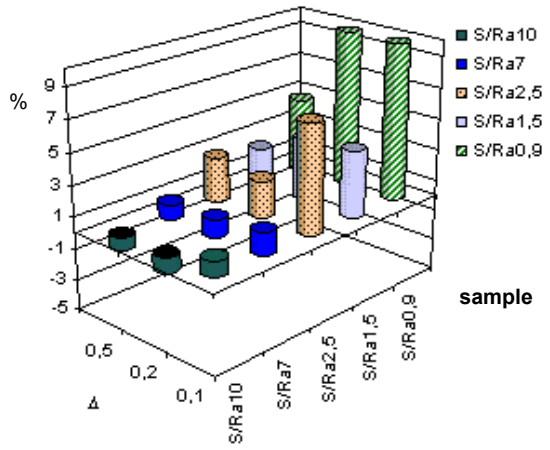


Fig. 5. Turned surfaces: variation of the parameter R_y

3.5. Influence of the sampling conditions on the bearing ratio curve

As predictable, the influence of the sampling interval on the bearing ratio curve profile is greater when the asperities'hights are smaller [22].

For turned surfaces, characterised by high values of the roughness parametrers (R_a=8,8; 6,3; 3,2 μm) it was not noticed essential changes of the bearing ratio t_p, the differences being under 1%.

Comparing the Abbott curves for turned and grinded surfaces characterised by similar values for R_a (fig. 6) one may notice that the surface type, periodical or random, does not influence the variation of bearing capability parameters. If the height of the asperities diminish, the influence of the sampling interval becomes more significant.

Table 3 presents the percentage variation of the parameter t_p, for depth level 50%, respectively 80% of the profile amplitude, taking as reference the values t_p for Δ =1 μm.

Table 3 The percentage variation of the parameter t_p

Surface		Difference ε_{tp}* (%)					
		Depth level 50%			Depth level 80%		
R_a	pro-cessing**	sampling interval, Δ (μm)			sampling interval, Δ (μm)		
		0,2	0,5	0,1	0,2	0,5	0,1
R_a0,8	S	14,64	10,67	10,29	0,42	0,50	0,54
	R	8,14	2,55	5,85	0,58	-0,02	0,52
R_a1,4	S	-2,85	0,17	-0,29	0,19	0,51	0,52
	R	0,48	0,51	0,62	0,26	1,56	1,62
R_a2,5	S	1,37	0,41	-0,15	0,15	0,19	0,17
	R	0,65	-2,23	-1,57	0,72	0,73	1,11

* The differences ε_{tp} are calculated for the t_p values corresponding to data acquisition for Δ=1μm
** S=turning; R=grinding

At the depth level tp=50% from the maximum high of the profile, the differences ε_{tp} for all values taken for the sampling interval Δ are considerable (3-15%) for smooth surfaces (R_a=0,8), both for turned and grinded ones. For higher roughness, the differences are negligible, that means under 3%.

For the depth level tp=80% the differences are negligible for all inspected surfaces.

The study of the values given in Table 3 confirms the selection of the values Δ=1 and 0,5μm as optimal sampling interval values.

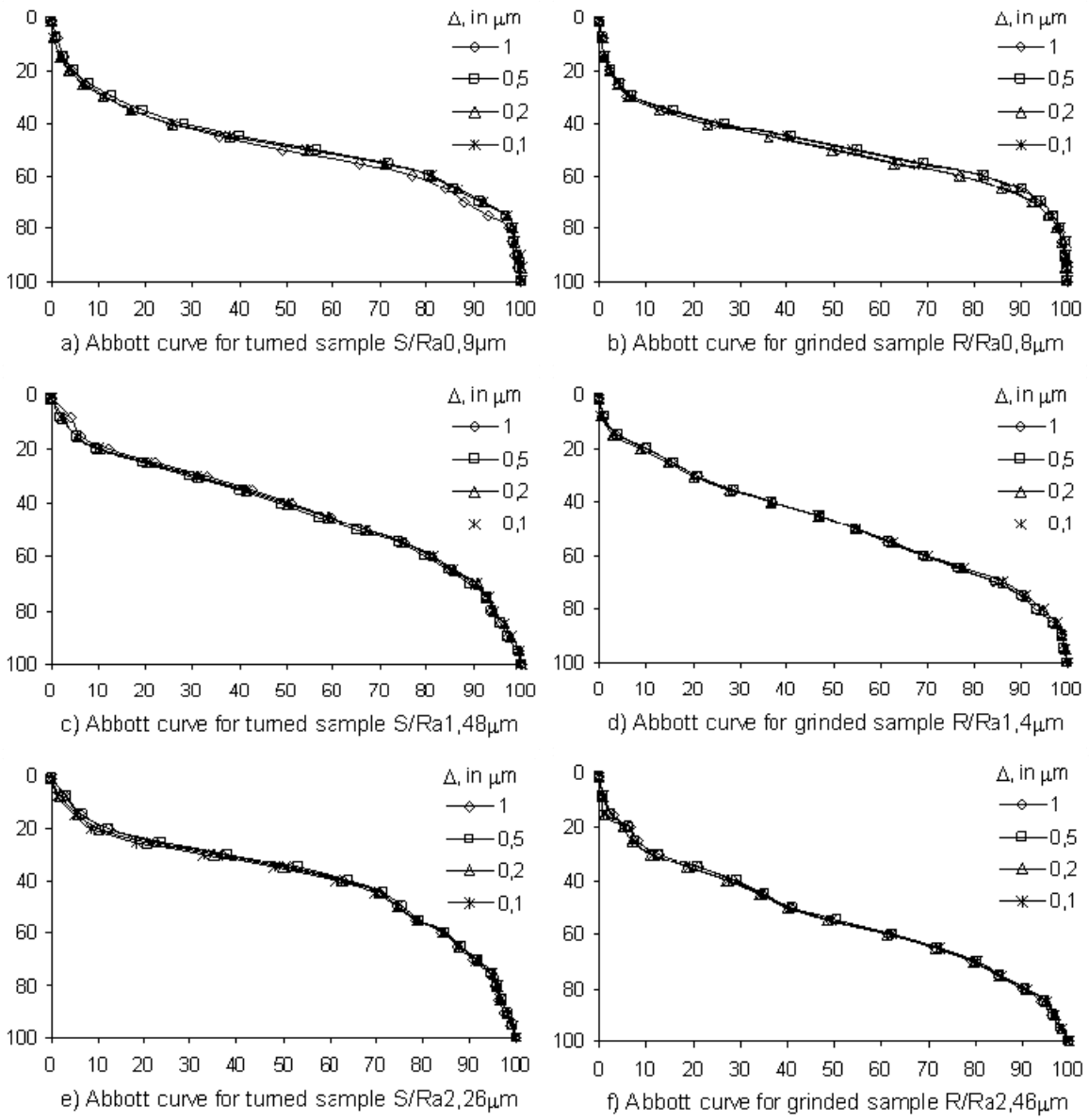


Fig. 6. Abbott curves for turned (a, c, e) and grinded surfaces (b, d, f)

4. CONCLUSIONS

Variations of the roughness parameters and of the roughness characteristics are caused by topography measurement of the surface and by data processing and there are independent of selecting some important factors in measuring.

The selected value for the sampling interval must be, on one hand, small enough to assure maintaining the link between the actual surface profile and the information that determines the digital profile and, on the other hand, it must be great enough for correlating data done in a sufficient number of data points for representing the surface area having a functional interest.

The studied data were the result of acquisitions during measurements done on two types of surfaces, turned and grinded, each type exhibiting different roughness.

Studying the influence of the sampling interval on some roughness qualitative parameters, frequently used in tribological research, it results that a diminishing of Δ determines: a) insignificant decrease of R_q, by a value under 1%; b) insignificant variations of R_{ku} and R_y for rough surfaces; c) for fine surfaces R_{ku} and R_y increases with 2-9%, the value being greater when Δ becomes smaller.

A comparing analysis of Abbott curves for turned and grinded surfaces, having similar values for R_a, help to conclude that, when the asperities'heigh is decreasing, the influence of the sampling interval becomes more significant. The variation of parameter t_p, is more accentuated for smooth surfaces, either turned or grinded, having large differences for level 50%, the effects recorded for 80% level being negligible.

Comparing the digital profiles obtained by adopting sampling interval Δ=(1; 0,5; 0,2; 0,1) μm and studying their influence both on the profile of bearing ratio curve and on some roughness parameters (R_q, R_{ku}, R_y) the authors appreciate that values as Δ=1 and 0,5μm assure optimal sampling conditions.

REFERENCES

1. Dong, W.P., K.J. Stout. *An integrated approach to the characterization of surface wear I: Qualitative characterization*. Wear, 181-183 (2), **1995**, pp.700-716.
2. Mihailidis, A., V. Bakolas. *Numerical Simulation of 3-D Rough Surfaces*. Procc. of The 3th Inter. Conf. of Tribology, **Balkantrib'99**, vol.I, **1999**, pp.11-20.
3. Stout, K.J. et al. *Analytical Techniques in Surface Topography and their Application to a Running-in Experiment*. Wear, 43, **1977**, pp. 99-115.
4. Thomas, T.R. *Trends in Surface Roughness*. Intern. J. Mach. Tools Manuf. 38 (5-6), **1998**, pp.405-411.
5. Stamboliska, Z., M. Kuzinovski. *Analysis and Mathematical Interpretation of Parameters That Describe the Microstereometry of Machined Surfaces*. Procc. of The 3th Inter. Conf. of Tribology, **Balkantrib'99**, vol.I, 1999, pp.21-28.
6. Yi-Fei, Y., et al. *Measurement of topography of finished surface by frustrade total reflection (FTR),* Wear, 196, **1996**, pp. 60-63.
7. De Rooij, M.B., Schipper, D.J., *A wear measurement method based on the comparison of local surface heights*, Wear, 217, **1998**, pp. 182-189.
8. Bhushan, B., *Principles and Applications of Tribology*, (Chr. 3 Analysis of Surface Roughness), **1999**, Ed. John Wileg & Sons, NY. ISBN 0-471-59407-5.
9. Dong, W.P. et al., *Comprehensive study of parameters for characterising three-dimensional surface topography. I: Some inherent properties of parameter variation*, Wear, 159, **1992**, pp.161-171
10. Dong, W.P. et al. *Comprehensive study of parameters for characterising three-dimensional surface topography. II: Statistical properties of parameters variation*. Wear, 167, **1994**, pp.9-21.
11. Dong, W.P. et al. *Comprehensive study of parameters for characterising three-dimensional surface topography. III: Parameters for characterising amplitude and some functional properties*. Wear, 178 (1-2), **1994**, pp.29-43.
12. Petropoulos, G.P., H. Karahaliou. *Investigating into the Effect of Small Feed Rate Values on the Roughness Produced by Turning Opeerations*. Procc. of The 3th Inter. Conf. of Tribology, **Balkantrib'99**, vol.I, **1999**, pp.139-146.
13. Thomas, T.R., *Rough Surfaces* (Second Ed.). Imperial College Press, London, **1999**, **ISBN** 1-86094-100-1.
14. Yim, D.Y., S.W., Kim. *Optimum sampling interval for Ra roughness measurement*. Proc. Inst. Mech. Eng. C, 205**, 1991**, pp. 139–142.
15. Stout, K.J. et al. *The Development of Methods for the Characterization of Roughness in Three Dimensions.* Publication no. EUR 15178 EN of the Commission of the European Communities, Luxembourg,**1994.**
16. Lin, T.Y., L. Blunt, and K.J. Stout. *Determination of proper frequency bandwidth for 3D topogra-phy measurement using spectral analysis*. Wear, 166, **1993**, pp. 221–232.
17. Nguyen, A.T., D.L. Butler. *Correlation-length-based sampling conditions for various engineering surfaces*. Meas. Sci. Technol., 16, **2005**, pp. 1813–1822.
18. Mathia, T.G., P. Pawlus, M. Wieczorowski. *Recent trends in surface metrology*. Wear, **2010**, Article in Press.
19. Dong, W.P, E. Mainsah, K.J. Stout. *Determination of Appropriate Sampling Conditions for Three Dimensional Microtopography Measurement*. Intern. J. Mach. Tools Manuf., 36 (12), **1996**, pp. 1347-1362.
20. Anonymus, *An Introduction to the Sampling Theorem*. Note AN-236, National Semicond. Co., **1995**, USA
21. Wade, G., *Signal coding and processing* (2e). Cambridge University Press, **1994 ISBN** 9780521423366.
22. Torrance, A.A., *A simple datum for measurement of the Abbott curve of a profile and its first derivative*, Tribology Intern.. 30(3), **1997**, pp.239-244.

CORRESPONDENCE

Professor Minodora RÎPĂ
University Dunărea de Jos of Galați
str. Domneasca nr. 47, 800008, Galați, ROMANIA
e-mail: minodora.ripa@ugal.ro

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

FLOW FOR ORGANISATION OF MACHINE LUBRICATION AND QUALITY SYSTEM STANDARD REQUIREMENTS

Dragan ZHIVKOVICH **Viara POZHIDAEVA** **Drago SOLDAT**

Abstract: *Lubrication has an important place in the process of preventive maintenance of machines. The implementation of the quality system into the process of lubricating machines and other equipment, and its consistent application in necessary and directed towards the reduction of failures, i.e. towards preventing the possibility of failure occurrence. Organisational and working instructions for machine lubrication define procedures, duties, responsibility ande documents which regulate the procedure of lubricating agricultural machinery.*

Key words*: lubrication, Quality Sistem, preventive maintenance.*

1. INTRODUCTION

The purpose of using lubricants for lubrication of agriculture machines is to reduce the friction between two contact surfaces on agriculture machine. By usage of lubricants the friction between two elements is replaced by friction inside of a fluid. The lubrication is a part of the preventive maintenance of equipment and must be performed in foreseen time intervals. Lifetime of agriculture machines depends mainly on the intensity of friction process on frictional elements of production and transportation equipment, and correct lubrication considerably extends this lifetime. Economy of production requires the whole available capacity of agriculture machines to be in working condition i.e. agriculture machines to be used as intensively as possible. During the utilization of agriculture machines it appears aging of materials, wearing of some guides or elements and technological and operating efficiency of the equipment is being reduced. It provokes stoppages in work. Those breakes cause additional costs at replacement and repair of parts but also the costs due to stoppages in production process resulted from waiting for repairing of agriculture machines.

2. QUALITY SYSTEM

Quality system represents one organization structure which cover responsibility, procedures and resources for quality control, i.e. it defines principles on which is performed the work of majority of functions in one business organization.

The quality must be built-in into product. It can be achieved only by introducing and consistent application of quality system that has to include the whole production process from construction to servicing of products. The implementation of quality system in factories of metalworking industries should bring to reducing of inaccuratenesses, i.e. preventing even the possibility for appearance of inaccurate product.

ISO - 9000 standards define what it must be in quality system but they do not give working procedures for one concrete system in order that it could function. ISO - 9000 offers explanations only for general situation, i.e, it requires all orders and procedures to be documented and the task of a business organization is to build up and realize quality system based on general principles. One of the basic requirements of ISO - 9000 standard with respect to quality system is that it be documented.

The following sorts of documentation can be distinguished:

- Technical documentation (drawings, bill of materials, normatives of materials, technological procedures, technical instructions and similar).
- Control documentation (various organization instructions, working orders, normatives of jobs and times and similar).
- Documentation on quality system.

ISO -9000 standards foresee three levels of documents in quality system:

- Quality operating procedure (*figure:1*),
- Quality procedures (Organization instructions),

- Working instructions



Fig. 1. Procedures needed to define the system of quality for preventive maintenance

Organization instruction, i.e. procedure represents documentation by which are defined methods of work and activities. It represents one means for describing of job that has to be done and distribution of activities and authorizations. It represents, in the same time, also one confirmation that those activities have been completed on the prescribed way.

For critical examination of a procedure it must be identified:
WHO is responsible for performing of task,
WHAT must be performed,
WHEN is it performed,
WHERE is it performed,
HOW is it performed (step by step),
WHAT is it performed
WITH is it performed ON,
WHAT is it performed ON.

Working instruction should describe detaily HOW a certain job is worked, i.e. it defines working method and activities. It represents a means for describing of job to be done.

The instruction contains:

1.0. Introduction
  1.1. Subject of work
  1.2. Purpose of instruction
  1.3. Scope of application
  1.4. Responsibility
2.0. Definition of key words and abbreviations
3.0. Procedure of work
4.0. Transional and final provisions
  4.1. Required application
  4.2. Coming into force
  4.3. Change of instructions
5.0. Enclosures
  5.1. Flow chart

Quality system represents an organization structure which includes responsibility, procedures, processes and resources for quality control. Control of realization over technological investment project featured by different complexity, volume and duration is based on quality principles stated in International standard ISO-9000. Instructions concerning the application of conception and procedures of quality in process of: development, projecting, production, building-in, servicing, control, testing and quality control to the purpose of control and defining of quality.

Control should be aimed to reducing of defects, i.e. to avoiding of possibility for defects to be arisen at all. In order to achieve this target, when making a choice of the most favourable supplier, it is necessary the designing and introducing of Quality control system. Therefore, each enterprise, in accordance with its organization of work should pass organization and working instructions with clearly indicated hierarchy, activities and appertaining documentation.

3. LUBRICATION AS PART OF PREVENTIVE MAINTENANCE

Modern agricultural mechanization and related devices, activities and tasks are characterized by:

- Complexity and enlarged dimensions,
- diversity,
- greater and increasing interdependence in functioning,

- high losses of means and systems in state of failure and
- high repair costs

The objective of any maintenance related to technical systems is to secure normal working capacities, according to technical and operating characteristics during the expected working life. From the viewpoint of concept the maintenance system may be:

- corrective (after- or unplanned),
- planned-preventive and
- combined

Planned preventive maintenance has a time aspect and an aspect concerning the maintenance procedure.

In preventive maintenance, the lubrication process plays an inevitable role. By lubricating the friction elements of a dynamic system, the friction and the mechanical wear are reduced.

4. PROCEDURE FOR PREVENTIVE MAINTENANCE AND LUBRICATION IN AN AGRICULTURAL MACHINERY PRODUCTION PLANT

After receiving the documentation and based on the recommendations of the manufacturer and on own experience, maintenance engineering prescribes the preventive maintenance procedure, preventive maintenance plans (for year, quarter and month), instructions for lubrication and a lubrication plan, all on appropriate forms.

Maintenance engineering provides operating preparation department with:

- preventive maintenance procedure,
- planove preventivnog održavanja,
- instructions for lubrication,
- lubrication plans.

Operating preparation department performs the check and inspection of preventive maintenance plans and lubrication plans. It distributes preventive maintenance procedures to the operating maintenance department.

Preventive maintenance. The operating maintenance deparment executes preventive examinations according to preventive maintenance procedures and preventive maintenance plans and fills in the corresponding form for recording the performed preventive maintenance (*figure 2*). If a problem with the equipment is discovered, further actions should be taken in accordance with the instructions for operating maintenance, and if not, then the preventive maintenance report is sent to operating preparation department, where the reported is added to the specific machine record and archieved. The operating maintenance department has to supply the maintenance engineering department with any objections and suggestions involving preventive maintenance proceduresand preventive maintenance plans, and if the objections are justified, maintenance engineering performs a correction on preventive maintenance procedures and preventive maintenance plans.

Lubrication. Equipment lubrication department undertakes lubrication and the corresponding reporting according to lubrication instructions and lubrication plans. If everything is OK, the lubrication department sends the lubrication report. If a problem with the equipment is detected during lubrication, this is reported to operating maintenance department. Objections and suggestions are sent to maintenance engineering and if the objections or suggestions are justified, a correction of preventive maintenance procedures and plans is carried out.

5. CONCLUSION

In process of the preventive maintenance of machines one important part has its lubrication. Optimal lubrication of machines in prescribed time intervals and prescribed quantities of lubricants enables the reduction of wearing of working elements for machines being in dynamic contact. Reducing the wearing of working elements for machine their lifetime is extended, i.e. number of stoppages is reduced and their capacity and efficiency are increased but production cost are reduced.

Introduction of Quality Systems in lubrication system of machine and other equipment and its consistent use is necessary and it is aimed to reduce unaccurateness, i.e. to prevent even possibility for appearing such a unaccurateness. Organization and working instructions for lubrication of machines define procedures, competences, responsibility and documents by which is regulated the procedure of lubrication of machines.

REFERENCES

1. Živković, D., V. Pozhidaeva, R. Molnar. *Documentation Accompanying the Lubrication of Agricultural Machines and Requirements Relating to Quality Sistem Standards*. 6th International

Conference on Tribology **Balkantrib-08**, Tehnical University Sofia-Association Balkan Tribology, Sozopol, **2008**.

2. Živković, D., M. Veljić. *Operating Readiness As a Criterion for Evaluating the Success of Implementing the System of Quality*. 4rd International Conference Research and Development in Mechanical Industry-**RaDMI 2004**, Zlatibor, **2004**, pp.439-444.

3. Pozhidaeva, V., *A Method for Evaluation of the Quality of Operation of Mining Machines Based on Results from Technical Diagnostics*. Scientific-Expert Conference with International Participation **HIPNEF-2004**, Mechanical Engineering Faculty University of Nis, Vrnjacka Banja, Serbia and Montenegro, **2004**, 593-598.

4. Pozhidaeva, V. *Analysis of the Applicability of Vibration Methods for Control of Mine Mechanization*. 3rd International Conference Research and Development in Mechanical Industry-**RaDMI 2003**, H.Novi, Serbia and Montenegro, **2003**,1910-1914.

CORRESPONDENCE

Prof. Dr. Eng. Dragan ZHIVKOVICH
High Technical School, Novi Beograd, Serbia
e-mail: zivkkev@drenik.net

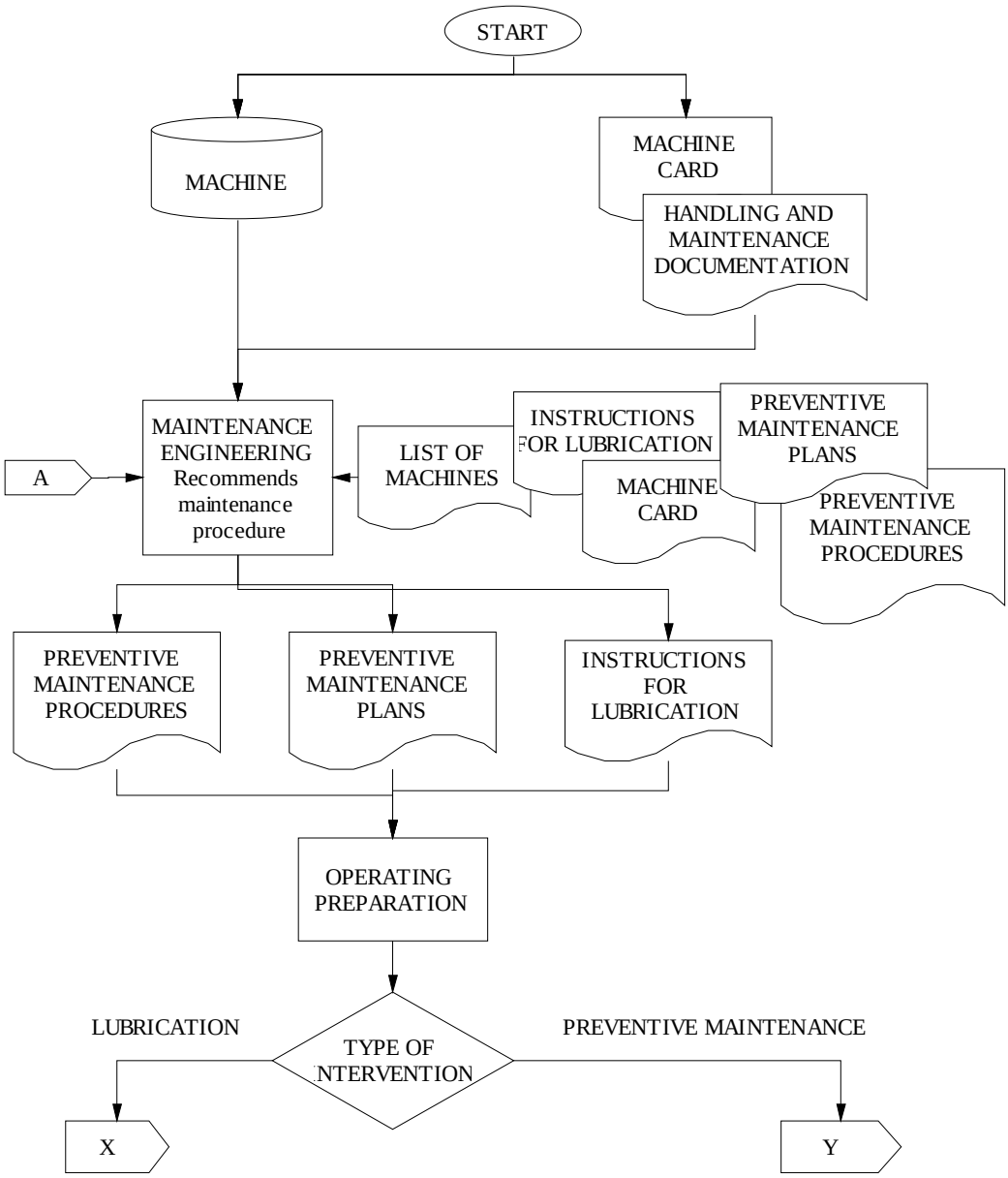


Fig. 2a. Algorithm of lubrication process as part of preventive maintenance

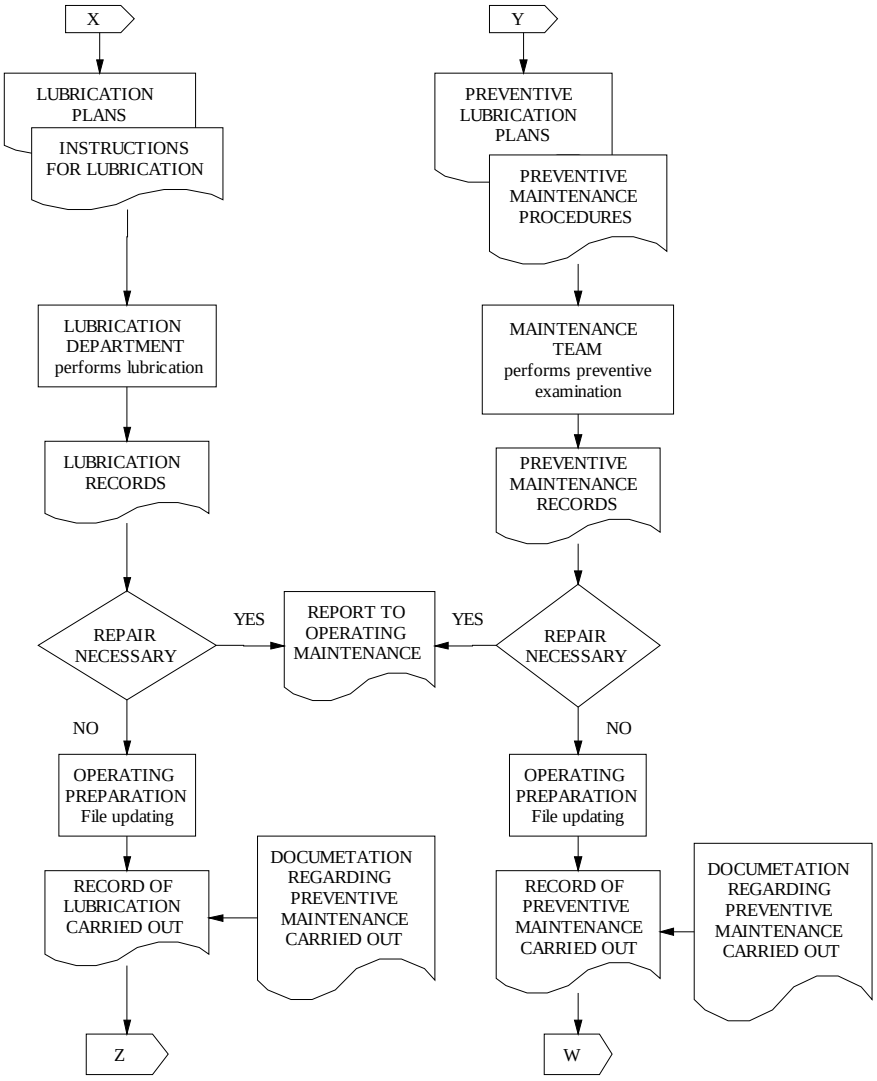


Fig. 2b. Algorithm of lubrication process as part of preventive maintenance

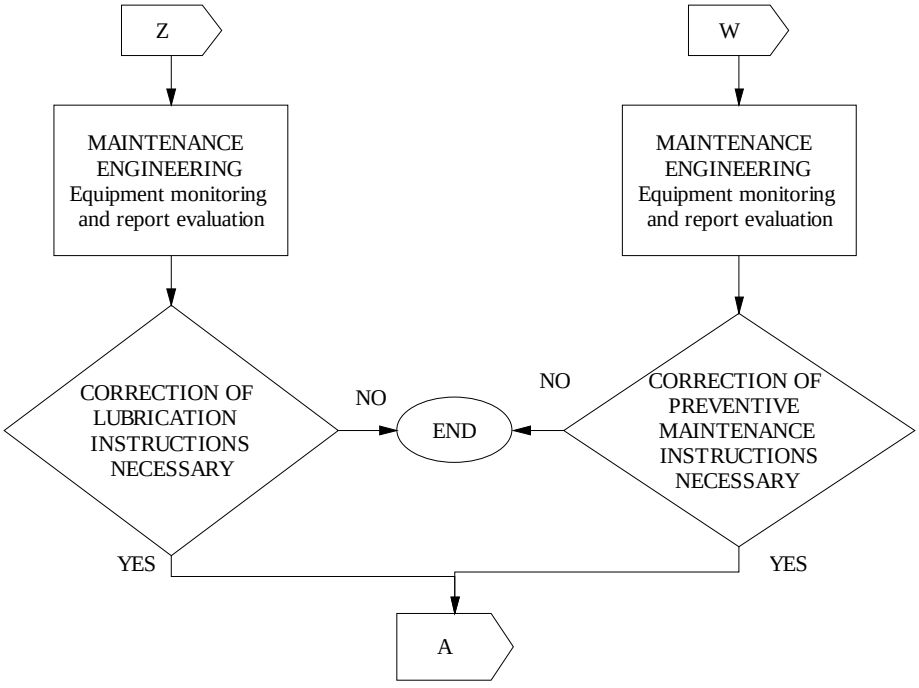


Fig. 2c. Algorithm of lubrication process as part of preventive maintenance

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

WEAR OF COATED PROFILED TOOLS IN PRODUCTION CONDITIONS

Bogdan SOVILJ **Juliana JAVOROVA** **Pavel KOVAC** **Ivan SOVILJ-NIKIC**

Abstract: *The hob milling process is one of the most important elements in the chain of gear mechanical machining, since productivity, final accuracy and quality of the gear depend heavily upon it. One of the basic cutting parameters, which influence the machining time and process economy, is the feed. The increase of feed has a less significant influence upon the wear increase than the increase of cutting speed. On the basis of analysis of the complex process of cutting of cylindrical gears by hob milling and performed simultaneous investigation of uncoated and coated hob milling in production conditions, this paper presents the possible significant cost reductions by application of coated tools.*

Key Words: *hob milling wear, tool life, feed, cutting speed, gear.*

1. INTRODUCTION

The development of the production tools, special industrial and civil engineering machines on the one hand, and prime movers on the other has brought about the occurrence of different designs of the power gear and turning moment, with the prominence of toothed gearing.

The problem of producing toothed wheel has been analyzed both in theory and practice in different ways; whereby the toothed wheel has been identified both as a part of a machine and as an element of production, that is a finished product.

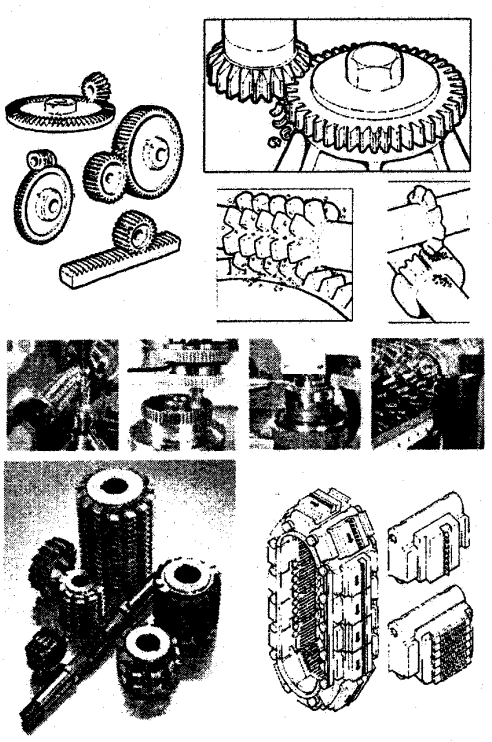


Fig. 1. The basic types and methods of serration, the basic and up-to-date tools for serration machining

The basic types and methods of serration, the basic and up-to-date tools for machining serration have been given in Fig. 1.

The hob milling is most widely applied in the course of machining serration of the cylindrical gear due to the high productivity of the process.

The knowledge and investigation of the process of machining serration is of extreme importance for the manufacturers of the toothed gear.

The hob milling process is one of the most important elements in the chain of gear mechanical machining, since productivity; final geometrical accuracy and quality of serration surface depend heavily upon it.

The improvement of the hob milling process is important and useful in the production of both toothed gear and hob millers. The directions of improvement of the hob miller serration are presented in Fig. 2.

The wear is one of the utterly negative occurrences in the machining processes. A relatively high pressure and high temperatures on the contact surfaces of the conjugated pairs, as well as the relatively high speed of the conjugated pairs are thought to represent the basic causes for the occurrence and intensive

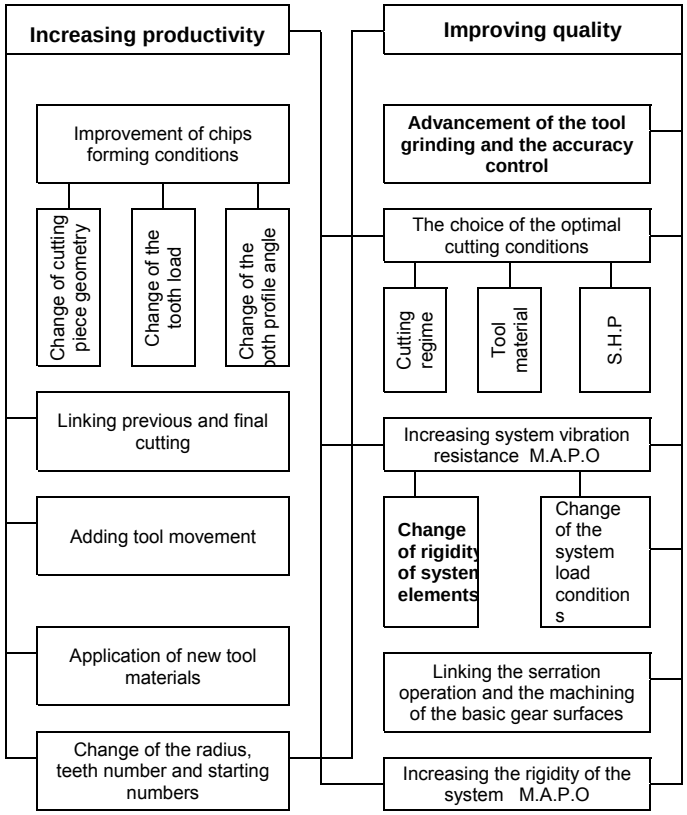


Fig. 2. Directions of advancement of hob milling gear serration

progression of the tool wear process. The wear of the working elements of the cutting wedge is continuous at all points of the process, as well as in all technological conditions and working regimes.

A distinction should be made between the tool wear and wear-out. The wear is a form of hob miller wear-out, because we can divide the causes of the wear-out, that is the loss of the cutting properties of the tool, as shown in Fig. 3, into four basic groups.

The process economy of the hob milling depends first of all on the type of tool wear. A great number of values and their alternating influence impede the research into the process of wear.

The wear of a single hob milling machine tooth depends, inter alia, on the size of axial feed and a number of the feeds. The progression of wear on a certain hob milling machine tooth depends, as well, on the combination of tool and workpiece material, the machine and the coolant and lubricant used; it also depends on the machining parameters presented in Fig. 4.

Tool and workpiece geometry and the milling procedures influence the hob

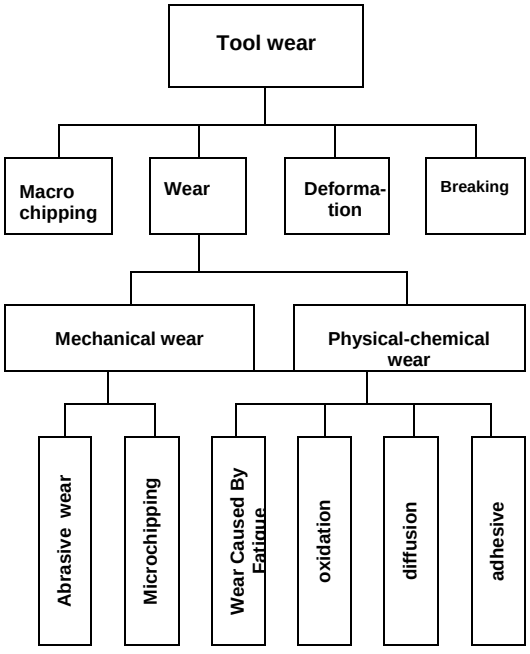


Fig. 3. The basic forms of the tool wear-out

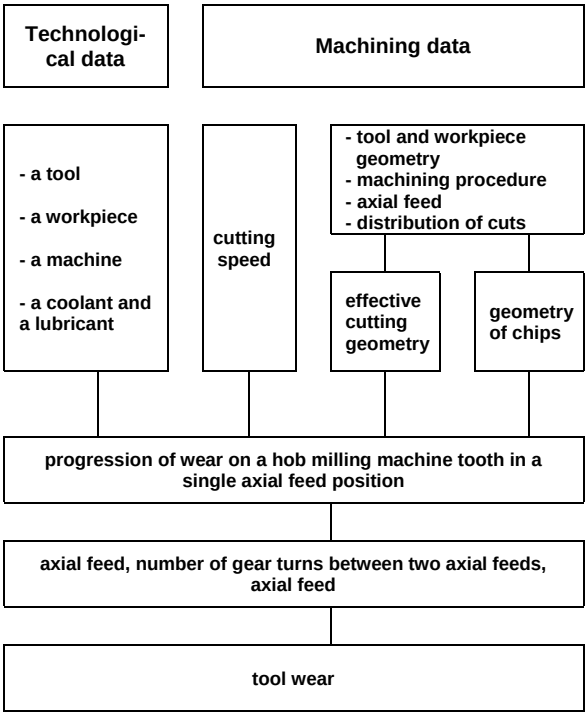
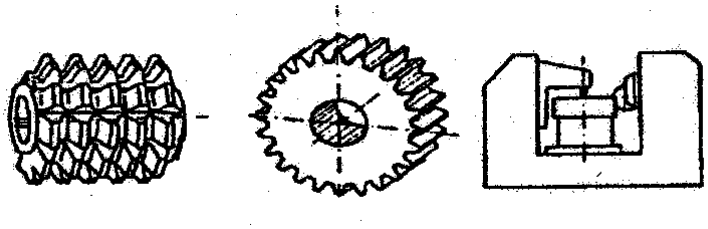


Fig. 4. Parameters influencing the process of the wear of hob milling machine

milling machine wear (Fig. 5). In order to estimate the tool wear, it is necessary to know which factors influence the process of hob milling; the degree of influence of particular parameters on the process itself is presented in Fig. 6.

Complicated kinematics and geometrical links between the tool and the workpiece cause a



Tool geometry | **Workpiece geometry** | **Hob milling procedures**

Modulus	Engagement angle	Axial
Profile angle	Gradient angle	Slant
Profile head height	Number of teeth	Diagonal
Outer diameter	Profile feed	Radial-axial
Number of feeds	Head height factor	i-milling
Number of grooves		Uni-direction/uni-direction
Profile correction		Opposite-direction/uni-direction
Direction of helix		Uni-direction/opposite direction
		Opposite direction/opposite direction

Fig. 5. Tool and workpiece geometry and milling procedures

Changeable influential factors / Characteristics of the cutting process		Conditions of cutting							Milling and cutting geometry						Materials	
		cutting speed	axial feed	milling method	axial milling		section distribution	cooling conditions	number of feeds - Z	number of chaser teeth - ni	miller outer diameter - Dg	rake angle	clearance angle	profile correction	workpiece material	hob miller material
Chip geometry	chip length		o				o		o	o	x					
	chip shape		o	x	o		o		o	o				x		
	chip thickness		x		o		o		x	o				x		
Chip detachment	compression	o	x	o					o		o	x		o	x	
	detachment disruption		o						o			o		x		
	layers on the cutting edge	x	o					o				o	o		x	o
	effective clearance angle			x	o				x				x			
Cutting process	number of cuts		x			x	x		x	o						
	cutting time	x				o	x				o					
	temperature	x	x	o				x	x	o		o	o	o	x	x

x-significant impact, o-small or indirect impact

Fig. 6. Matrix of factors influencing hob milling

number of difficulties, which impede the utilization of the tool, tool machine, i.e. they impede the optimization of the whole process of cylindrical gear serration machining. The difficulties we have listed become evident through insufficient durability of high-speed steel hob milling machines.

Experts for cutting machining, process engineers and metallurgists from the world's industry and science have been for many years attempting to reduce the high speed steel tool wear, in order to increase the economy and overcome the differences between tools made of high speed steel and tools made of hard metal.

For the last thirty years a considerable advancement has been made in creating new tool materials, new tool designs, in heat-treating and automation of the machining process. Further research has been directed towards the problem of how to improve the surface of the tool for machining cutting.

Tool manufacturer	Tool coating		Tool user
Specialized in: - tool design, - tool manufacture, - tool material Lacks knowledge in: - plasma physics, - highvacuum technique, - thin coats, - surface physics However: he has been asked to supply the coated tools	Coating department, Setting the PVD center for coating Distributor	Distributor	The automobile and tractor industry recognizes the benefits of advantages of the coated tools -greater speed and feed -greater durability -better quality -shorter processing time Therefore: Ask them to supply the coated tools

Fig. 7. Linkages among all the participants in the process

Nowadays, parts and tools for machining cutting are more frequently made of composite materials; the core of these materials serves to ensure the hardness and rigidity while the surface layers serve as rust preventives, wear preventives; they have to meet optical, esthetical, heat-treat and electrical demands. Such materials can be produced by using different coating techniques. The importance of these technologies is characterized by a fact that by coating them with thin layers we can ensure that they bear the required load on the one hand, and that we economize with the basic material on the other.

On the basis of the analysis of the linkages among all the participants in the coating process (Figure 7.), the need to inform the tool manufacturers about the specific additional requirements of coating their tool with materials having wear proof properties becomes evident.

2. EXPERIMENTAL RESEARCH

The increasing demands set for cutting machining tools require that new methods for making composite materials are constantly found and developed. Especially developed are the procedures of coating with hard material with the aim of wear prevention; the use of these materials in industry has been withheld because of the lack of knowledge and experience.

Data about the coated tools are not widely known probably because of the short period of their use, and every single case has to be carefully studied.

In order to clarify the possibilities of using the coated hob milling machines in industry, experimental research on the coated and uncoated tools should be performed, both in laboratories and in production. This paper presents a fragment of the results of the comparative study performed in real production conditions.

On the basis of data we have gained we can say that durability of new coated hob milling machines is three or four times greater than those of the uncoated. It neither means that the coated hob miller wears three or four times less for the same quantity of the machined parts, nor that it will produce three or four times greater number of parts for the same blunting between two sharpenings.

Criterion used in this research was the ratio of machined parts, under the same cutting regimes for coated and uncoated hob milling machines in the exploitation period of the two comparative tools for machining cutting. It is clear that we refer to the machining of the same parts on the same serration machine. We should not allow the same degree of wear for the coated and uncoated milling machine in our experience. The reason is a different ratio of the wear zone c and wear height h, meaning that the rounding of the acrons of the cutting edges is different.

The comparison shown in the Fig. 8 can be applied when the coated milling machine tooth face has been sharpened and used. Tooth-faces of both hob-milling machines are in that case uncoated, and on the coated tool tips and laterals have been previously coated with a thin protective layer. Owing to this, the wear zone of the coated miller - c_0 increases more slowly than the wear zone of the uncoated miller - c_n, with respect to the wear height h. The magnified wear is presented in Fig. 9.

It is clear that the coated layer, wear resistant, protects the basic tool material. Our current observations are still in the range of looking for the starting point of high degrees of wear, which depends on the value of wear height h and the feed, i.e. the zone which is being worn. This has been experimentally proven for a great number of times.

The experiments have been conducted in the following way: Our experience tells us that the hob milling machine can machine N pieces in certain cutting regimes. If the axial feed of the hob milling

machine is four times greater than the usual, the tool will machine four times smaller number of pieces while going from one end to the other. The wear, which occurs, is small. By repeating the number of

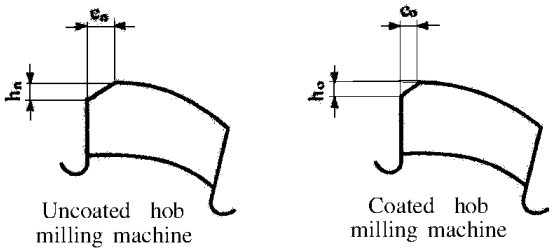


Fig. 8. Differences between ratios and rounding of the acrons of the cutting edges of the uncoated and coated hob milling machines

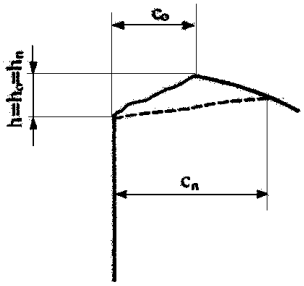


Fig. 9. The wear zone with the uncoated and coated hob milling machine

"passages" and by determining the wear we get the experimental points which make it possible to draw the process of wear, so that we can determine the point which is followed by the third wear phase. Entering the third wear phase is a pointer that the machining process, in the chosen cutting regimes, has to be terminated. It would be possible to continue with the machining serration process only if we increase the feed, i.e. if we increase the engagement area which prolongs the second phase of wear. The wear height h for the increased feed is no longer critical and in that case "phase III" shifts towards a greater number of machined parts. The reason is clear: the worn cutting edge cannot get through the thin coat, and instead of cutting the material, it kneads it, which is a cause of great wear. By increasing the feed, we enable the worn cutting edge to work on the thicker layer and it still cuts the material; it does not knead it. In this manner, although we increase the feed, we can postpone the starting point of the third phase of wear. By doing this we wanted to determine the extent upon which the critical point depends on the chosen that is applied feed.

According to the research conducted in IMT, the most frequent cases correspond to the ratios

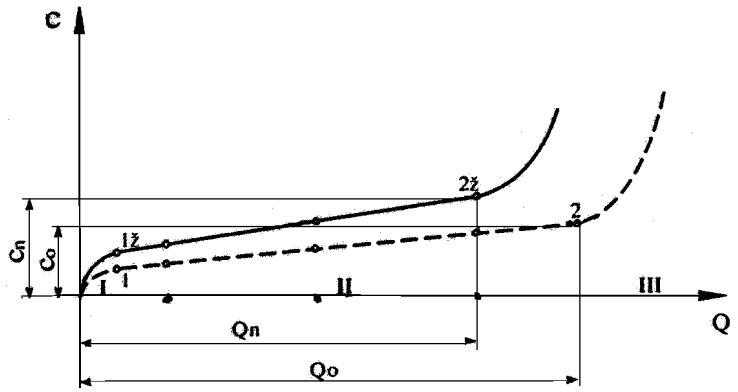


Fig. 10. Progression of the wear process for the uncoated and coated hob milling machine

given in Figure 10. The amount of the machined pieces for a durability are in ration 3 to 4, in favor of the coated hob milling machines, and the degrees of wear are in ration $1{,}5$ to 1, again in favor of the coated milling machines. If we take that the wear of the uncoated hob milling machines is 50% greater and that we should not give an exact value of wear, there is one more advantage in favor of the coated hob milling machines. If we take as an example the average acceptable wear in IMT, it is $c_n = 0{,}6$ mm for uncoated tools and $c_0 = 0{,}4$ mm for the coated ones; the ratio of the maximum wears is $0{,}6 : 0{,}4 = 1{,}5$. If we know that there are traces of the wear of $0{,}05$ mm on both of the hob milling machines, which have been observed and sharpened, then the ratio will be $(0{,}6 - 0{,}05) : (0{,}4 - 0{,}05) = 0{,}55 : 0{,}35 = 1{,}571$, so that we get 7%. Someone may think this is a rather small percent; however, if we know that costs of purchasing hob milling machines are very high, these 7% must not be disregarded.

If we consider the previous $4:3$ advantage of the coated milling machines and if we apply it in economical sharpening of $1{,}571$, then the equation will be:

$$(4:3)\times 1{,}571 = 2{,}095 .$$

To this we should add a smaller number of slowdowns due to the tool replacement, which was done in every 6 hours for the uncoated and every 8 hours for the coated hob milling machines, it is obvious that we lose half an hour in every 6 hours for the uncoated hob milling machines and as much in every 8 hours for the coated ones. Then we have $0{,}5:6 = 0{,}0833$, and $0{,}5:8 = 0{,}0625$, that is, instead of $8{,}33\%$ we lose $6{,}25\%$. The difference is $2{,}08\%$; it refers to the machine and is very significant. Because of the previous method of payment we cannot talk about the increase of the harshness of the regimes for hob milling machines in percents; it would also mean that less work and energy would be needed, the tool life would be longer for the same production and there would be more time for proper maintenance.

Unfortunately, neither science nor modern equipment can give good results unless there is a proper use of hob milling machines and unless we get a proper feedback from the factories.

3. CONCLUSION

On the basis of the analysis of the complex process of serration machining of the cylindrical gear by hob milling and conducted comparative investigation of the uncoated and coated hob milling machines in IMT, a conclusion has been reached that significant savings can be made by using the coated tools.

REFERENCES

1. Barrov, G.: *Wear of cutting tools*. J. of Tribology, vol. 5, № 1, **1972**.
2. Ivkovic, B.: *Tribologija rezanja*, Gradjevinska knjiga. Beograd, **1979**.
3. Kelly, W. D.: *Gear cutting with TiN - coated tools*. American machinist, **1982**.
4. Sovilj, B.: *Identifikacija triboloskih procesa pri odvalnom glodanju*. Disertacija, Fakultet Tehnickih Nauka, Novi Sad, **1988**.
5. Stanic, J.: *Teorija obrade metala I*. Masinski fakultet, Beograd, **1986**.

CORRESPONDENCE

Prof. PhD Eng. Bogdan SOVILJ
University of Novi Sad, Faculty of Technical Science
6 Dositeja Obradovica Str., 21000 Novi Sad, Serbia
e-mail: bsovilj@uns.ns.ac.yu

Assoc. Prof. PhD Eng. Juliana JAVOROVA
University of Chemical Technology and Metallurgy
Department of Applied Mechanics
8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia, Bulgaria
e-mail: july@uctm.edu ; julianata1@abv.bg

Prof. PhD Eng. Pavel KOVAC
University of Novi Sad, Faculty of Technical Science
6 Dositeja Obradovica Str., 21000 Novi Sad, Serbia
e-mail: pkovac@uns.ac.rs

Eng. Ivan SOVILJ-NIKIC
University of Novi Sad, Faculty of Technical Science
6 Dositeja Obradovica Str., 21000 Novi Sad, Serbia
e-mail: diomed17@yahoo.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

TECHNOLOGICAL PROVIDING OF SURFACE LAYER WEAR RESISTANCE OF MACHINE COMPONENTS

Vyacheslav F. BEZJAZYCHNYJ **Alexander N. SUTYAGIN**

Abstract: *The article describes the problem of friction unit surface layer parts wear resistance assurance based on control of geometrical and physic mechanical properties to be formed the machining.*

Key Words: *friction, wear rate, surface layer, machining, quality parameters.*

1. INTRODUCTION

The normal operation of a unit is characterized by the minimal wear rate of the material and the simultaneous forming of balanced geometrical (roughness) and physicomechanical (rate of the mechanical hardening of a surface layer) parameters of a surface layer of machine components (according to research of A. A. Matalin, V. S. Kombalov, A. G. Syuslov et al.). Duration of break-in period of interfaced machine components depends upon the difference between the initial quality parameters and optimal parameters of the surface layer. Therefore during manufacturing of vital units optimal quality parameters of the surface layer are to be technologically provided on the surfaces of the machine components.

Existing techniques of wear rate calculation have the following differences: in some of them the wearing ratio is estimated according to the specified quality parameters of the surface layer; in others wearing ratio is estimated according to the specified machining modes. That doesn't provide forming of balanced quality parameters of a surface layer of the machine components, which are necessary for normal operation of the unit. So it is necessary to develop the mathematical model that matches technological machining conditions with balanced quality parameters of a surface layer of machine components.

2. THE STUDIED PHYSICAL MODEL

Any crystal body possesses inner and surface energy. Changing of an inner energy is determined by the formula of specific energy of deformation Δw accumulated in the material as a result of dislocation forming (according to research of M. A. Prokofiev, RSAAT)

$$\Delta w = f\left(HV, HV_0, \alpha_0, G\right), \tag{1}$$

where G – a displacement module of an examined material; α_0 – parameter of interdislocation interaction; HV – a microhardness of a surface layer of an examined part at the specified depth; HV_0 – a microhardness of a undeformed material.

As a result of interaction of the interfaced parts new surfaces are formed which is followed by energy release γ_{ef}, consumed for its forming [1]

$$\gamma_{ef} = f\left(F, Rz, HV\right), \tag{2}$$

where F – normal force of friction pair elements interaction; Rz – an altitude of irregularities of an examined surface profile.

As a result of break-in process of interfaced machine components the surface of a part obtains such physical conditions and such structure that provides minimal potential energy of the surface layer, i. e. becomes the stable system that allows minimal dissipation of energy at such conditions. The geometrical (roughness) and physicomechanical (microhardness) quality parameters of a surface layer formed in such way are called balanced.

According to the first law of thermodynamics the work of friction force with taking into consideration the conditions of balanced state obtaining is expressed as

$$W_{fr} = f\left(f, F, S_{fr}, V_W, Rz_{bal}, HV_{bal}, HV_0\right), \tag{3}$$

where W_{fr} – friction work; f – a friction coefficient; S_{fr} – friction track; Rz_{bal} – balanced roughness of the interfaced surfaces of the components; HV_{bal} – balanced microhardness of a surface layer of an examined part at the specified depth; V_W – the volume of a worn material.

Taking into consideration, that expression $\frac{V_W}{S_{fr}}$ represents the value of wear rate J_V, correlation between wear rate and balanced parameters of a roughness and a rate of a mechanical hardening of a surface layer of machine components is defined as

$$J_V = Kj\frac{fF3\pi S_{fr}Rz_{bal}2\cdot10^{-3}\cdot\left[HV_0(N_{bal}+1)\right]^{1,19}-4F^2}{\frac{3\pi}{\alpha_0^2 G}S_{fr}Rz_{bal}\cdot2\cdot10^{-3}\cdot\left[HV_0(N_{bal}+1)\right]^{1,19}\left[0,32\cdot HV_0\cdot N_{bal}\right]^2}, \tag{4}$$

where J_V – wear rate, m^3/m; Kj – proportion ratio depending on physicomechanical properties of a material; f – friction ratio of materials of a friction pair; α_0 – parameter of interdislocation interaction.

Using the formula for correlation between surface roughness, rate of mechanical hardening and technological requirements of machining [2, 3], correlation between wear rate and technological requirements of machining is formulated as

$$J_V = f\left(Kj, f, F, S_{fr}, \alpha_0, r, HV_0, h_c, \sigma_B, \sigma_{B_E}, p_1, t, \tau_p, B_{Cr}, \gamma\right), \tag{5}$$

where $p_1 = f\left(a_1, b_1, c\rho, \theta, \rho_1, a, \lambda_p, \beta, \varepsilon, V, \lambda, \alpha, \tau_p, b, a_2, B_{Cr}, b_2, \gamma, x, \delta_1\right)$; h_c – depth of a mechanical hardening; V – a cutting speed; t – a cutting depth; τ_p – plastic displacement resistance of the treated material; λ and λ_p – thermal conduction of treated and tool materials; θ – a melting temperature of a treated material; α and γ – rear and front angles of the cutter; φ и φ_1 – principal and auxiliary angles of the plane; β, ε – cutter pointing angle and vertex angle of the plane; r – radius at a cutter tip of the plane; ρ_1 – radius of a rounding of a cutting edge of a cutter; δ_1 – value of wearing of a cutter on a rear surface; σ_B – ultimate stress limit of a treated material; a – temperature conduction of a treated material; σ_{B_E} – ultimate stress limit of electric steel taken as a standard sample; $c\rho$ – specific volume thermal capacity of a treated material; a_1 – thickness of cut; b_1 – width of cut; b – the summary length of cutting edges; $V_{Cr} = \frac{cB_{Cr}^x D_{Cr}^z}{G_{Cr}^y\left(1-\sin\gamma\right)^{0,73}}$ – dimensionless group; $B_{Cr} = \frac{Va_1}{a}$ – dimensionless group; $G_{Cr} = \frac{\lambda_p}{\lambda}\beta\cdot\varepsilon$ – dimensionless group; $D_{Cr} = a_1/b_1$ – dimensionless group; a_2, b_2, c, ξ, χ, x, y, z – the values depending on properties of treated and tool materials.

3. EXPERIMENTAL CONDITIONS, RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of the results of calculated and experimental definition of wear rate of samples (materials grades: steel 45, ШХ15, 13Х11Н2В2МФ) in balanced state conditions of a surface layer has shown, that a lapse of calculation for the developed relation (4) does not exceed 12 % with correction coefficient Kj for different groups of materials. As a result of analysis of the experimental data it has been discovered, that value of coefficient Kj characterizes ability of a material to resist plastic deformation and destruction during friction process. Using degree approximation of experimental values, the following expression for definition of coefficient Kj is obtained

$$Kj = 20 \cdot \left(\frac{\sigma_B}{\sigma_{0.2} \cdot \delta} \right)^{-4,14} \quad (6)$$

where $\sigma_{0,2}$ – yield strength conditional with the tolerance on value of plastic deformation at stressing 0,2 %; δ – extension strain.

On the basis of the obtained relations the technique of machining conditions calculation providing of machine components surface layer wear resistance is offered. Algorithm of the developed technique is shown on fig. 1.

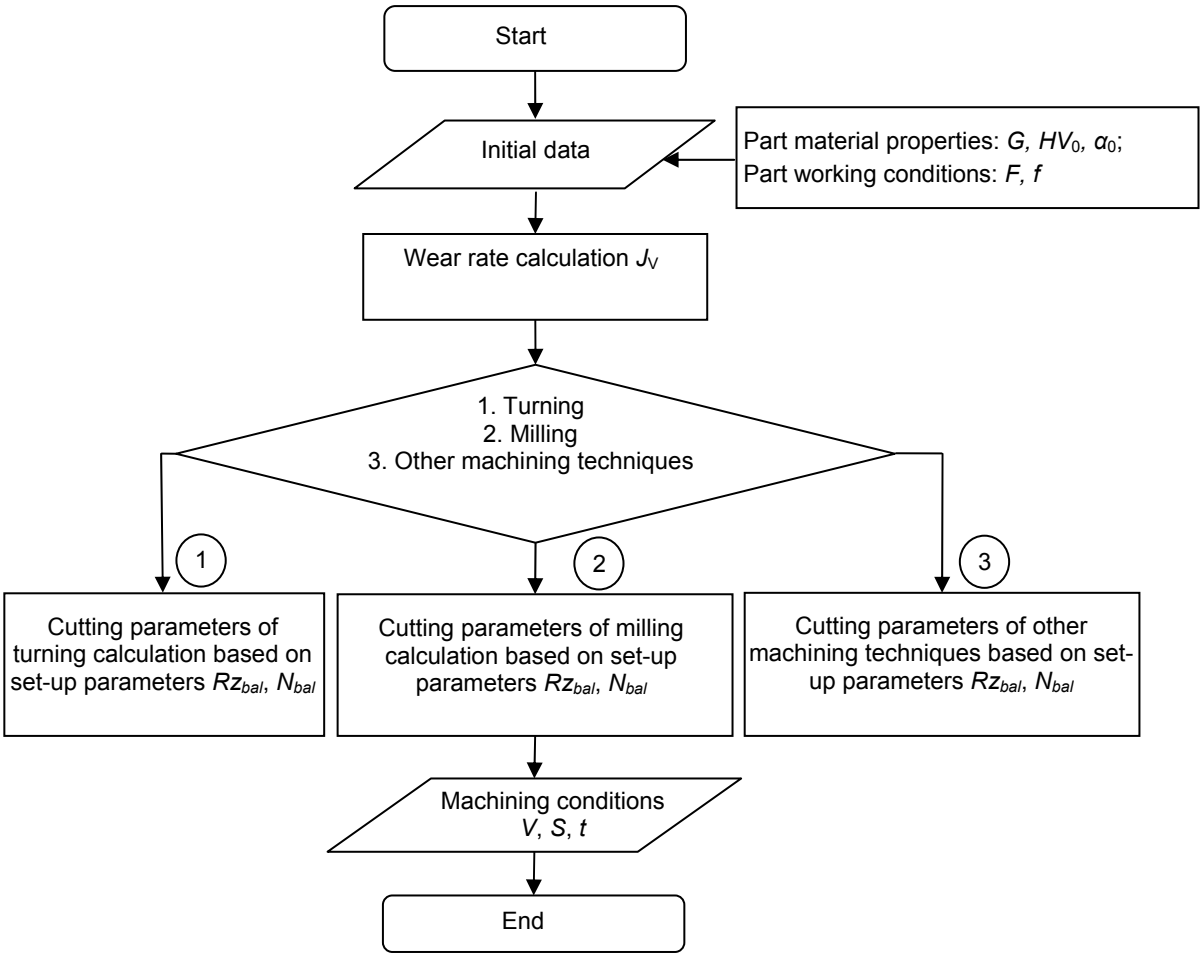


Fig. 1. Algorithm of machining conditions calculation providing of machine components surface layer wear resistance

Algorithm operation consists in following:
1) initial data input: displacement module of an examined material G, microhardness of a undeformed material HV_0, normal force of interaction of elements of a friction pair F, friction ratio of materials of a friction pair f; parameter of interdislocation interaction α_0;
2) using formula (4) wear rate and balanced surface layer quality parameters (rate of the mechanical hardening of a surface layer and roughness) are calculated;
3) choice of treatment (turning, milling, etc.) according to part geometry, required accuracy of the machining and the machined surface quality.

Machining conditions (unit 1, unit2) are calculated based on algorithms designed by scientists of Rybinsk State Academy of Aviation Technology [4].

Relations of wear rate and cutting parameters of turning permitting to calculate analytically wear rate depending on chosen cutting parameters, to assign or adjust treatment conditions providing forming of the balanced geometrical and physic mechanical properties of machine components surface layer are obtained (tab. 1).

Table 1

Parts material	Relations of wear rate and cutting parameters of turning
ШХ15	$J_V = 3{,}71 \cdot 10^{-8} S^{0,054} V^{0,85} t^{-0,12} r^{-0,069} \phi^{-0,69} F^{0,95}$
30ХГСА	$J_V = 2{,}945 \cdot 10^{-8} S^{0,024} V^{0,428} t^{-0,046} r^{-0,077} \phi^{-0,909} F^{0,907}$
45	$J_V = 2{,}574 \cdot 10^{-9} S^{0,27} V^{0,68} t^{-0,2} r^{-0,11} \phi^{-0,62} F^{0,84}$

In tab. 1: S – feed, mm/rev. Equations adequately describe process at S = 0,05...0,08 mm/rev; V = 0,1...0,2 m per sec.; t = 0,25...0,4 mm; φ = 45 … 60 °; r = 0,3 … 1 mm; F = 100 … 500 N; a dry friction; elastic character of interaction; contact temperature no more than 120°C.

4. CONCLUSIONS

Analysis of the results of experimental researches of wear rate of contacted surfaces after machining has shown, that the received mathematical model of correlation between wear rate and technological requirements of machining allows calculating wear rate of interfaced machine components after the break-in period.

The developed algorithm of treatment conditions calculation providing of machine components surface layer wear resistance allows technologist in the processing design stage to determine machining conditions providing forming of the balanced geometrical and physic mechanical properties of machine components surface layer permitting to reduce running-in time of machine components.

REFERENCES

1. Kascheyev, V.N. *Phenomena of the metals friction contact zone*, Moscow, **1978**, 213 p.
2. Bezjazychnyj, V.F., T.D. Kozhina, A. K. Konstantinov. Moscow., **1993**, 184 p.
3. Bezjazychnyj, V.F., V.N. Krylov, V. A. Poletaev. Automatization of the gas-turbine engines manufacturing process. Chapter 1. Moscow, **2005**, 560 p.
4. Bezjazychnyj V.F., T.D. Kozhina, S.A Volkov. *Industry registration certificate №3452 "Machining conditions of turning providing parts performances".* Moscow, **2004**, 1 p.

CORRESPONDENCE

Doctor of Technical Sciences Vyacheslav F. BEZJAZYCHNYJ
PhD Alexander N. SUTYAGIN
Organisation, Address: Rybinsk State Academy of Aviation Technology named after P. A. Solovjev, 152934, Russia, Rybinsk, Yaroslavl region, St. Pushkin, 53
E-mail: root@rgata.ru

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

ABOUT THE INTERDISCIPLINARY APPROACH IN TRIBOLOGY

Mara KANDEVA

Abstract: *The paper considers theoretical problems of the interdisciplinary approach in tribology according to the model of the functional atom and the general law of contact interaction. General and partial communication potentials are introduced at different mechanisms of disturbances on the functional atom.*

Key word: *tribology, model, functional atom, approach, interdisciplinarity.*

ОТНОСНО ИНТЕРДИСЦИПЛИННИЯ ПОДХОД В ТРИБОЛОГИЯТА

Мара КАНДЕВА

Резюме: *В работата се разглеждат теоретични въпроси на интердисциплинния подход в трибологията по модела на функционалния атом и общия закон за контактното взаимодействие. Въведени са общи и парциални комуникативни потенциали при различни механизми на смущения върху функционалния атом.*

Ключови думи: *трибология, модел, функционален атом, подход, интердисциплинност.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Всички изследователи, които са се докосвали теоретично или експериментално до отделни трибологични въпроси и които наричат себе си „триболози", се изправят и пред фундаментални въпроси като: кой всъщност е предметът на трибологията? По какво се различава стилът и духът на трибологията от останалите научни дисциплини? Има ли трибологията собствен научен подход и кой е той?

Обект на настоящата работа по същество се явяват отговорите на първия и на третия въпрос.

Традиционните научни дисциплини, които се характеризират като частно-научни, фундаментални и комплексни, господстват в университетската образователна система и носят отпечатъка на сциентистката модерна култура на индустриалното общество [1]. Всички подходи и методи на тези дисциплини имат специфична квалификация. Фундаменталните дисциплини например са строго рационални и се основават на аксиоматичен подход, който в методологията на науката се нарича дедуктивен. Чисто експерименталните науки се основават на сетивния подход, който в науката се нарича индуктивен. А дисциплините с по-комплексен характер, така важни за инженерното образование, използват както дедуктивни, така и на индуктивни методи в своята практика [2,3,4,5].

Къде е трибологията в рамките на съществуващата квалификация по отношение на своя подход?

Отговорът на този въпрос се характеризира със спектрално многообразие. Някои я определят като мултидисциплинарна наука, други я разглеждат като раздел на техническите науки, трети - като комплексна механика, четвърти – като обща технология, пети – като изкуство и начин на мислене и т.н. Най-много са тези обаче, които се задоволяват с буквалния превод на термина "трибология" като наука за триенето. Представата за триенето от своя страна също претърпя еволюция. Тръгна се от механичната интерпретация на триенето като тангенциална реакция на телата при релативното им преместване. След това триенето се свърза с необратимите термодинамични процеси, преобразуващи механичната енергия в топлина, а в по-ново време то се разглежда като комплекс от съпътстващи контактното взаимодействие явления в условия на покой и движение. При това се имат предвид взаимодействията не само на твърди тела, но и на течни и газообразни, и не само механичните, но и всички видове

контактни взаимодействия между тях. Стандартното определение за трибологията е “наука за взаимодействащите си повърхнини при относителното им движение” [6, 7].

Характерно за тези представи и определения е, че те поставят акцент върху явленията и процесите, които изследва, изучава и описва трибологията. При тях се пропуска пространственото функционално образувание, където се осъществяват тези процеси, т.е. изпуска се въпросът за обекта на трибологията. С направената констатация може да се обясни и сравнително дългият период, през който трибологията доказваше правото си на собствен статут като самостоятелна наука. За щастие на нейните изследователи и последователи този период на обособяване отмина, но авторитетът на трибологията като научна парадигма продължава да не съответства на потенциалните й научно-методологични и технологични възможности и ценности. Това несъответствие лесно се преодолява, ако акцентът от контактните процеси в нейното определение се прехвърли върху контакта като пространствено и функционално образувание, където се разиграват тези процеси, с което се обявява, че трибологията има за обект “контакта” на телата, или трибологията е наука за контакта на телата.

Самостоятелното място, функции и роля на контактите в сложното взаимодействие на телата, при цялото тяхно многообразие, определя и самостоятелното място и роля на трибологията в научното пространство, като наука за контактите в природата, техниката и обществото.

Господстваща е представата на триболозите за третото тяло като “зона на фрикционното взаимодействие на телата”, т.е. базово е понятието триене, а контактът е само негов придатък. Предлаганата метаморфоза се състои в смяна на местата на тези понятия, като понятието за контакта, като обект на трибологията, се издига в ранг на общо интердисциплинарно понятие, а понятието триене става вторично, като контактен феномен и придатък [8,9,10].

Утвърждаването на трибологията като наука за контакта ще има важни за нея последици [8, 9,10]:

1. Контактът като трето контактно начало на всички науки, за всички формирования на битието и като фундаментално понятие на трибологията, определя последната като водеща за интердисциплинността в нейната цялост.

2. Контактът в ролята му на трето начало за всички образувания, процеси и състояния ще доведе до широка популярност и престиж на трибологията, заменяйки господстващите в логиката на анализа и синтеза бинарни отношения и двоични елементарни структури с триади и троични структури. Функционалният атом, като модел на елементарната контактна система (трибосистема), ще се преобразува в модел на структурно функционално цяло на фундаментално ниво с плуралистична устойчива и единна същност, изградена от две алтернативи и контакт между тях.

3. Трибологията, обявявайки контакта за свой обект и за свое базово понятие, получава възможността да се изгради като логически организирана система от знания с оригинална интердисциплинна методология и мощен иновационен потенциал.

4. Не на последно място, с новата си парадигма трибологията ще стане привлекателна за изучаване от младите хора и за използване в производството и социалната практика, от действащи специалисти в различни научни области.

Цялостно изследване в методологичен план, отчитащо централната роля на контакта като трето функционално начало, е направено в монографията на проф. дтн Н. Манолов „Контактен подход” от 2007 г.[11]

Целта и смисълът на настоящото изследване е да се адаптира контактният подход към спецификата на трибологията като интердисциплинарна наука. Адаптацията предполага обосноваване на специфични понятия и решаване на теоретични проблеми, свързани с характера на техническите контакти и процеси.

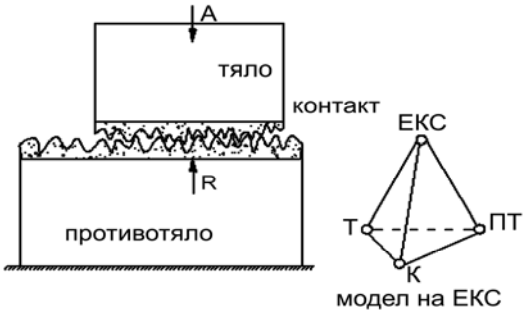
Системообразуващ елемент на контактния подход се явява законът за контактното взаимодействие на телата по модела на функционалния атом на трибологията.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

2.1. Моделът на функционалния атом и общия закон за контактното взаимодействие в трибологията

За да се формира елементарна контактна система са необходими най-малко две тела. Елементарната контактна система (EKC) по модела на функционалния атом обаче не е двуединна, а триединна, т.к. между телата, известни като тяло (T) и противотяло (ΠT), се изгражда междинно (преходно) образувание, което е наречено „трето тяло” или „контакт” (K).

Функционалният атом като базово универсално понятие на контактния подход е пространствено образувание, включващо в състава си на първо същностно ниво две алтернативи и контакт между тях. Четирите точки, съответстващи на функционалния атом EKC като цяло, двете му алтернативи тяло T, противотяло $ПТ$ и контакт между тях K, формират пространствена фигура, в която атомът битува (фиг. 1). Формата на тази фигура може да бъде сферична, цилиндрична и тетраедрична.



Фиг. 1. Елементарната контактна система по модела на функционалния атом

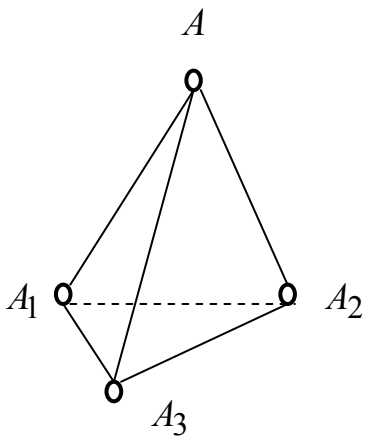
В трибологията съществуват много закони, свързани с контактното взаимодействие на телата. Интензивното й развитие като нова интердисциплинарна наука през последните години обогатява нейното познавателно пространство с нови такива.

Общият трибологичен закон $ОТЗ$ (закон за контактното взаимодействие на телата) не е поредния закон в трибологията, а се отнася за контактното взаимодействие на телата без оглед на тяхното естество. Този закон има за цел да преодолее „раздробеното", „насипно" състояние на трибологичното знание, отнасящо се до различни феномени, процеси и състояния в нейното интердисциплинно пространство.

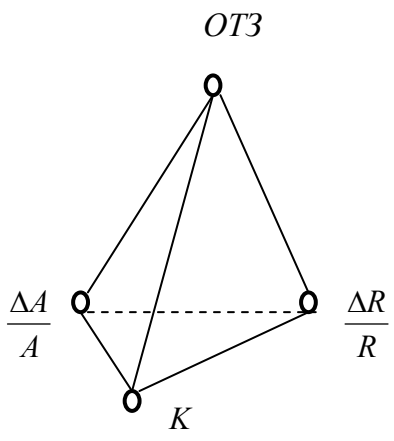
На фиг. 2 функционалният атом е изобразен като тетраедър. Алтернативите на функционалния атом A са A_1, A_2, а контактът между тях - A_3. Обемът на функционалния атом е

$$V = \alpha A_1 . A_2 . A_3 \tag{1}$$

На фиг. 3 е изобразен общия трибологичен закон $(ОТЗ)$ под формата на функционален атом.



Фиг. 2. Функционалният атом като тетраедър



Фиг. 3. Функционалният атом на общия трибологичен закон

Алтернативите на ОТЗ са $\Delta A / A$ - относителната акция и $R / \Delta R$ - реципрочната стойност на относителната реакция. Контактът K характеризира комуникацията между тях.

ОТЗ за даден атом с функционален обем V се получава като се заместят A_1, A_2, A_3 с алтернативите и контакта в този закон, т.е.

$$\eta.A^*.R^* = 1, \tag{2}$$

където

$$\eta = \alpha\frac{K}{V};\ A^* = \frac{\Delta A}{A}; R^* = \frac{R}{\Delta R}. \tag{3}$$

Общият трибологичен закон гласи: Мултипликацията на трите потенциала η, A^*, R^* за всеки трибологичен атом е единица. Трите потенциала са бездименсионни величини и това е гаранция за тяхната универсалност.

ОТЗ в диференциална форма има вида:

$$\frac{dR}{R} = \eta\frac{dA}{A}, \tag{4}$$

т.е. η е контактния потенциал, който преобразува относителната акция в относителна реакция.

Физическият смисъл на η като комуникативен (контактен) потенциал следва да се търси в правата му пропорционалност с комуникацията между активния и реактивния потенциал и обратната му пропорционалност на функционалния обем на същия атом. Той зависи още от формата на функционалния атом.

Контактното взаимодействие между кои да са два функционални атома от битието се измерва с текущата стойност на контактния потенциал η чрез отношението между относителната реакция на R с относителната акция на A или

$$\eta = \frac{dR}{R} : \frac{dA}{A} \tag{5}$$

Формула (5) за експериментални изследвания се записва във вида:

$$\eta = \frac{\Delta R}{R} : \frac{\Delta A}{A} = \eta\left(R, A\right) \tag{6}$$

2.2. Теоретични въпроси на интердисциплинния подход в трибологията

Общият закон за контактното взаимодействие на функционалните атоми позволява да се формулират и докажат две теореми и един принцип за характера на това взаимодействие.

Теорема Първа: Ако активното смущение A върху даден функционален атом се суперпозира от частни смущения A_i, то тоталната реакция R на тези смущения и тоталният контактен потенциал η се суперпозират по формулите:

$$dR/R = \sum_i \eta_i dA_i / A_i\ ;\ \ \eta = \sum_i \eta_i\ ;\ \ \ i = 1,...,n\ . \tag{7}$$

Доказателство:
Дадено е:

$$A = \sum_i A_i \ \text{ и } \ \frac{dR}{R} = \eta\frac{dA}{A} \tag{8}$$

Ще се докаже валидността на формула (7)

Действително от (8) следва:

$$\frac{dR}{R} = \eta\frac{dA}{A} = \eta\frac{d\left(A_1 + A_2 + ... + A_i + ... + A_n\right)}{A_1 + A_2 + ... + A_i + ... + A_n} = \eta\frac{dA_1 + dA_2 + ... + dA_i + ... + dA_n}{A_1 + A_2 + ... + A_i + ... + A_n}$$

или

$$\frac{dR}{R}=\frac{\eta}{1+\frac{A_2}{A_1}+...+\frac{A_n}{A_1}}.\frac{dA_1}{A_1}+\frac{\eta}{\frac{A_1}{A_2}+1+...+\frac{A_n}{A_2}}.\frac{dA_2}{A_2}+...+\frac{\eta}{\frac{A_1}{A_n}+\frac{A_2}{A_n}+...+1}.\frac{dA_n}{A_n}$$

т.е.

$$\frac{dR}{R}=\eta_1\frac{dA_1}{A_1}+\eta_2\frac{dA_2}{A_2}+...+\eta_n\frac{dA_n}{A_n}=\sum_i\eta_i\frac{dA_i}{A_i}=\sum_i\frac{dR_i}{R_i} \tag{9}$$

където

$$\eta_i=\frac{\eta}{\frac{A_1}{A_i}+\frac{A_2}{A_i}+...+\frac{A_i}{A_i}+...+\frac{A_n}{A_i}};\ i=1,...,n \tag{10}$$

така че

$$\sum_i\eta_i=\eta_1+...+\eta_n=\eta\left(\frac{1}{1+\frac{A_2}{A_1}+...+\frac{A_i}{A_1}+...\frac{A_n}{A_1}}+...+\frac{1}{\frac{A_1}{A_n}+\frac{A_2}{A_n}+...+1}\right)=\eta \tag{11}$$

с което теоремата е доказана.

Парциалните контактни потенциали η_i се изследват и определят експериментално по формулите:

$$\eta_n=\frac{\Delta R_n}{R_n}:\frac{\Delta A_n}{A_n};\ i=1,...,n;\ \Delta A_i=0 \quad \text{за всички} \quad i\neq n \tag{12}$$

Теорема Втора: Структурата на смущенията A_i и връзката им с реакциите R_i (9) се запазва и при произволна форма на мултипликация на парциалните смущения по формулата:

$$A=kA_1^{\alpha_1}A_2^{\alpha_2}....A_n^{\alpha_n}\ \text{, където}\ k=const \tag{13}$$

Доказателство:
Дадено е:

$$\frac{dR}{R}=\eta\frac{dA}{A};\ A=kA_1^{\alpha_1}A_2^{\alpha_2}....A_n^{\alpha_n}\ \text{и}\ k=const;\ \alpha_i=const;i=1,2...,n \tag{14}$$

Ще се докаже валидността на формула (9).
Логаритмува се израза (13)

$$\ell nA=\ell nk+\alpha_1\ell nA_1+\alpha_2\ell nA_2+...+\alpha_n\ell nA_n$$

и сред диференциране и заместване в (4) за относителната реакция се намира:

$$\frac{dR}{R}=\eta\left(\alpha_1\frac{dA_1}{A_1}+\alpha_2\frac{dA_2}{A_2}+...+\alpha_n\frac{dA_n}{A_n}\right)=\sum_i\eta_i\frac{dA_i}{A_i} \tag{15}$$

където

$$\eta_i=\eta\alpha_i;\ i=1,2...,n \tag{16}$$

Макар структурите на парциалните реакции да са еднакви по форма според разгледаните две теореми, то разликата между тях е съществена и се изразява чрез начините, по които се структурира общия контактен потенциал (вж. формули 11 и 16).

Принцип за независимото действие на смущенията A_i: Смущенията A_i, $i=1,2...,n$, действащи на даден функционален атом, са независими ако ефектът от тяхното действие върху функционалния атом не зависи от присъствието на други смущения върху атома.

Или ако общото смущение A предизвиква реакция R по закона

$$\frac{dR}{R}=\eta\frac{dA}{A}$$

а частното смущение A_i предизвиква реакция R_i по закона

$$\frac{dR_i}{R_i}=\eta\frac{dA_i}{A_i},\ i=1,2...,n,$$

то принципът за независимото действие на тези смущения предполага удовлетворяването на условието $\eta_i=\eta$, $i=1,2...,n$, т.е. локалните контактни потенциали да са равни на общия потенциал на контактната система.

Ако се приложи принципът за независимото действие на смущенията за частния случай на силови смущения, т.е. $A_i=\vec{F}_i$, то принципът за независимото действие на силите за материална точка с маса m в качеството си на самостоятелен функционален атом ще добие вида:

$$\frac{d\vec{R}}{\vec{R}}=\eta\sum_i\frac{d\vec{F}_i}{\vec{F}} \tag{17}$$

Ако се отчете обстоятелството, че общата реакция $\vec{R}$ се изразява в случая с формулата

$$\vec{R}=m\ddot{\vec{r}}\ , \tag{18}$$

където $\ddot{\vec{r}}$ е ускорението на точката, то за общото диференциално уравнение на свободна материална точка m с отчитане на контактният й потенциал с околната среда η се получава:

$$m\dddot{\vec{r}}=\eta\left(t,\vec{r},\dot{\vec{r}}\right).\frac{d}{dt}\sum_i\vec{F}_i\left(t,\vec{r},\dot{\vec{r}}\right),\ i=1,2...,n \tag{19}$$

Уравнение (19) следва да се назове ***основно диференциално уравнение на трибодинамиката на материална точка***.

Известното уравнение на динамиката на материална точка се получава от уравнение (18) за частния случай $\eta\left(t,\vec{r},\dot{\vec{r}}\right)=1$, т.е.

$$m\ddot{\vec{r}}=\vec{F}_1+\vec{F}_2+...+\vec{F}_n=\sum_i\vec{F}_i\left(t,\vec{r},\dot{\vec{r}}\right),\ i=1,2...,n \tag{20}$$

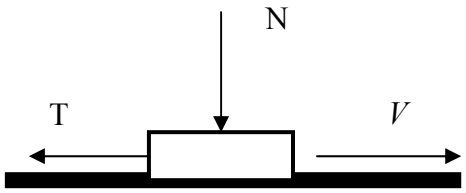
2.2. Приложни илюстрации на теорията

Предидущата теория ще се илюстрира с три примера от трибологията.

Пример 1. Да се определи характерът на закона за триенето във вида „Леонардо-Амонтон” $T=\mu N$, където N е нормалния натиск върху плъзгач под формата на смущение, T - силата на триене като реакция, а $\mu=const$ - коефициент на триене при плъзгане (фиг. 10).

От $T=\mu N$ и $dT=\mu.dN$ чрез почленно деление се намира:

$$\frac{dT}{T}=\frac{\mu dN}{\mu N}=\frac{dN}{N}. \tag{21}$$



Фиг. 4. Трибосистема „плъзгач-контакт-направляваща"

От сравнението на (21) с (4) за разглеждания случай се получава: $\eta = 1$ при $N = A$ и $R = T$, т.е. законът на „Леонардо-Амонтон" е закон на класическата механика.

Пример 2. Да се разгледа същият закон във вида „Кулон-Дерягин" при условие, че $\mu \neq const$

В този случай за диференциала на реакцията T се получава $dT = d\mu + \mu.dN$, така че

$$\frac{dT}{T} = \frac{d\mu + \mu.dN}{\mu N} = \frac{d\mu}{\mu N} + \frac{dN}{N} = \left(1 + \frac{d\mu}{\mu N}\right)\frac{dN}{N} \tag{22}$$

т.е.

$$\eta = 1 + \frac{d\mu}{\mu N} = \eta\left(T, N\right) \neq 1 \tag{23}$$

Заключението е: в този пример законът е трибологичен.

Пример 3. да се определи характерът на закона на Ойлер за триене между гъвкав елемент и цилиндър (фиг. 5).

Тъй като съгласно закона на Ойлер

$$T = Pe^{\mu\varphi} \tag{24}$$

то за диференциала на реакцията dT следва:

$$dT = dP.e^{\mu\varphi} + \mu.P.e^{\mu\varphi}d\varphi \tag{25}$$

а за относителната промяна на реакцията $\frac{dT}{T}$ след почленно разделяне на (25) и (24) се намира:

$$\frac{dT}{T} = \frac{dP}{P} + \mu\varphi\frac{d\varphi}{\varphi} \;;\; \mu = const \tag{26}$$

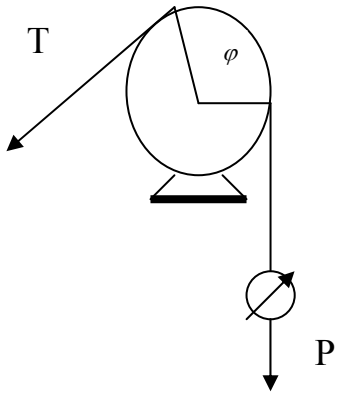
Сравнява се (26) с общия закон във вида (9) за парциалното влияние на два фактора P и φ във вида

$$\frac{dT}{T} = \eta_1\frac{dP}{P} + \eta_2\frac{d\varphi}{\varphi} \tag{27}$$

и се намира:

$$\eta_1 = 1 \;;\; \eta_2 = \mu\varphi = \eta_2\left(\varphi\right) \neq 1 \neq const\,. \tag{28}$$

Заключението е, че налице е случай на мултидисциплинарно поведение: спрямо P поведението е механично $\left(\eta_1\right) = 1$, а спрямо φ е трибологично $\eta_2 = \eta_2\left(\varphi\right) \neq const$, т.е. имаме хибриден случай (трибодинамичен).



Фиг. 5. Трибосистема „гъвкав елемент-контакт-цилиндър”

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ИЗВОДИ

В резултат на разгледаните някои теоретични въпроси на интердисциплинния подход в трибологията следват някои изводи и констатации:

- Въведени са общи и парциални контактни потенциали при различни механизми на смущения върху функционален атом.
- Доказани са две теореми и принцип за независимото действие на смущенията върху функционалния атом. Принципът на суперпозицията в механиката се получава като частен случай от принципа за независимото действие на смущения в контактна система при условия, че всички контактни потенциали са равни на единица.
- В диференциалното уравнение на трибодинамиката на материална точка по модела на функционалния атом присъства третата производна на радиус-вектора й в явен вид.
- Моделът на функционалния атом и Общият трибологичен закон позволяват да се определи характера на действащите закони в трибологията чрез стойността на контактния (комуникативен) потенциал на взаимодействието в трибосистемата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файерабенд, П. *Против метода*. Наука и изкуство, С., **1996**.
2. Чихос, К., *Системный анализ в триботехнике*. Мир, М., **1982**.
3. Левитин, М. *Развитие системного подхода в трибологии*. ФАН, Узбекской ССР, Ташкент, **1988**.
4. Мышкин, Н., М. Петроковец. *Трибология, принципы и приложения*. ИММС НАНБ, Гомель, **2002**.
5. *Основы Трибологии (трение, износ, смазка)*, под ред. на А. Чичинадзе,Центр „Наука и Техника”,М., **1995**.
6. Dan Pavelescu, Mihai Musat, Andrei Tudor. *TRIBOLOGIA, Editura Didactica & Pedagogica*. Bucuresti, **1977.**
7. Гаркунов, Д. *Научные открытия в триботехнике*. Еффект безызносности при трении. Водородное изнашивание металлов, М., **2004**.
8. Манолов, Н., Е. Асенова, М. Кандева. *Концепция за развитие на трибологията в България.* Изд. къща „Св. Иван Рилски”, С., **2005**.
9. Манолов, Н., М. Кандева. *Обща трибология*. Изд. къща „Св. Иван Рилски”, С., **2004**.
10. Манолов, Н., М. Кандева. *Механика в интердисциплинен стил.* Изд. къща „Св. Иван Рилски”, С., **2004**.
11. Манолов, Н. *Контактен подход*. ТЕМТО, С., **2007**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р Мара КАНДЕВА
ТУ-София, МТФ, кат. ТММ
e-mail: kandeva@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

TRIBOMETAMORPHISM – A PARTICULAR TYPE OF THE METAMORPHISM

Evgenia KOZHOUKHAROVA

Abstract: *The paper presents a new hypothesis about genesis of the rare rocks eclogites and garnet lherzolites which are high termobaric mineral associations, forming in contact zones of friction in the Earth1s crust. The tribometamorphism is nominated as a particular type of the petrological transformation of the rocks.*

Key Words: *tribology, metamorphism, eclogites, Rhodope Massif.*

ТРИБОМЕТАМОРФИЗЪМ – СПЕЦИФИЧЕН ТИП МЕТАМОРФИЗЪМ

Евгения КОЖУХАРОВА

Резюме: *Предлага се нова хипотеза за генезиса на редките в природата скали – еклогити и гранатови лерцолити, които са високотермобарични минерални асоциации, образувани в контактни зони на триене в пределите на земната кора. Обосновава се номинирането на трибометаморфизма, като специфичен тип петроложка трансформация на скалите.*

Ключови думи**:** *трибология, метаморфизъм, еклогити, Родопски масив.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В природата съществуват три главни групи скали: с*едиментни, магмени и метаморфни*, последните произлезли при трансформацията на първите две групи.

Метаморфизъм в петроложки смисъл означава “преобразяване” - изменение на облика на скалите чрез прекристализация на предварително съществуващи седиментни или магмени образувания. Новите метаморфни скали чрез своя минерален състав и тектстурно-структурни белези индикират термобаричните условия на кристализация и същевременно указват дълбочинното ниво на създаването им.

В метаморфните комплекси обаче често се срещат скали, чиято минерална асоциация е неравновесна спрямо тази на вместващите ги скали. Подобни редки в природата скали са еклогитите и гранатовите лерцолити, които са изградени от високо термобарични минерали, отличаващи се рязко от значително по-нискофациалната минерална парагенеза на включващите ги скали. Според най-популярната за момента хипотеза, еклогитите се образуват в дълбочинни, дори мантийни нива на 50-150 km под земната кора, където владеят високи температури и налягания. Счита се, че там единствено могат да се образува асоциация от минерали като гранат, омфацит, рутил, коесит и диамант, чиито химичен състав и кристалографска стректура съответстват на тези дълбочинни условия. Идеята се основава само на величината на литостатичното налягане и геотермичния градиент в споменатите дълбоки нива, без да се отчита влиянието на процесите на триене за допълнително повишаване на температурата и налягането в контактните трибологични зони. Хипотезата е крайно неудовлетворителна също по отношение на механизма, според по който тежките еклогити се издигат като фрагменти до относително плитки нива в земната кори. Там те попадат като „чужди тела”, обаче необяснимо защо сред сродни по химичен състав скални пластове.

В статията се предлага нова идея за генезиса на еклогитите на базата на трибологичните принципи и се обосновава съществуването на трибометаморфизъм като специфичен тип метаморфизъм в земната кора. Изводите са илюстрирани с примери от метаморфните комплекси в Родопския масив.

2. ГЕОЛОЖКА ОБСТАНОВКА НА ПРОЯВА НА ТРИБОМЕТАМОРФИЗМА

Древните (над 540 мил. год.) прекамбрийски метаморфни комплекси заемат обширни пространства от земната кора в фундамента на континенталните платформи, където те обикновено са покрити от по-млади седименти. Метаморфните скали се разкриват предимно в отделни по-издигнати участъци на платформите – щитове или в блокове, включени в младите фанерозойски нагънати пояси, където древните метаморфни скали претърпяват допълнителни вещественни и структурни изменения.

Причина за метаморфните прояви е изменението на термобаричните условия, при които са създадени първичните седиментни или магматични скали. Минералите, изграждащи скалите имат определено поле на стабилност и при промяна на температурата и налягането те прекристализират в нова минерална фаза, съответстваща на новите условия. Например един седиментен комплекс, чиито минерални съставки са възникнали при температура под 100°C и налягане около 1-2 килобара, отзовавайки се в по-дълбоки части на земната кора при температура около 500°C и налягане 4-6 килобара или дори още по високи, претърпява метаморфна прекристализизация и първичните минерали се заместват от по-високотермобарични фази.

Тектонските движения в земната кора непрекъснато предизвикват дислокации и деформации на пластовете, при което едни блокове потъват на по-големи дълбочини, други – обратно се издигат, а трети се плъзгат едни върху други. Същевременно се образуват зони на срязване, по които скалните пластини се трият. Потъналите блокове дори от вече метаморфозирани скали, отзовали се в нива на по-висока температура и налягане, претърпяват нова метаморфна прекристализация. Подобна прекристализация, обаче може да настъпи и при процесите на триене между скални пластини в тесни контактни пространства без скалите да са потъвали на големи дълбочини. Зоните на срязване. се формират вследствие тектонските движения най-често по навлачните повърхности между две скални пластини, по литоложките контакти между скали с различни реологични свойства, по крилата на гънковите структури или бордовете на грабените, както и при различни екстензионни или компресионни процеси в земната кора. Вследствие на триенето се повишават температурата и налягането и настъпват процесите на метаморфна прекристализация, подобна на тази в дълбоките зони.

В големите т. н. регионални геоложки разривни структури, повърхностите на триене могат да бъдат многобройни. Разгледани в различен мащаб се различават главни и второстепенни зони на срязване и триене. Особено добре изразено е това явление при навлачните системи. Ако долната пластина примерно е статична, а само горната - мобилна и със слоист строеж и към нея е приложена силата на еднопосочен тектонски тласък, то последната поема тектонското напрежение и зоната на триене се мултиплицира стъпаловидно, като постепенно изчезва и затихва нагоре. Подобна картина е наблюдавана и на микрониво в електронни снимки, където паралелно на главната разривна повърхност на триене в един кристал се формират множество секундарни микрозони на отделяне, фиксирали началния момент от формирането на трибологична зона.

Теоретичните принципи на контактните трибологични системи [1, 2] имат интердисциплинарен характер и са приложими при обяснението на редица геоложки и в частност метаморфни процеси, където е осъществено триене.

Есперименталните изследвания на процесите в трибологичните контакти [3, 4, 5] посочват като главни фактори, влияещи върху изменението на температурата и налягането в зоната на триене теглото на триещите се пластини, скоростта и времето на движение, неравностите по повърхността на триене, както и свойствата на самата материя: твърдост, сцепление, степен на съпротивляемост и други, които от своя страна зависят от минералния състав на телата.

Процесите на триене са широко разпространени във всяка конкретна геоложка обстановка на активна тектонска дейност. Трибологичните геоложки системи, според тяхната морфология, взаимоотношения между двете триещи се тела, ориентацията им в пространството и посоката на движение, носят различни термини в геоложката литература. Това са разнообразни по характер макроструктури: разседи, възседи, навлаци, грабени, хорстове, трансформни разломи и блокове, субдукционни пластини и др. Самата трибологична зона се проектира в навлачни повърхнини, междуслойни пространства, скъсани и раздвижени литоложки контакти, ротационни повърхности на скални блокове или отделни минерали в тектонските зони. Тектонските движения били те продължителни и бавни или внезапни земетръсни прояви, винаги провокират акумулация на огромна енергия и възникване на трибологични контакти на триене, резултиращи във вещество-структурни метаморфни изменения на скалите.

3. ИЗМЕНЕНИЕ НА СКАЛИТЕ В ТРИБОЛОГИЧНАТА ЗОНА

Всички скали попаднали в трибологичната зона на триене претърпяват различни по мащаб и характер изменения, обединени в две основни групи: деструктивни и конструктивни, които се проявяват в макро и микромащаб.

Деструктивните, визуално установими макромащабни изменения на скалната материя са катаклаз (напукване), брекчиране (децинтегриране на отделни късове), милонитизация (стриване). В микромащаб се проявяват дефекти на кристалната решетка, разпадане на кристалите на отделни само оптически различими домени при запазване целостта на минералния индивид, напукване, огъване на слюдите, изкривяване на ламелите на плагиоклазите, натрошаване, разпадане на минерала до молекулярно и атомно ниво, разкъсване на кристалохимичните връзки, електронна дисперсия и електронна хибридизация, стопяване и преминаване в плазмено състояние на материята в отделни точки. Във върховия момент на пълна деструкция, температурата и налягането достигат екстремни стойности, които превишават няколкократно тези в скалите извън зоната. Цялата веществена система е натоварена със свръхенергия, което я прави нестабилна в термодинамично отношение.

Високите температури и налягания са ограничени в тясното пространство на зоната на триене и извън нея те бързо спадат до нивото на началните термобарични параметри, което е една от най-характерните черти на трибологичните процеси. Разпределението на количеството топлина и налягане в пространството на самата зона е разпределено неравномерно. Поради неравностите на повърхността на триене, което при геоложките системи е особено силно проявено, както и поради различните резистентни свойства на нееднородната скална материя, по протежение на трибологичната зона величините на температурата и налягането са изменят. В отделни точки дори е възможно да се прояви температурен „взрив" и кристализация на микродиаманти, индикиращи температури около 1000° C и налягане над 20 килобара. Различно е разпределението на термодинамичните величини при метаморфни системи извън трибологичните зони, там температурата и налягането бавно и постепенно се изменят в пространството при потъването или издигането на тектонските блокове.

Конструктивните метаморфни изменения започват при спиране на тектонските движения, при което налягането бързо спада, а температурата значително по-бавно. Измененията се изразяват в кристализация на дезинтегрирания скален материал. Създава се нова минерална асоциация, съответстваща на термобаричните условия в трибозоната. Метаморфната кристализация в трибологичната зона е релаксация от тектонската енергия.

Графична схема на трибологична зона и измененията в нея представлява известната „Зона Бейлби" (Хедба, Чичинадзе 19), в която последователно към центъра се отделят субзони на еластични, пластични и крехки деформации, дезинтеграция, дехидратация, окисление, а в централната част на зоната се създава ново контактно тяло, напълно различно по състав и структура от изходните скали.

Много експериментални и теоретични изследвания изясняват отношението между количеството топлина, генерирана в зоните на триене и редица фактори като силата на тежестта, скоростта и времето на на движение, неравностите на повърхността на триене и лрисъствието на ротиращи се резистантни фрагменти.

Зависимостите между главните трибологични фактори, според Хайнике [3] са представени в формулата

$$Q = \mu F g v \qquad (1)$$

Q –топлинна енергия; μ – коефициент на триене; F – маса; v – скорост на движестите се плочи или тела

От друга страна през време на високобаричната прекристализация, новата скала изменя своята плътност, тъй като новите минерали са с по-плътна кристална решетка. Характерен пример в това отношение е еклогитизацията на серпентинити. Последните са изградени почти изцяло от минерала серпентин - Mg- хидросиликат с планарна структура и кристална решетка с ниска плътност. При заместването на серпентинита от еклогитована асоциация: оливин, ромбичен и моноклинен пироксен, гранат, рутил и шппинел (безводни силикати и окиси с аксиална или изометрична плътна кристална решетка), се проявяв значителен негативен обемен ефект около 16-22%. Пилшин [6] представя зависимостите между обем (V), налягане (P) и температура (T) във формулата:

$$Pe=Po+\alpha/\beta(Te-To)-1/\beta(\Delta V/Vo) \qquad (2)$$

Pe – еклогитово налягане; Po – литостатично налягане

α – коефициент на температурно разширение; β – коефициент на компресия;

Te – еклогитова температура; To – околна температура

ΔV=Ve–Vo; Ve – обем на еклогитовата асоциация; Vo – първичен обем на субстрата

Следователно величината на налягането нараства успоредно с повишаването на температурата и намаляване обема на скалната система. През време на тектонските движения в земната кора, вследствие триенето между пластовете или блоковете е възможно в един кратък момент температурата и налягането в контактната зона на триене до достигнат величини, необходими за еклогитова кристализация, докато в вместващите скали извън зоната на триене температурата и налягането остават в рамките на умерения амфиболитов фациес. Ясно е , че е напълно възможно процесът на еклогитизоция да се прояви в пределите на земната кора, без да е необходимо скалният блок да се спуска до мантийни дълбочини и след това отново да се издига.

4. ЕКЛОГИТИЗАЦИЯ НА СЕРПЕНТИНИТИ В РОДОПСКИЯ МАСИВ

(един пример за трибометаморфизъм в природни условия)

Високобарични скали еклогити и гранатови лерцолити са намерени в Родопския масив на българска [7, 8, 9] и гръцка територия [10. 11].

Гранатовите лерцолити, които се образуват по серпентинити са пример, който доказва убедително техният генезис в зони на триене. Те се разкриват в контактните части на серпентинитово тяло в интензивно нагънатата Авренска синклинала. Тънки (1-2 cm) паралелни ивици, състоящи се от високо термобаричната асоциация: гранат, орто- и клинопироксен, оливин и шпинел се редуват с ивици от нискотемпературен серпентинит. Гранат-лерцолитовите ивици са конформни на границите на тялото, общата напластеност и метаморфната шистозност на околните скали, което е указание за техния метаморфен, а не реликтово-магматичен произход. Ивиците са привързани към контактната зона на серпентинита с вместващи гнойси и постепенно изчезват към вътрешността на тялото, където серпентинитът не показва никакви следи от високо термобаричен метаморфизъм.

Обикновено ивиците имат зонален строеж, който в общи линии следва строежа на трибозоната на Бейлби [5]. Централните им части са заети от гранат. Множеството симплектитови прораствания между диопсид и шпинел или диопсид, шпинел и магнетит са характерно указание за бърза кристализация. В подобни ивичести серпентинити в Северна Гърция са намерени микродиаманти [11]. Условията на кристализация, определени по термобарометрични минераложки методи показват условия на кристализация T - 800°C и P – 10-15 килобара, докато във вместващите скали те са съответно T - 480-540 ^{o}C и P – 4-5 килобара. Фактите показват пространствена анизотропност на термодинамичните параметрив дсалния комплекс и повишаването им само в зоната на срязване, където серпентинитът е бил заместен от новата скала гранатов лерцолит.

Подобни примери на образуване на хетерофациални метаморфни асоциации в зони на срязване са установени и на други места. Те убеждават, че в зоните на срязване и триене е протекъл метаморфен процес само в тясното пространство на зоната на триене, където са се реализирали различни термодинамични условия.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основните изводи, базирани на конкретни изследвания върху високо термобарични метаморфни скали от Родопския масив като еклогиги и гранатови лерцолити са:

- еклогитите и гранатовите лерцолити са метаморфни образувания, възникнали на място в пределите на земната кора, а не „чужди" скали, образувани в дълбочинни подкорови зони и пренесени по неизвестен начин в горните отдели на земната кора;
- те са образувани в тектонски зони на срязване, където локално са се повишили температурата и налягането, вследствие процеси на триене;
- високотермобаричните условия в зоната на триене предизвикват деструктивни и конструктивни метаморфни изменения на скалите, които означаваме като ***трибометаморфизъм;***

Главните черти на трибометаморфизма са:

- локално проявен в тесни тектонски зони на срязване и триене – трибозони;
- развива се синхронно на околния регионален метаморфизъм;
- продуктите на трибометаморфизма са синхронни, но хетерофациални спрямо вместващите метаморфни скали;

- характеризира се с бързо повишаване и спадане стойността на термобаричните параметри на кристализация в трибозоната;

- действието на трибометаморфизма е кратковременно, зависимо от продължителността на предизвикалите го тектонски процеси;

Принципите на трибологията, приложени при разглеждането на геоложките системи разкриват нови, слабо изучени страни на метаморфните процеси в земната кора. Трибометаморфизмът илюстрира тясната причинно-следствена връзка между тектониката и метаморфната кристализация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Манолов, Н. *Трибология и интердисциплинност.* ТЕМПО, С., **2003**, 387 с.

2. Манолов, Н., М. Кандева. *Обща трибология*, "Св. Иван Рилски"; С., **2004**, 480 с.

3. Heinicke, G. *Tribochemistry*. – Academie- Verlag, Berlin. **1984**, 350 p.

4. Аввакумов, Е. Г. *Механические методы активации химических процесов*. "Наука" (Сибирское отделение), Новосибирск, **1986**, 304 с.

5. Хедба, М., А. Чичинадзе (ред.). *Справочник по триботехнике. 1. Теоретические основы*. Машиностроение, Москва, **1989**, 397 с.

6. Pilchin, A. The *role of serpentinization in exhumation of high - to ultra-high-pressure metamorphic rocks*. Earth and Planetary Sci. Lett., 237; **2005**. pp 815-828.

7. Kozhoukharova, E. *Eclogites in the Precambrian from the Eastern Rhodope block*. Comp .Rend. Acad. bulg. Sci., *33*, 3; **1980**; 375-378.

8. Kozhoukharova, E.. *Eclogitized layered serpentinites in the East Rhodope block*. Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci., 49, 6;**1996**; pp 69-71.

9. Kozhoukharova, E. *Gr-lherzolites into narrow shear zones of serpentinites from Rhodope massif*, Bulgaria. – *Ofioliti,* 24, **1999;** pp 121-122.

10. Liati, A., E. Mposkos. *Evolution of the eclogites in the Rhodope zone of Northern Greece*. – *Lithos*, 25; **1990**; pp 89-99.

11. Mposkos, E., D. Kostopolous, 2001. *Diamond, former coesite and supersilicic garnet in metasedimentary rocks from the Greek Rhodope: a new ultrahigh-pressure province established*. – Earth Planet. Sci. Lett., 192; **2001**. pp 1497-506.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

дгн Евгения КОЖУХАРОВА
Геологически институт БАН
ул." Акад. Г. Бончев", бл. 24, София 1113
E-mail: Ekozhoukharova@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

SOME EXPERIMENTAL RESULTS CONCERNING THE INFLUENCE OF SURFACE COATINGS ON THE WEAR OF POLY-ETHER-ETHER-KETONE (PEEK) POLYMERIC GEARS

Dimitar PETROV Karl DEARN Doug WALTON Richard BANKS

Abstract: *Gears made from general purpose Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK) polymeric material and coated on their flanks with thin layer of different solid lubricants MoS_2, graphite (C), BN and PTFE are tested in relation to wear and mesh point temperature in conditions of prolonged running. The derived experimental results are shown graphically. Some conclusions are given (the order of wear increasing according to the type of coating (PTFE (least wear), uncoated, graphite, MoS_2, BN); proportional correlations between wear and mesh temperature, etc.)*

Key Words: *Wear; Polymer Gears; Solid (Dry) Lubricant Coatings.*

1. INTRODUCTION

The applications of polymeric gears increase because of their most beneficial properties – low cost (when injected molded); light weight and low inertia; capability to absorb shock and vibration as a result of their elastic compliance; noiselessness; tolerances often less critical than for metal gears, due in part to their greater resilience; their ability to operate under dry un-lubricated conditions; etc [1, 2]. Their most perceived disadvantages are – lower strength leading to less load carrying capacity; sensitivity to temperature; sensitivity to post mould distortion and moulding complications such as shrinkage; polymeric gears are subject to greater dimensional instabilities due to their greater coefficient of thermal expansion and moisture absorption; etc. Connected with first two mentioned disadvantages the most common ways of fail of polymeric gears are thermal related tooth failures, tooth root and pitch point fatigue. The most common failure however is wear which has been extensively reported [3-8]. Various authors have investigated different parameters thought to influence wear. Akkurt [7] examined the effect of surface roughness of steel gears running against polymer (acetal) gears. Rao et el [8] using a twin disc rolling-sliding test rig looked at the effect of polytetrafluoroethylene (PTFE) as an internal lubricant on the friction and wear of filled and unfilled PA6/6 and polyacetal. The experimental results showed that the friction and wear performance of the PTFE filled polymers was superior to those of the unfilled polymers.

In an attempt to increase the transmissible power levels still higher problems of surface temperatures arise due to the frictional losses between mating gear teeth. This leads to high wear rates and high surface temperatures resulting in the gear flanks melting and rapid failure.

With an aim to investigate the influence of surface coating on dry running polymer gear wear a number of polymeric gears were coated with a thin coating of dry lubricants. Within the framework of one bigger project the authors investigated gears made from three polymeric materials - general purpose polyamide (PA 66), unreinforced Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK 450G) and a 30% carbon fiber reinforced Poly-Ether-Ether-Ketone (PEEK 450CA30). This paper reports only on the wear and temperatures of the (PEEK 450G) gears with the specified coatings and compares the wear with uncoated gears. As polymer gears are frequently run against a steel gear, coated polymer gears running with steel were also tested. The results described below were based on a pilot study of the influence of coatings on gear wear.

2. POLYMER GEAR WHEELS, THEIR COATINGS, TEST RIG AND LABORATORY EQUIPMENT

All examined gears had 30 teeth, 2 mm module and 30° pressure angle with a face width of 17.4 mm – fig. 1. The polymeric gear wheels were made from PEEK 450G by injection molding. In the experiment were used steel gears, too, with the same geometrical parameters.

The investigated coatings were solid lubricants of molybdenum disulphide (MoS_2), graphite flake(C), boron nitride – hexagonal (BN) and PTFE powder. The coatings were laid by Indestructible

Paint Ltd, Birmingham. The coating procedure included – substrate preparation (using grit blasting with 12/220 Aluminium Oxide grit to remove substrate contamination leaving a finely abraded surface that helped to promote coating adhesion and then dust residue removal by compressed air blow-off prior to coating), coating application (by hand spraying using a conventional air atomizing spray gun using a filtered air supply at an ambient temperature of 16-18°C), coating curing (10 minutes flash off at 16-18°C following spraying, 1 hour at 190°C in laboratory air circulating oven, cooling specimens and de-masking prior to visual examination to ensure no contaminants are present in dry film). The densities of dry film coatings were – 1.56 g/cm^3 for MoS_2 and ~ 1.385 g/cm^3 for the other dry film lubricants. Measured coating thicknesses were, for MoS_2 0.06 mm, for graphite 0.07 mm, for BN 0.1 mm and for PTFE 0.05 mm. These are average thicknesses as the coating layer was not uniform along the flank of the gear teeth, being thicker at the base of the tooth than at the tip.

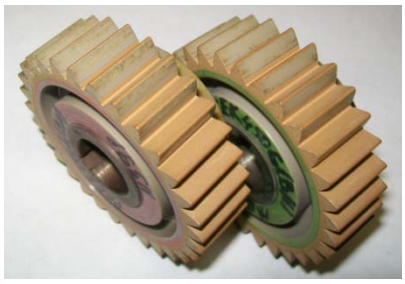


Fig. 1. Two tested polymeric gears with BN coating

The test rig used for all the tests is shown on fig. 2. It is a closed loop rig designed specifically for testing polymer gears and is described in [3,11]. When using a closed loop system the torque is normally wound-in but for plastic gears wear and tooth deformations would mean that the torque would change (reduce) with time. Using a pivot block and load arm to load the gears ensured that the test gears were subjected to a constant load throughout the test. Temperatures were measured using non-contacting infra-red thermocouples and the data stored on a computer. Three of these thermocouples can be seen in fig. 2 facing the test gears - the central infrared thermocouple measured the mesh temperature, two others – the temperatures of the bodies of the two test gears. Two precise analytical balances for measurement of weight were used – analog and digital devices.

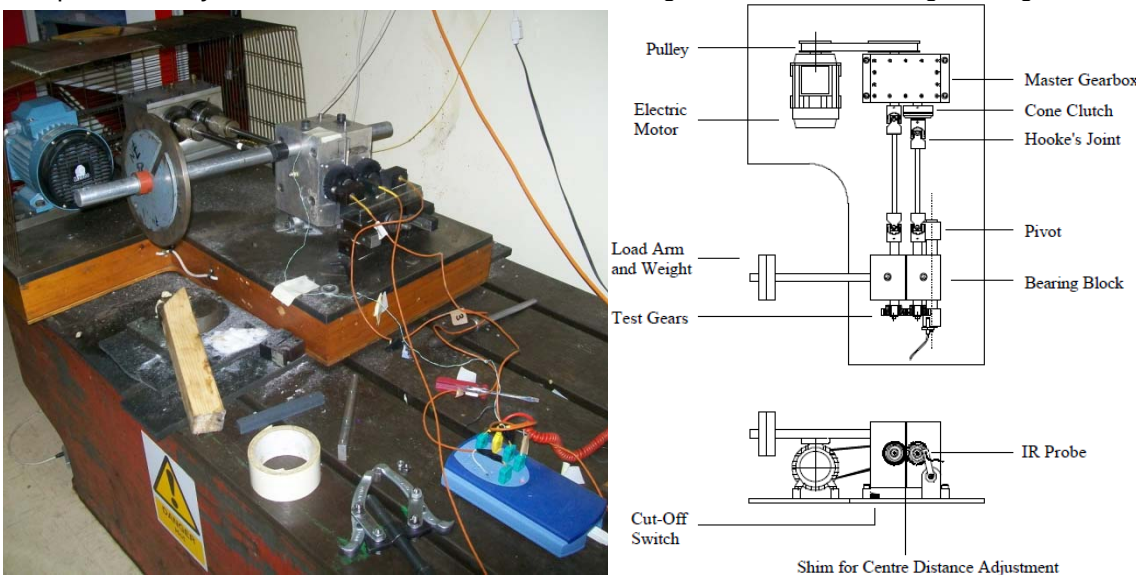


Fig. 2. Test rig

The wear was measured by measuring the weight loss after a number of cycles. The gears were removed each time the weighing took place. A non-running control gear was mounted on the pivot block assembly and the weight of this gear was measured so that any moisture either absorbed or released from the PEEK gears could be added or subtracted from the test gear measurements. Wear is shown by the percentage relative weight loss *R%* calculated by means of the formula:

$$R\%_i = \{ [(Q_i / Q_0).P_0 - P_i] / P_0 \} .100\% \quad (1)$$

Where: P_0 - original gear weight; P_i – current gear weight; Q_0 - original control gear weight; Q_0 - current control gear weight; $R\%_i$ – current relative weight loss.

All the gears tested were loaded to a torque of 7 Nm, running at 1500 revs/min. Note that 1500 revs/min is a relatively high speed for unlubricated polymer gears, but this speed have been chosen for achieving 2.5 million cycles in 2 days of continuous running.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

Fig. 3 shows the wear for an uncoated PEEK 450G gear pair together with such gears (both pinion and wheel) coated with MoS_2, graphite, BN and PTFE against the number of running cycles. Note that each point on the graph represents the average of the pinion and wheel weight losses. Fig. 4 shows the temperatures of these gears, where the temperatures were measured at the mesh point.

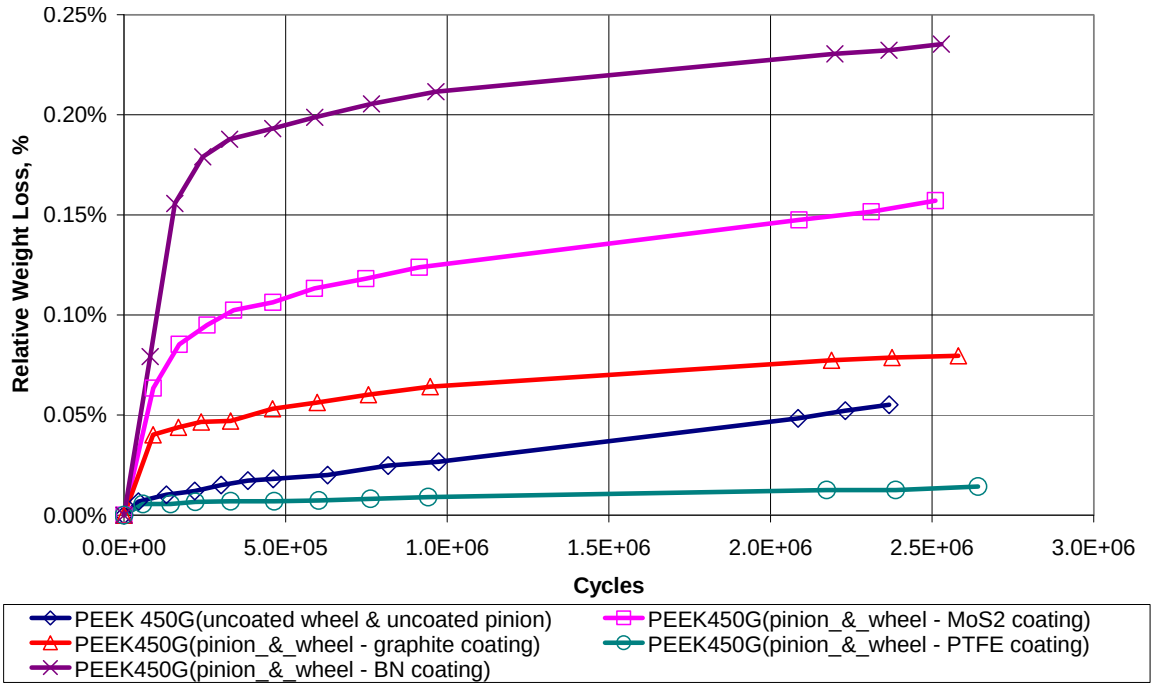


Fig. 3. Relative wear in the cases of meshing of two identical gears - coated or uncoated

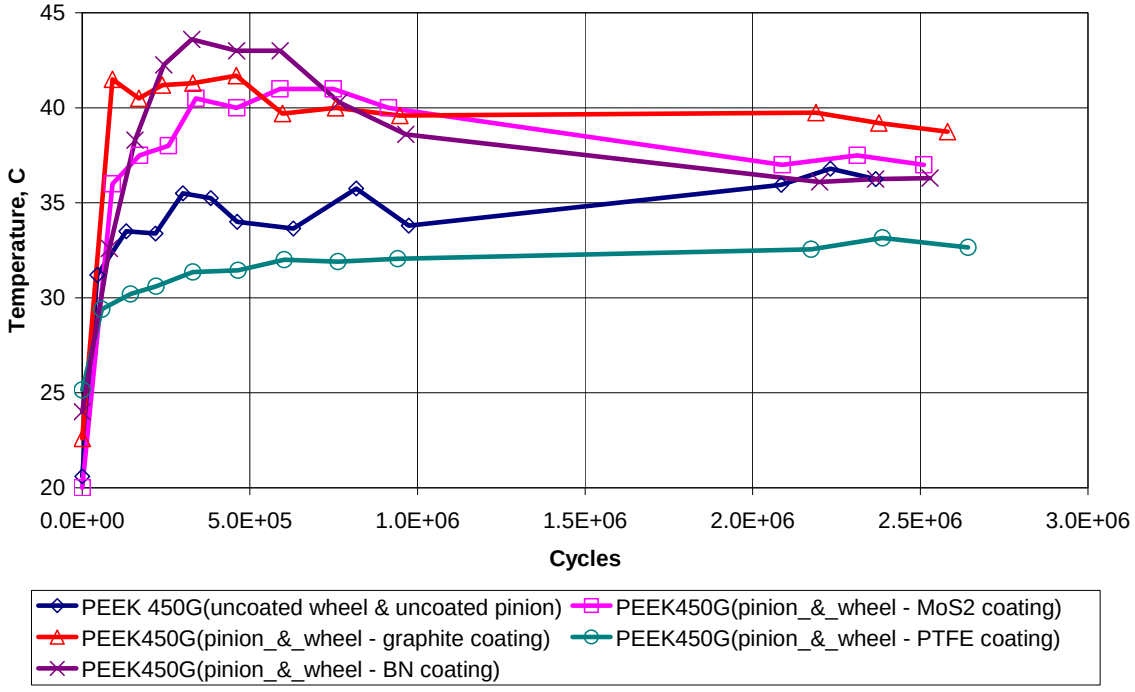


Fig. 4. Mesh temperature in the cases of the meshing of two identical gears

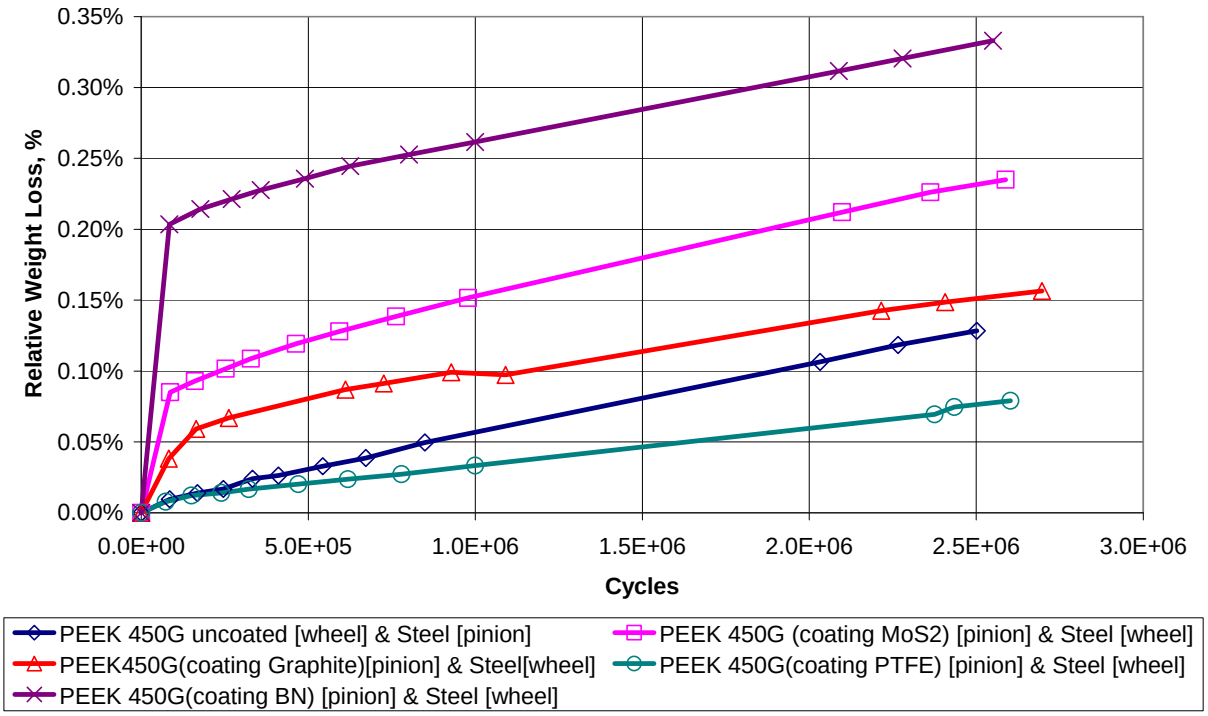


Fig. 5. Relative wear for polymeric gears (coated and uncoated) running against a steel gear

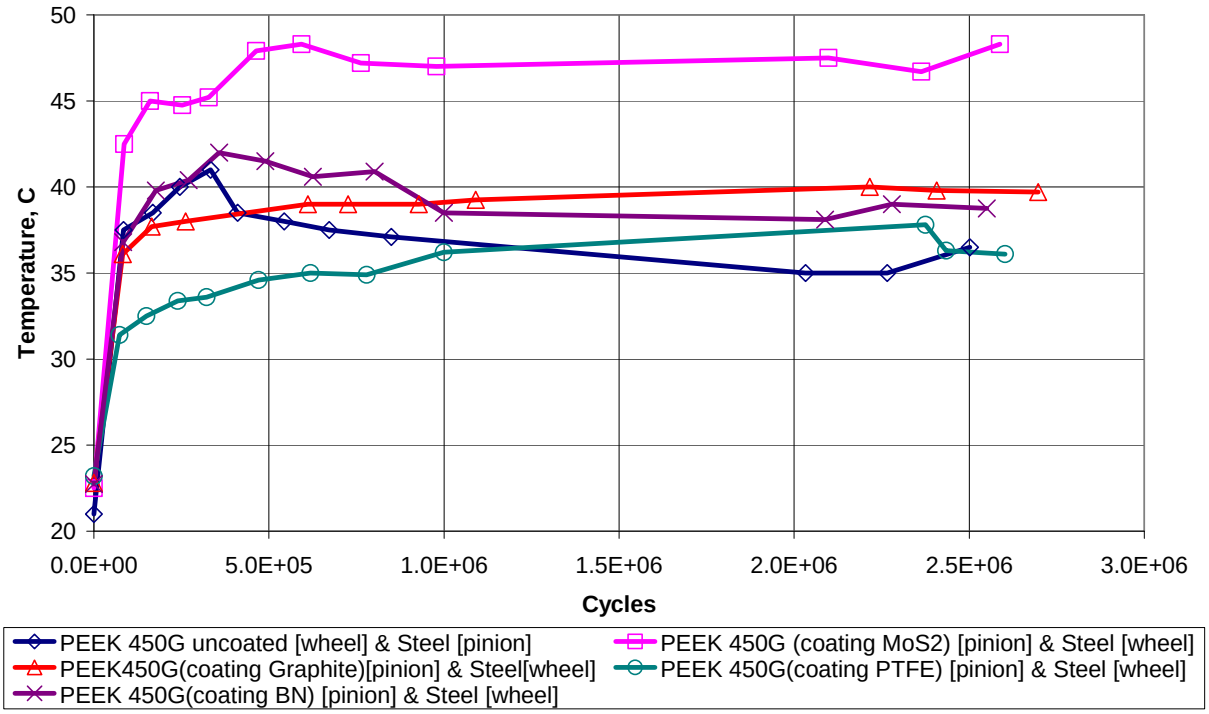


Fig. 6. Mesh temperature in the cases of the meshing of the gears shown in Fig. 5

Fig. 5 shows the relative weight loss for coated and uncoated polymer gears one by one running against a steel gear. Fig. 6 shows the mesh temperatures of the gears shown in Fig. 5. Fig. 7 shows the wear of coated gears running against uncoated gears and Fig.8 shows the running temperatures for the gears shown in Fig. 7.

The all curves shown in Fig. 3, 5 and 7 exhibit the characteristic shape of polymer gear wear, namely a high initial wear rate followed by a period of linear wear. The tests were stopped before the wear rate would again have increased towards the end of the gears' life.

All the results for coated gears, except the PTFE coated, showed worse performance compared to the uncoated gears.

The best performance was for the PTFE coated gears, uncoated gears were the next best, then followed graphite, MoS_2 and BN coated gears which showed similar, but still worse performances. However we should note that polymeric gears with the graphite coating had less slope of relative weight loss than the same for uncoated gear (see Fig. 3 and Fig. 5). So after approximately 3.10^6 cycles polymeric gears with graphite coating would have less wear.

Running of polymeric gears against steel ones gave more wear than in the other cases.

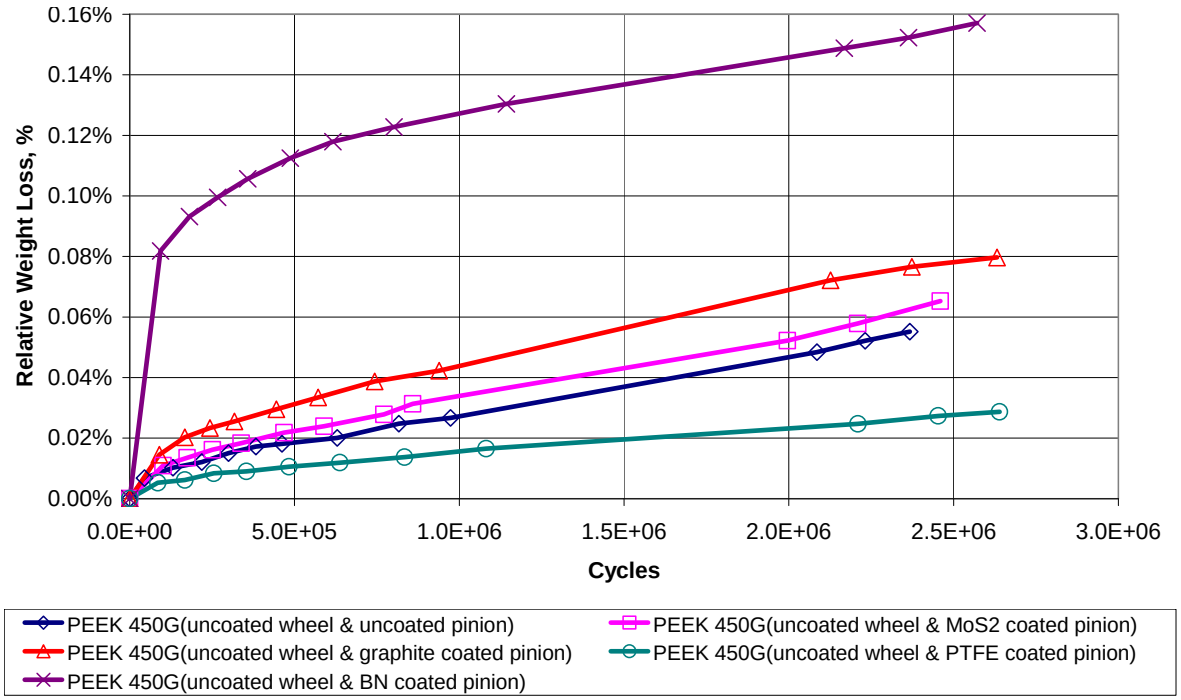


Fig. 7. Relative wear for polymeric gears (coated and uncoated) running against such uncoated

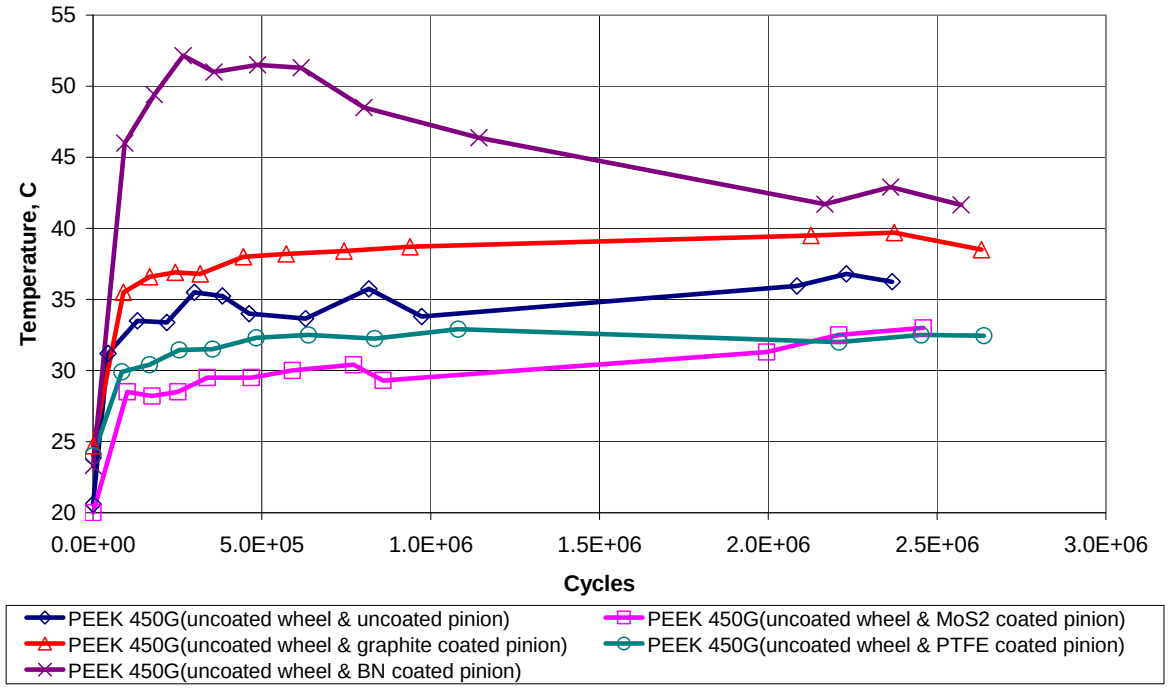


Fig. 8. Mesh temperature in the cases of meshing of the gears shown in Fig. 7

The mesh temperatures of gears, shown in Fig. 4, 6 and 8 as a rule show that the lowest temperatures were reached by the PTFE coated gears. Uncoated gears were running at a little higher temperature, and then the next hotter were consecutively the PEEK gears with graphite, MoS_2 or BN coatings. These results show the correlation between wear and running temperatures.

4. CONCLUSION

In the all cases of running (coated or uncoated polymeric gears against identical gears or against steel counterparts, coated polymeric gears against uncoated polymeric gears) experimental results showed that the PTFE coated gears had less wear than any of the other uncoated and coated gears, but uncoated gears had less wear than gears covered with MoS_2, graphite or BN.

Polymeric gears with BN coating showed worst results concerning wear in all cases of running, polymeric gears with MoS_2 coating had the next worst results (excepting the results shown in Fig. 7). Graphite coatings gave intermediate results between the cases with BN or MoS_2 coatings on the one hand and the cases with PTFE coatings or without coatings on the other hand (excepting the results shown in Fig. 7).

Polymeric gears (coated and uncoated) running against steel counterparts showed more wear than in the other mentioned cases. The influence of steel gear surface roughness would need to included in a longer term project.

As a rule the registered mesh temperature were usually proportional to the wear intensity, the lower the temperature the less the wear.

All the coated gears survived the tests without the coatings separating from the substrate or the substrate and base polymer.

All the tests described were carried out at one speed and load. Further work needs to be carried out exploring a range of loads and speeds as well as examining the influence of different base polymers.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank the Bulgarian Ministry of Education and Science for supporting this research project allowing Prof. D. G. Petrov to work in UK for 8 months. They also wish to thank Indestructible Paint Limited for coating all the gears used in this programme of work.

REFERENCES

1. Dimitar Petrov, Georgi Dinev. *Model investigations on different original designs of nonmetal tooth gears with sheet iron bandage*. Proceeding of the **DEMI'2005** – 7th International Conference On Accomplishments In Electro And Mechanical Industries, Banja Luka University, Faculty of Mechanical Engineering, Banja Luka, 27 - 28 .05. 2005, pp.83 -88.

2. http://plastics.dupont.com/plastics/pdflit/americas/markets/gears.pdf

3. K. Mao. *The performance of dry running non-metallic gears*. PhD thesis, Birmingham University, **1993**.

4. A. R. Breeds, S.N. Kukureka, K. Mao, D. Walton and C. J. Hooke. *Wear behaviour of acetal gears*. Wear 166, **1993,** pp.85-91.

5. S.N. Kukureka, Y. K. Chen, C. J. Hooke and P. Liao. *The wear mechanisms of acetal in unlubricated rolling - sliding contact*. Wear 185, **1995,** pp.1- 8.

6. N. Tsukamoto, H. Maruyama and J. Shi. *Investigation of tooth profile change of nylon gears*. Bulletin of JSME, Vol 29, No. 252, **1986**.

7. C. J. Li and J. D. Limmer. *Model based condition for tracking gear wear and fatigue damage*. Wear 241, **2000,** pp.26-32.

8. H. Voss and K. Friedrich. *On the wear behaviour of short-fibre-refinforced PEEK composites*. Wear 116, **1987,** pp.1-8.

9. S. Akkurt. *On the effect of surface roughness on wear of acetal-metal gear pairs*. Wear 184, **1995,** pp.107-109.

10. M. Rao, C. J. Hooke, S. N. Kukureka, P. Liao and Y. K. Chen. *The effect of PTFE on the friction and wear behavior of polymers in rolling-sliding contact*. Polymer Engineering and Science, Vol. 38, No. 12, **1998**, pp.1946-1958.

11. A.B.Cropper, *The failure mode analysis of plastic gears*. PhD thesis, Birmingham University, 2003.

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof. PhD, Dimitar PETROV
TU – Sofia, branch Plovdid, str. Tsanko Dyustabanov 25
e-mail: dimgog@abv.bg

PhD, Karl DEARN; Prof. Doug WALTON
The University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham, B15 2TT
e-mail: k.d.dearn@bham.ac.uk, D.Walton@bham.ac.uk

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

CURRENT STATE AND DEVELOPMENT OF THE SYSTEM: PRODUCTION – ADVERTISING - CONSUMPTION

Peter HRISTOV Agop ERDEKLIAN

Abstract: *Although the advertising lives with us from quite a long time there are many theories and methods in creating and managing add campaigns. Aside from the statement that the advertizing is an integrant of the marketing process we did not find any hardcoded rules for creating a successful advertisement. It is always the mystery of creation which surrounds the good campaigns and predictions of the effects rely only on statistical data. One of the fundaments in the current theory is the consumer who stands at the focus of any advertisement. We do believe that there is a place for developing enriched interdisciplinary fundament of a successful advertising campaign. One that will give us strong support analyzing weak and strong points in any media plan for any purpose.*

Key Words: *advertising model, interdisciplinary approach, contact networks, neural networks, tribological atom.*

СЪСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ НА СИСТЕМАТА: „ПРОИЗВОДСТВО-РЕКЛАМА-ПОТРЕБЛЕНИЕ”

Петър ХРИСТОВ Агоп ЕРДЕКЛИЯН

Резюме: *Въпреки, че рекламата е позната от древността, съществуват не една и две теории и методи за осъществяване на рекламните послания. Настрана от факта, че рекламата е неразделна част от маркетинга, не са открити твърди принципи при композирането на една успешна кампания. Някъде тук витае мистерията на творчеството и с нея се обяснява успеха или провала на рекламата, а единственият критерий за окачествяване в началните фази е статистическия подход, като в наложените практики е прието, че клиентът е във фокуса на всяко рекламно послание. Авторите са убедени, че теорията на рекламата може да бъде обогатена с инструменти от интердисциплинния подход, давайки ни и фундамент, при който всяка кампания ще е успешна, както и база за предварителна оценка на качеството.*

Ключови думи*: рекламен модел, интердисциплинен подход, контактни мрежи, невронни мрежи, трибологичен атом.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Рекламата е възникнала дълбоко в древността, оцеляла е в прединдустриалната ера и е намерила своята плодородна почва в годините на откриване на печатарството. Всъщност първите рекламни послания са били безобидни от съвременна гледна точка и са били известия, предназначени за по-широк кръг читатели, започвали са с удебелени главни букви и най-често са гласели „WANTED” и датират от далечния 15-ти век.

Постепенно в Англия се появяват и първите реклами в ежедневници. И тъй като се оказва, че има ефект този метод (наричан по-късно „рекламен канал”) държавата намира начин и слага ръка, налагайки високи такси върху рекламните карета, като по този начин умъртвява прохождащото дете. Малко по-късно, след около 4 века няма кой да спре индустриализацията, която върви ръка за ръка с рекламните карета и листовки. Първият образ на медия-шоп е Уолни Палмър. Находчивият г-н Палмър успява да закупи цялото рекламно пространство в няколко вестника и така през 1848 г. се ражда първият предприемач, спечелил от разликата в цените на рекламната площ. Това в днешно време се прави от агенции, наречени Медия-шопове. Така постепенно се формира гилдия -хора занимаващи се с убеждаване на останалите в предимствата на една стока пред друга. Те го правят облечени в цялата аристократичност на

своите термини и стратегии, използвайки научни познания от области като статистика, психология и маркетинг. Всичко, което би помогнало по-точно да се определи ефектът на една кампания, се асимилира и намира място в следващите. Борбата е голяма и понякога жестока, това е често борба на оцеляване и както винаги при такива борби правила няма. Има рейтинг и реч, параметри, които обричат на провал и успех всяко едно технологично начинание, разбира се отчитайки исконния финансов фактор – рекламен бюджет. Да, рекламният бюджет е двигателят, който движи рекламните фирми, рекламният бюджет е гласът, който налага една истина пред друга, много често на принципа, че многократно повторената лъжа се превръща в истина.

Дали е така? Кой е критерият разграничаващ добрата от лошата реклама? Защо има образи, които насаждани ежедневно, се превръщат в нарицателни понятия и такива, които са забавни или дори приятни?

В настоящото изложение ще се постараем да хвърлим светлина върху въпросите, касаещи както същността на рекламата, планирането на последната както се прави в днешно време до прогнозиране и отчитане на резултатите от всяка една рекламна кампания. Ще видим, че макар и част от областта на маркетинга и заимствана от психологията, всъщност сполучливите рекламни послания черпят енергия от взаимодействието между алтернативи като производител и клиент (потребител) и успяват да дадат на последните възможността за информиран избор. Именно изборът е основата на устойчивото развитие, информираността е може би една от най-важните характеристики на съвременното общество. Свидетели сме на развитието на множество мрежи – социални, професионални и т.н. Всъщност това са контактни мрежи и ако може да префразираме една сентенция - в спора (контакта) се ражда истината.

И отново в този контакт се ражда противоборството на две алтернативи – тази, която предлага избор, и другата, която има нуждата от решение. Този механизъм задвижва системата на търсене и предлагане, на потребление и производство. И макар рекламата да е считана за част от маркетинговата наука тя заема много по-обширно поле от полагащото се на всеки един от останалите инструменти.

Рекламата започва 3000 години пр.н.е., когато тивански ръкопис предлага възнаграждение за избягал роб. 400 години пр.н.е. викачите в Атина стават длъжностни лица. Около 100 години пр.н.е. има многобройни стенни обяви за гладиаторски и спортни игри. За първи път след Христа през 79 г. Трагедията на Помпей е запазила десетки стенни надписи, а през 1450 г. Йохан Гутенберг изобретява съвременните печатарски преси, правейки наборите от отделни букви. Постепенно рекламата заема всички възможни ниши и канали. През 1947 г. се появява първата телевизионна реклама в САЩ, а през 1992 г. е дебютът на рекламата в Интернет.

Постепенно рекламата заема все по-съществена част от нашето битие, като се превръща в гласа, който ръководи голяма част от осъзнатите и неосъзнатите ни избори.

Действащите рекламни концепции следват логиката на убеждаване в предимствата на един продукт пред друг, т.е. господството на едната алтернатива над другата, концентрирайки се върху основния фактор – централното понятие в рекламната комуникация – адресатът, потребителят. Това гласи официалната рекламна теория, това е истината, която гради успешните рекламни послания според съвременния маркетинг.

Целта на настоящата работа е да се анализира състоянието на рекламата в икономиката и технологиите, и възможните пътища за нейното усъвършенстване.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Реклама (advertising publicity) произлиза от латинския корен reclamo – викам. Английският корен на думата реклама – adverto, от друга страна означава насочвам, т.е. адресирам към. Така в широкия смисъл рекламата е всяка форма на съзнателно въздействие върху адресанта чрез средствата за масова комуникация за постигане на предварително планирана цел. В тесен смисъл рекламата е елемент от комуникационната система на маркетинга, чиято крайна цел е пласмента на рекламираната стока или услуга. Според Американската асоциация по маркетинг рекламата представлява форма на нелично представяне и придвижване на търговски идеи, стоки и услуги, заплащани от ясно установен рекламодател (1948). Следователно от рекламата се изключват такива форми, като устната реклама. Рекламата може да се разглежда и като стопанска комуникация, провеждана от фирми, които не осъществяват маркетинг, т.е. диахронна реклама. Тогава според Росър Рийвс, рекламата може да се определи като „изкуство за внедряване на един изключителен потребителски мотив в главите на най-голям брой хора при минимални разходи” (1961).

Възможни са различни класификации на рекламата според множество признаци, поради което съществуват над 200 термина за различни видове реклама (например според вида рекламен канал, можем да разграничим: телевизионна реклама, радио реклама, печатна

реклама, външна реклама, интернет реклама и т.н.). В юридически смисъл чл.1, ал.1 от Търговския закон определя рекламата като търговска дейност, а според ЗЗППТ (ДВ, бр.27 1999) чл. 29(1) „Реклама е всяко направено съобщение във връзка с търговия, занаят или професия с цел да се стимулира реализация на стоки или услуги". В най-широк прагматичен смисъл под реклама се разбира самото рекламно дело, поместването на рекламни послания чрез различните комуникационни канали.

Един от основните специалисти в кухнята на рекламата, това е медия планьора – служител в медия отдел на рекламна агенция, който планира рекламните кампании на клиента, отчитайки спецификата на различните рекламни канали и рекламоносители, тяхната честота, обхват и тарифи, така че да обхване най-плътно целевия пазар (целевата аудитория) на рекламодателя при възможно най-ниска цена.

В класическата рекламна теория обществото се привежда до двуполюсен модел „рекламно послание – медия". Рекламодателят в общия случай има готово рекламно съобщение, което се изчислява къде да бъде поместено за да бъде видяно от най-много потенциални клиенти и то най-голям брой пъти. Така се избират медия-каналите (телевизия, печат, билбордове и т.н.) и конкретните носители – кои точно телевизионни канали, кои вестници или списания. Това е процеса наречен медия планиране и се прави от специалисти, разполагащи с усет, рутина и най-вече статистически данни. Последните се изготвят от пипалметрични компании и се предлагат срещу пари. Цикълът се затваря, когато зрителят види рекламата. Тогава работата е свършена. Така ли е всъщност? Трудът на рекламистите дали приключва в момента на реализиране на продукта, наречен рекламен спот или продължава да отеква в социума, пораждайки вълни на неодобрение или възхита? Това е въпрос, който ни вълнува. Дали може да се проследи динамиката на един стимул във времето, кога е в апогея си, кога затихва напълно и през какви етапи на развитие преминава? Струва ли си да се вглеждаме в детайлите след като рекламния бюджет е усвоен? Грубо казано, парите са похарчени. Ако има ефект, то всички са доволни и както е казано „Никой не съди победителите", ако няма, виновни колкото щеш – рекламният клип не е бил достатъчно въздействащ, или сезонът не е бил подходящ. Защо пък не и конкурентите точно тогава пуснаха тяхната рекламна кампания.

Всички изброени аргументи са смислени, но носят неминуемия отпечатък на оправданието.

Налага се поради липсата на фундамент, който да издържи структурата на цялата рекламна кампания, защото въпреки привличането на безброй специалисти от различни области, рекламистите може би пропускат една отправна точка – рекламата в същността си представлява контакт между производителя и потребителя. Тази контактна система трябва да е балансирана и хармонична. И трябва да е цялостна – само така е възможно да се постигне добър резултат с повторяем успех. Затова се налага да разгледаме тази система с инструментариума на контактния научен подход.

За целта на настоящия проблем ще определим следните параметри:

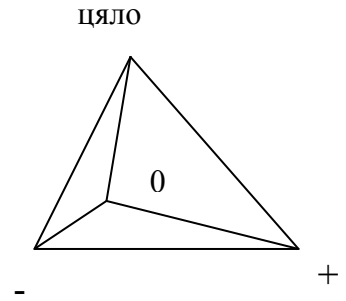
- плътност на системата ще наречем рекламния шум;
- триене – степента на склонност на клиентите да възприемат рекламното послание във вида, в който им се поднася;

Или казано с други думи, плътността на системата характеризира насищането на рекламното пространство с продукти, подобни на нашия. От друга страна триенето характеризира до колко са склони потребителите да приемат рекламния продукт. Приемаме, че параметрите могат да варират в стойности между 0 и 1, като абсолютната 0 и абсолютната 1-ца са практически изолирани случаи и в реалността е невъзможно да се срещнат. Според класическия подход на рекламното планиране двата параметъра са взаимосвързани при това правопропорционално, т.е. при висока стойност на плътността и стойността на триенето е висока. Във всъщност този вариант е частен случай, но за съжаление е господстващ модел при класическата реклама, където се стига до изводи като следния: „В момента кампанията на конкуренцията е много силна (казано по друг начин плътността е много висока) и за да не се загубим в „рекламния шум" (така наречената от нас плътност), трябва да бъдем на ниво с равен или по-голям рекламен бюджет. В този случай, логично приемаме, че триенето е също високо (нещо повече, дори отъждествяваме триенето с плътността на системата). Нека обаче да си представим друг вариант, предполагаме, че в момента плътността е ниска - тогава би следвало от инерцията на горното твърдение и триенето да бъде ниско. В такъв момент рекламната кампания следва да бъде успешна. Но, уви, оказва се под очакванията… Дали спота (рекламния клип) е неразбран от целевата група, дали криейтива е лош, дали планирането е грешно? Без значение на конкретната причина, изводът е, че триенето не е правопропорционално на плътността. Именно тук предлагаме обогатяване на подхода при медия планирането, а именно обръщайки внимание на разликата, между триенето и плътността като параметри на планираната реклама. Пренебрегвайки триенето (или приравнявайки го към плътността), класическата парадигма на рекламното планиране се лишава от един по-коректен

рекламен анализ на системата. Вземайки предвид напредъка на трибологията като интердисциплинна наука не само в областта на техниката и технологиите, но и в областта на социалната сфера, бихме могли да стъпим на трибологичния модел и контактния подход за изследване и окачествяване на триенето (съпротивлението) на рекламната система.

Тъй като трибологията, възникнала преди повече от четвърт век в Англия като наука в помощ за борбата срещу дефектите и отказа на машините, продиктувани от триенето и износването, е естествена нашата ориентация към този фундамент в анализирането на триенето и ефектите от него в социалните мрежи. Изследването на този аспект от процесите с модела на трибосистемите вероятно ще ни доведе до допълване взаимовръзките, проявяващи се в един или друг краен ефект, необяснен от досегашно царуващата теория. Взаимовръзката на посочените закономерности с възможността от симулационен анализ на база контактни мрежи според нас е разковниче в обогатяване на вече съществуващата практика.

По модела на функционалния атом, разработен в Центъра по трибология към Техническия университет-София всяка една устойчива и хармонична система се състои от три елемента: две алтернативи и контакт между тях, заедно те изграждат в единство едно общо цяло (трибологичен атом) фиг.1.



Фиг. 1. Третраедричен модел на функционалния атом

Трибологията предлага нов онтологичен модел. Контактът между двете алтернативи в класицизма бива несправедливо пренебрегван и омаловажаван (изключеното трето от времето на Аристотел). В действителност той се явява напълно равноправен елемент на една система. Неговите основни функции са три – обединяваща, разделяща и осъществяваща, за да се постигне функционално цяло. Изразено в конкретен пример - едната алтернатива, ако е плюсът, а другата – минусът, в един двуполюсен модел плюсът и минусът са във вечна борба, при условие че едната от алтернативите надделее е налице класически пример на монизъм и системата се отъждествява само с „победителя", например плюса или минуса. В предлагания модел от трибологията контактът между плюса и минуса, чийто център се нарича „контактна нула" и съответно неговите функции са обединяваща, разделяща и осъществяваща. Нулата разделя отрицателното и положителното, обединява ги в една балансирана система и благодарение на нея те могат да съществуват устойчиво. В нулата се крие потенциалът на подцененото въздействие, което обуславя алтернативите, характеризирайки се и с двете крайности, същевременно притежавайки свой собствен облик.

В този ред на мисли, приетият за меродавен двуполюсен модел при изграждане на рекламната парадигма страда от обединяващото звено. То, характеризирайки се както като едната алтернатива, така и като другата (съдържайки качества, характерни и на двете) е способна да изведе системата до непредвидени нива на равновесие, много често в страни от предвидените от класическите рекламни теории.

Приетият стил на работа в момента разчита на интуицията и интелигентността на човека, планиращ рекламната кампания за това предвидените резултати да се приближат максимално до получените. Всъщност девиацията е неминуема, най-малкото заради залагането на човешкия фактор. Преценка дали и как определени параметри биха повлияли на крайния резултат могат да се постигне чрез използването на подходящо обучени невронни мрежи.

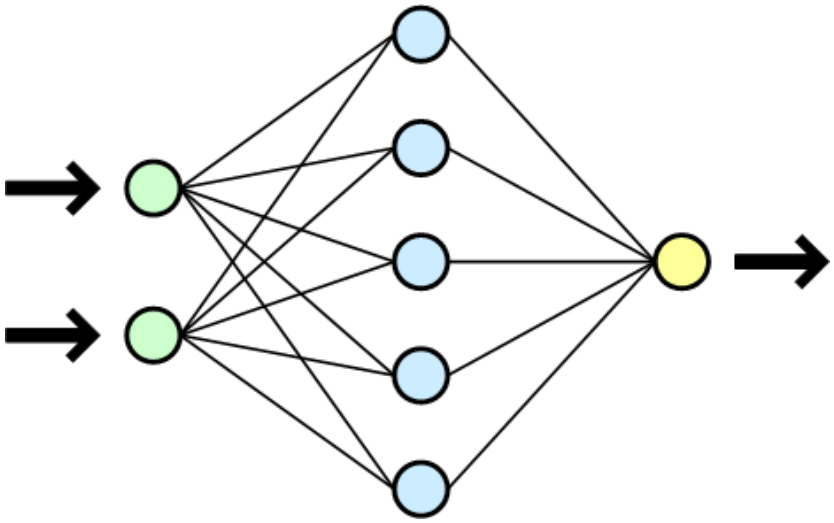
Последните по същество представляват неврони, свързани в различни слоеве и предаващи входящия сигнал от входа към изхода. При преминаването през слоевете сигналът се трансформира на база заложената в невроните трансформираща функция съгласно коефициентите на преобразуване и теглата на връзките между невроните. Последните от своя страна са резултат на интензивно обучение, специализиращо невронната мрежа за решаване на един или друг случай.

Опростен модел на трислойна невронна мрежа с два входящи неврона и един изходящ е показан на фиг.2.

В този пример междинният или наречения скрит слой съдържа пет неврона.

Доказано е, че всяка невронна мрежа, с поне един скрит слой от достатъчно на брой неврони между входния и изходния слой, може да моделира поведението на всяка съществуваща функция. За някои сложни проблеми обаче обучението може да отнеме неразумно много ресурси, което да обезсмисли използването на този апарат.

Познаването на процесите по вземане на решение в медия планирането ни кара да вярваме, че симулацията с невронни мрежи е не само възможна, но би била и успешен критерий за тестване на готовите проекти.



Фиг. 2. Опростен модел на трислойна невронна мрежа

Съчетанието от невронните мрежи с трибологичния модел на социалната система ще позволи построяването на контактна мрежа. Тя ще съчетава няколко на брой невронни мрежи, построени на база трибологичен модел. Системата ще анализира зададените цели, ще определя параметрите на процеса по планиране и накрая ще е в състояние да определи и самия план. Допълнително звено ще тества готовия план, съотнесен към конкретната социална среда. Последният етап ще се осъществява от мрежа, обучавана непрестанно към променящите се нагласи на хората, т.е това ще е мрежа, настроена на вълната на клиента.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

И макар че рекламата като съобщение носещо преднамерено позитивен заряд по отношение на една стока или действие, е възникнала дълбоко в древността тя се структурира в миналия век. Създадени са първите теории на рекламата (Уолтър Скот през 1903 г.) и методи за анализ и планиране на рекламните кампании (Ръсел Коли през 1960 г.). Логичният завършек като ясно дефиниран устойчив функционален модел и теория все още липсва в рекламната област.

Най-старото рекламно послание е било мултимедийно и е използвало първия в света гол модел – Ева. Рекламата е била насочена към първия потребител – Адам и е целяла да го изкуши със забранения плод въпреки наложената забрана. Това прави Сатаната първото същество измислило и притворило успешна рекламна кампания превръщайки го в баща на рекламата.

Всъщност рекламата е била и винаги ще бъде навсякъде край нас. Най-успешните хора в нашата история не са тези, които са направили най-добрите открития, а тези, които са успели да ги популяризират. Примери като Полароид в близкото минало и Жилет сега, са успели концепции лежащи изцяло върху рекламната сила на техните послания. И докато при Полароид стои изобретателят Едуин Ланд, който оставя на човечеството повече от 535 патентовани изобретения, то Кинг Кемп Жилет налага с изобретението си нова култура - предметът след използване просто се изхвърля, а не служи с години. На практика с него започва новата идеология на масовите продукти за "еднократна" употреба.

Опирайки се на проучването в областта на рекламата смятаме, че има криза в модела и методологията за определяне и провеждане на медия планирането. Тази криза не е само в отделни кампании, а в самия подход към дефиниране на рекламния фундамент. Определяйки проблема в класическия подход за медия планиране се убеждаваме, че може да бъде

преодолян само чрез модела на функционалния атом и контактия подход в трибологията. Това ни дава сили да вярваме в трибологичния модел и контактните мрежи като средство за разрешаването на този проблем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доганов, Д., Б.Дуранкев. *Българска рекламна енциклопедия* „Сиела", С., **2001**.
2. Кафтанджиев, Х. *Хармония в рекламната комуникация.* „Сиела", С., **2008**
3. Кафтанджиев, Х. *Сексът и насилието в рекламата*. „Сиела", С., **2006**
4. Кафтанджиев, Х. *Герой и красавици в рекламата.* „Сиела", С., **2007**
5. Томс, Ж. *Интернет рекламата мисията – възможна.* „Сиела", С., **2005**
6. Иларионов, П., М. Златарева. *Търговските марки – част втора.* „Сиела", **2006**
7. Манолов, Н. *Контактен подход. Атомизиране, хармонизиране, интерпретиране – книга трета.* „Темто", С., **2007**
8. Манолов, Н., М.Кандева. *Обща трибология.* „Св. Иван Рилски", С., **2005**
9. Laurene V. Fausett. *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms And Applications*.
10. Kevin Gurney. *An Introduction to Neural Networks*.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Peter HRISTOV
Packlan Advertising Studio, Address: Sofia 1415, 58 Narcis Str.
E-mail: hristov@packlan.com

Agop ERDEKLIAN
Packlan Advertising Studio, Address: Sofia 1415, 58 Narcis Str.
E-mail: erdeklian@packlan.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

EXAMPLES OF CONTACT TRIBOSYSTEMS IN ART AND DESIGN

Genoveva VLADIMIROVA

Abstract: *The work is considered inseparable connection between art and the tri-identity in all its dimensions.Through innovative "contact approach" to study tribological interactions can distinguish levels of "contact in the art", which follow the balanced paradigm for understanding - imagination – spirituality. Consider successively the contact between the artist and his work, between the artist and his audience and the oscillation of the messages for it. Refer to certain artistic techniques of impact, suggesting different emotional states, through the observation of a work. The publication describes the reasons of the the responsibilities in the authors, which are decided to present their work to the masses, gives expression to emotions that have ruled them, and the power of art. Art that speaks, suggested and broadcast.*

Key Words:*. art, contact approach, tri-identity, messages,levels of contact.*

ПРИМЕРИ ЗА КОНТАКТНИ ТРИБОСИСТЕМИ В ИЗКУСТВОТО И ДИЗАЙНА

Геновева ВЛАДИМИРОВА

Резюме: *В работата се разглежда неразривната връзка между триединството и изкуството във всичките му измерения. Чрез новаторския „контактен подход" на изследване на трибологичните взаимодействия се разграничават нивата на „контакт в изкуството", които следват балансираната парадигма разум – въображение – душевност. Разглеждат се последователно контакта между твореца и неговото произведение, между твореца и неговата публика, както и генерирането на послания към нея. Указват се някои артистични техники на въздействие, внушаващи различни емоционални състояния по време на наблюдението на дадена творба. В публикацията се описват причините за отговорностите на авторите, решили да представят своето произведение пред широките маси, давайки израз на емоциите, които са ги владеели, както и за силата на изкуството. Изкуството, което говори, внушава и излъчва.*

Ключови думи: *изкуство, контактен подход, триединство, послания, нива на контакт.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Изкуството в своята същност е проявлението на артистичния мироглед на своя създател, осъществяващ контактни взаимоотношения на различни нива.

То „вибрира" с определена честота, която осезателно се визуализира под формата на красива картина, движение, поезия или друго, за да „контактува" с хората, които му се наслаждават.

Изкуството носи в себе си послания. Послания, които независимо от степента на разчитане, предават информация – чувствата и емоциите, владеели автора в момента на създаване на неговата творба.

Но авторът и зрителите му са само част от този процес на обмен. За да бъде той изпълнен с хармония и съдържание трябва да обърнем поглед към Триединството. И контактните взаимоотношения, които се осъществяват, са третият елемент – балансът между другите два.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Контактът в изкуството може да бъде разглеждан на много и различни нива, свързани с разума, въображението и душевността на твореца и неговите почитатели. На първо ниво може

да се говори за директен контакт между автора и неговата творба по време на създаването й. Тогава са само той, произведението и енергията на магията, наречена „творческо вдъхновение". Тук в процеса на работа върху произведението активно се включват и почти всички анализатори в човешкото тяло – зрителен, на общата сетивност, обонятелен и вкусов.

Чрез зрителния анализатор се получават усещания за цветови нюанси, формени категории и големина на произведението.

Чрез анализатора на общата сетивност се диференцират усещанията за форми, текстура и др. Например, чрез рецепторите, разположени по възглавничките на пръстите и дланта, художниците добиват представа за консистенцията и пластичността на използвания материал.

Чрез вкусовия анализатор опитният творец може да установи качеството на материалите. Например, ако се прави пластика от брашно, сол и вода, по количеството на солта може да се разбере дали крайният резултат, т.е. изпечената пластика, ще бъде здрава или ще се напука. По аналогичен начин артистите, занимаващи се с карвинг, изработване на пластики от шоколад или други кулинарни материали могат да преценят степента на готовност на своите произведения.

По време на работа върху творбата активно участие взема обонятелния анализатор. Например, чрез мириса на боята може да се регистрира нейното качество, а то от своя страна да определи трайността и естетичността на крайния продукт.

На следващо ниво може да се разглежда контакта между творбата и нейните зрители, а посланията, които тя носи, се възприемат на трето - съдържащо в себе си смисъла и същината на идеята.

За да бъде творбата му разбрана и въздействаща по определен начин авторът може да използва различни похвати, като формени категории, колористични комбинации, принципи на контрасти и изявяване на елемент над друг. В зависимост от използваните нюанси и цветови гами зрителите (на съзнателно и подсъзнателно ниво) изпитват различни емоционални състояния, наблюдавайки създаденото произведение.

Още древните хора за знаели огромното значение на цветовете и тяхната символика. Те имат и положително, и отрицателно въздействие, и всеки човек реагира, независимо дали го осъзнава или не.

Например жълтият цвят олицетворява радост, надежда, философия, просветление, но също така и егоизъм, предателство, страх.

Според гръцката митология косите и дрехите на боговете са били със златист цвят. Именно поради това този цвят не е бил особено любим в ранното християнство. В Китай жълтият цвят символизира императорската власт, а в Индия този цвят е свещен. Той е най-видимият и ярък цвят в спектъра и се възприема пръв от човешките очи.

Червеният цвят символизира енергия, възбуда, насилие, любов, доминиращо начало. Отенъците на червеното могат да се класифицират като такива с преобладаваща жълта и синя основа. Първите са „по-топли", а тези основани на синия цвят – „по-студени". И именно поради това, отенъците на един и същ цвят предизвикват толкова много противоречиви асоциации. Поради силата на своите особености червеният цвят „изпъква" и обектите, оцветени с него, изглеждат по-близо.

Зеленият цвят символизира природа, растеж, здраве, надежда, младост. В повечето случаи той е позитивен цвят, но някои негови оттенъци могат да породят отрицателни асоциации, които навяват негативни емоции, като завист и болезненост. Това е цветът, който най-малко натоварва очите.

Виолетовият цвят е символ на мистиката, страстта, магията, вярата, несъзнателното, аристокрацията. Той се среща по-рядко в природата и навярно затова е свързан с усещането за нещо тайнствено и недостъпно.

Синият цвят олицетворява истината, доверието, чистотата, спокойствието, но и студа, меланхолията и депресията. Той открива огромна гама от мрачно сини, студено сиви, до снежно бели тонове. Цветовете от тази гама идеално придават усещане за кристална чистота и ледено спокойствие, без намек за огън и живот. Този цвят има способността да отива на заден план, сините обекти изглеждат по-далечни, отколкото са в действителност.

Черният цвят в Европа символизира тъга, мрак, лоши мисли, настроения, неприятности, разрушения, бунт, загадъчност. Отрицанието от човешката суета и лукса е черно, откъдето идва и цвета на свещеническото расо. Черното е и сигнал за недостъпност.

Белият цвят традиционно символизира невинност и чистота. Той се асоциира едновременно със студ, сняг, но и със сиянието на светлината. Харесва се от хора, които се стремят към лекота и свобода. Хора, които искат да подчертаят чистотата, акуратността си, които умеят да избягват неприятностите, отхвърлящи всичко мрачно и "мръсно".

Ако авторът иска да внуши хармонични и чисти взаимоотношения, то той препраща посланията си със спокойни цветове и балансирани комбинации от формени категории.

Познавайки въздействието на цветовете и използвайки тези знания добронамерено, той може да предаде положителното си настроение на всички около него, провокирайки хармония в различни направления. Ако използва обаче силно контрастни цветови и формени комбинации, авторът може да предаде неспокойни и възбуждащи отрицателните чувства емоции, които биха дебалансирали душевния мир на наблюдателя. Например силно насечени, остри форми биха извикали неспокойствие и несигурност, докато меките и овални форми биха провокирали позитивни мисли и чувства, които ще се предадат и на останалите хора, контактувайки с творбата.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Триединството може да се открие във всяка една област на развитие в живота и ежедневието. Продуктите, създадени от инженери и дизайнери, контактуват с потребителите, улесняващи и декориращи тяхното съществуване. Добрите дизайнерски решения носят със себе си хармоничния контакт между форма и линия, между линия и силует, между силует и материя. Триединството присъства и в природата на самата хармония, защото идеалното решение се намира там, където естетика и функционалност работят заедно в хармоничен баланс.

И отговорността, която носим ние, творците, е огромна, защото контактувайки със себе си по време на създаване на нашата творба, ние контактуваме с целия останал свят. Предаваме нашата енергия върху произведението, която после ще бъде усетена от хората, имащи допир с него. И за да помогнем на нашия свят да бъде изпълнен с положителни емоции и доброта, ние трябва да изпитваме любов към нашата работа, да творим с чисто сърце, отворен ум и лека ръка. Трябва да осъзнаваме, че сме автори, не само на нашето произведение, но и на чувствата, които провокираме с него.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Манолов, Н. *Контактен подход. Книга трета.* ИК ТЕМТО, С., **2007.**
2. Владимирова, Г. *Триединство в пластичната живопис.* Академична сесия „Гражданското общество в действие" – сборник статии, ИК ТЕМТО, С., **2001.**

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Genoveva VLADIMIROVA
GenoGraphic Academy Creative Studio
e-mail: genoveva@genographica.eu

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

GEOMETRICS AND KINEMATICS OF FRICTION C.V.T. WITHOUT GEOMETRICAL SLIDING

Kostadin STOICHKOV

Abstract: *Synthesis and analysis of friction C.V.T. without geometrical sliding are made in this work. The condition of work without geometrical sliding is defined. The low for changing of ratio of the mechanism is given. The border of changing of ratio as function of basic geometrical parameters is found.*

Key Words: *friction, C.V.T., geometrical sliding, ratio.*

ГЕОМЕТРИЯ И КИНЕМАТИКА НА ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР С НУЛЕВО ГЕОМЕТРИЧНО ПЛЪЗГАНЕ

Костадин СТОИЧКОВ

Резюме: *В работата е направен геометричен и кинематичен синтез и анализ на фрикционен вариатор с нулево геометрично плъзгане. Намерен е законът за изменение на предавателното отношение на вариатора. Определен е диапазонът на регулиране в зависимост от стойностите на основните геометрични параметри.*

Ключови думи: *фрикционен, вариатор, геометрично, плъзгане, диапазон.*

1. УВОД

В работата [1] е направен синтез и анализ на фрикционен предавателен механизъм, като синтезът на механизма е извършен при условия за минимизирано плъзгане. Характерна особеност на разглежданият механизъм е това, че по време на работа на механизма звената могат да променят положението си в равнина съдържаща техните оси на ротация. Целта на това е въпросният механизъм да реализира безстепенно изменение на предавателното отношение. Минимизирано плъзгане в случаят означава, че :

1.Относителните движения на контактуващите звена да се осъществяват посредством търкаляне, а не плъзгане едно спрямо друго.

2. Теоретично да бъде премахнато геометричното плъзгане между работните повърхнини.

Разгледан в равнината, съдържаща ротационните оси на звената механизмът е контурен четиризвенен (фиг. 1). За осигуряване на търкаляне без плъзгане е необходимо контактуващите контури да работят като центроиди. Условието за теоретично нулиране на геометричното плъзгане е подробно описано в [1]. В т.3 от [1] са намерени аналитичните уравнения на контурите на звената от контурният механизъм, такива че да осигурят минимизираното плъзгане на контурите.

2. ПРЕДАВАТЕЛНА ФУНКЦИЯ НА ФРИКЦИОНЕН МЕХАНИЗЪМ С МИНИМИЗИРАНО ПЛЪЗГАНЕ

Изменението на предавателното отношение на при изменение на относителното положение на звената се дава от изразът

$$i = \frac{h}{\left(\frac{h}{R_2}-1\right)\cos\theta+1}\left[h-\frac{h}{\left(\frac{h}{R_2}+1\right)\cos\theta-1}\right]\left[h-\frac{h}{\left(\frac{h}{R_2}-1\right)\cos\theta+1}\right]^{-1}\left[\frac{h}{\left(\frac{h}{R_2}+1\right)\cos\theta-1}\right]^{-1} \quad (1)$$

Параметрите h и R_2 в горният израз са на пояснени в $[1]$, а θ е ъгълът, чието изменение трябва да доведе до изменение на предавателното отношение. След коректни математически преобразувания и последващи съкращения се установява, че предавателното отношение на механизма не се изменя с изменение на θ. За стойността на предавателното отношение е в сила изразът

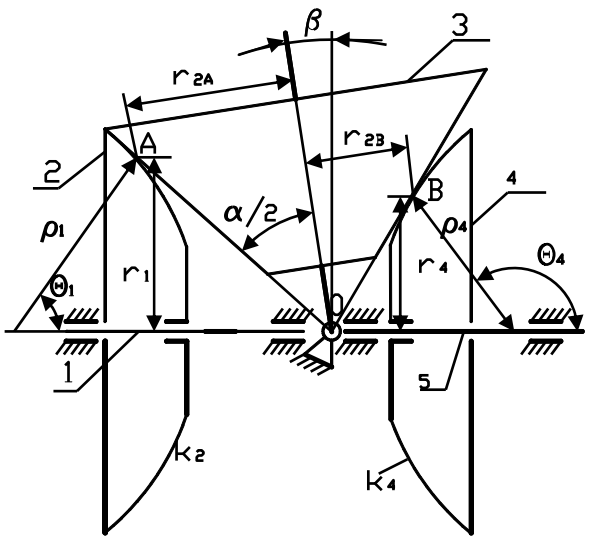
$$i = \frac{h + R_2}{h - R_2}. \tag{2}$$

Както се вижда от (2) предавателното отношение остава постоянно което означава, че конкретният механизъм не може да бъде използван за вариатор. Заключението което може да се направи до тук е, че четиризвенният (три подвижни и едно неподвижно звено) контурен механизъм не може да удовлетвори едновременно трите изисквания – теоретично нулиране на геометричното плъзгане, обтъркалване без плъзгане при изменението положенията на контактуващите тела и реализация на безстепенно изменение на предавателното отношение. След по-задълбочен анализ се стига до заключението, че посредством четиризвенен механизъм могат да се реализират следните комбинации от функционални възможности.

1. Механизъм с теоретично нулево геометрично плъзгане и чисто обтъркалване на звената с постоянно предавателно отношение.
2. Механизъм с теоретично нулево геометрично плъзгане и възможност за изменение на предавателното отношение, но с нецентроидни контури, т.е. такива, които се плъзгат при относителните премествания на контактуващите звена.
3. Механизъм с променливо предавателно отношение и центроидни контури, но със значително геометрично плъзгане на работните повърхнини.

Първата комбинация от възможности бе разгледана в [1]. Обект но настоящата работа е теоретично създаване на механизъм осъществяващ втората комбинация от възможности, а именно вариатор с нулево геометрично плъзгане.

3. СИНТЕЗ НА ВАРИАТОР С НУЛЕВО ГЕОМЕТРИЧНО ПЛЪЗГАНЕ



Фиг. 1. Кинематична схема на фрикционен вариатор с нулево геометрично плъзгане

На фиг. 1. е показана кинематична схема на вариатор с нулево геометрично плъзгане. Неговото устройство и принцип на действие, са следните: На входящият вал 1 е монтирано звеното 2 с фрикционна работна повърхнина получена при въртене на контура k_2 около геометричната ос на вала. Звеното 3 представлява фрикционен конус с връх лежащ върху общата ос на ротация на входящия и изходящият вал 5. Върху вал 5 е монтирано звеното 4 чиято фрикционна повърхнина има за образуваща контурът k_4. При задвижване на вал 1 посредством контактите в точки A и B силите на триене предават движението на фрикционния конус, а от там на звеното 4 което задвижва изходящият вал. Изменението на предавателното отношение на механизма, се получава при накланянето на звеното 3 (изменение на ъгъл β). В следствие на

изменение на β конусът 3 се завърта около т.O, звената 2 и 4 се преместват аксиално по съответните валове, разстоянията от общата ос на ротация на 2 и 4 до контактните точки се променя в следствие на което се променя предавателното отношение на механизма. Както е известно условието, за нулево геометрично плъзгане е: тангента в точката на контакт между фрикционните звена да минава през точката на пресичане на осите на ротация на звената. В разглежданият случай точките на контакт са две - A и B. Тангентите в тези две точки всъщност, са образуващите прави на конуса, тези прави минават през върха на конуса (т.O) през която минава и неговата геометрична ос явяваща се ос на ротация за зв.3. Когато точка O лежи върху общата ос на ротация на звената 2 и 5 е изпълнено условието за нулево геометрично плъзгане както за фрикционната двойка 2-3 ,така и за фрикционната двойка 3-4.

4. АНАЛИЗ НА ПРЕДАВАТЕЛНАТА ФУНКЦИЯ НА ВАРИАТОР С НУЛЕВО ГЕОМЕТРИЧНО ПЛЪЗГАНЕ

Както се вижда от схемата на фиг.1. предавателното отношение между входящият и изходящият вал на вариатора се дава от изразът.

$$i_{V1.5} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = \frac{r_{3A}}{r_1}.\frac{r_4}{r_{3B}} \tag{3}$$

При условие, че контурите k_1 и k_4, са дефинирани с техните полярни уравнения - $\rho_1 = \rho_1(\theta_1)$ и $\rho_4 = \rho_4(\theta_4)$ (фиг.1) разстоянията от контактните точки до оста на ротация се определят от изразите

$$r_1 = \rho_1.\sin\theta_1 \tag{4}$$

$$r_4 = \rho_4 \sin(\pi - \theta_4) \tag{5}$$

За контактните радиуси r_{3A} и r_{3B} са в сила равенствата

$$r_{3A} = AO.\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \tag{6}$$

$$r_{3B} = BO\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \tag{7}$$

Разстоянията AO и BO участващи в (6) и (7) се получават съобразно фиг.1 от изразите:

$$AO = \frac{r_1}{\sin\left[\frac{\pi}{2} - \left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right)\right]} \tag{8}$$

$$BO = \frac{r_4}{\sin\left[\frac{\pi}{2} - \left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right)\right]} \tag{9}$$

При заместване на (4), (5), (6), (7), (8) и (9) в (3) за предавателното отношение на вариатора се получава релацията

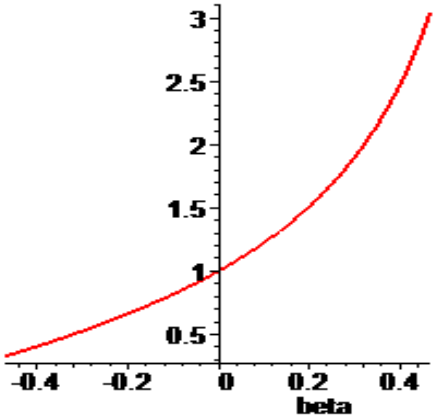
$$i_{V1.5} = \frac{\frac{\rho_1.\sin\theta_1}{\sin\left[\frac{\pi}{2} - \left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right)\right]}\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{\rho_1\sin\theta_1} \frac{\rho_4\sin(\pi - \theta_4)}{\frac{\rho_4\sin(\pi - \theta_4)}{\sin\left[\frac{\pi}{2} - \left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right)\right]}\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}, \tag{10}$$

от която след извършване на съответните съкращения се стига до уравнението

$$i_{V1.5} = \cos\left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right) \Big/ \cos\left(\frac{\alpha}{2} + \beta\right), \tag{11}$$

което е окончателният вид на предавателната функция на вариатора от фиг. 1.

Графиката на предавателната функция (10) при ъгъл при върха на фрикционния конус $\alpha = \frac{\pi}{2}\ [rad]$ е дадена на фиг. 2.



Фиг. 2. Графика на предавателната функция $i_{V1.5} = i_{V1.5}\left(\beta\,[rad]\right)$ ***на фрикционен вариатор с нулево геометрично плъзгане***

5. ИЗВОДИ

Като заключение от направените в настоящата работа разглеждания се вижда, че предавателното отношение на фрикционния вариатор с нулево геометрично плъзгане се изменя в граници $0{,}3 \div 3$, това осигурява достатъчен диапазон на регулиране за приложение на вариатора в съвременни механични системи, като на пример системите за управление на кинетичните акумулатори на енергия [2]. Друг важен извод, който може да бъде на правен е, че предавателната функция в случая не зависи от вида на образуващите контури $\rho_1(\theta_1)$ и $\rho_4(\theta_4)$ (т.4 от настоящата работа), а от ъгълът при върха на фрикционния конус и наклона на оста на същия (11).

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията, отразени в настоящата статия, са частично финансирани по договор №102ни183-5/2010 „Теоретично и експериментално изследване на динамиката на високоскоростен ротор при въртящо се и стационарно изотропно еластично поле върху създаден за целта стенд” между НИС при ТУ-София и МТФ на ТУ-София.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стоичков К., Н. Николов. *Анализ и синтез на фрикционен предавателен механизъм с минимизирано плъзгане.* Трибологичен журнал. бр.1, **2010**.

2. Стоичков К., В. Живков. *Управление на кинетичен акумулатор в режим отдаване на енергия посредством фрикционен вариатор.* Международен конгрес „**Машини технологии материали**”- София **2010.**

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

гл. ас. д-р Костадин Стоичков
ТУ-София. бул. Кл. Охридски №8
e-mail: kks@tu-sofia.bg.

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

MICROIMPACT ANALYSIS BY CONTACT INTERACTION OF ROUGH SURFACES

Vyara POZHIDAEVA **Dragan ZHIVKOVICH** **Emilia ASSENOVA**

Abstract: *The article proposes an analytical method for fixing the ripple frequency of rolling bearings, as a result of roughness and small defects on working surfaces. The method has been developed for the roller bearings from open-pit mining machines. On the basis of theoretical precondition and test measurements limit values are receive for intensity pulses in the vibrosignals as function bearings wear.*

Key words: *vibration control, roll bearings, wear, mining machines.*

МИКРОУДАРЕН АНАЛИЗ ПРИ КОНТАКТНО ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НА ГРАПАВИ ПОВЪРХНИНИ

Вяра ПОЖИДАЕВА **Драган ЖИВКОВИЧ** **Емилия АСЕНОВА**

Резюме: *В статията се предлага аналитичен метод за определяне на честотата на неравностите на търкалящ лагер в резултат на грапавост и малки дефекти на работните повърхности. Методът е разработен за търкалящите лагери в машини за открити рудници. Въз основа на теоретичните предпоставки и тестване са получени гранични стойности за импулсите на вибросигналите във функция на износването на лагерите.*

Ключови думи: *контрол на вибрациите, търкалящи лагери, износване, минни машини*

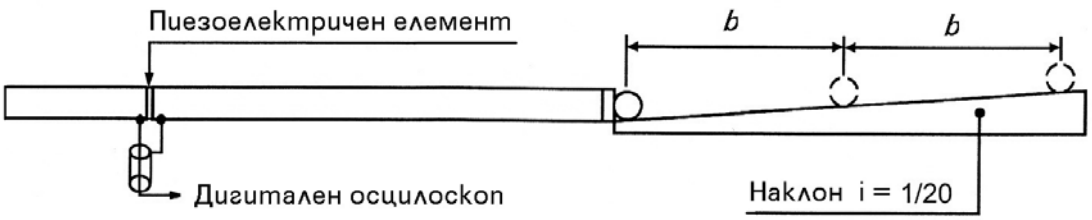
1. ВЪВЕДЕНИЕ

В реални условия разрушаването на контактните повърхнини се обуславя от комплексни причини предизвикващи едновременното възникване и развитие на редица повреди. В началния стадий на приработване в процеса на износване обикновено се наблюдава постепенно увеличаване на грапавостта на повърхнините, а след това процесът се задълбочава до възникването на отделни дефекти по тях. Типичен пример в това отношение са търкалящите лагери, които на практика рядко изчерпват ресурса си в следствие на умора на материала. Този факт предопределя потребността от ранна диагностика на процесите на износване в лагерите с оглед на тяхното правилно техническо обслужване и създаване на възможност за тяхната експлоатация до изчерпване на лагерния ресурс.

2. ТЕОРЕТИЧНА ПОСТАНОВКА

Най-разпространеният подход за диагностика на износването в лагерите се основава на контрола на вибрационния сигнал във високочестотната област (27-35 kHz). В случая се изхожда от обстоятелството, че търкалящият лагер представлява генератор на случайни импулси, които се пораждат при движението на търкалящите тела по лагерните пътечки. Причина за поява на импулсите е грапавостта на контактните повърхности на взаимодействуващите си в маслена среда лагерни елементи. Интензивността на импулсните взаимодействия, както и големината на всеки отделен импулс зависи от дебелината на маслениият филм в контактните зони и степента на износване в лагера, изразена чрез грапавостта на повърхнините.

В това отношение публикацията на Sohoel [1] дава възможност да се нормират съответни стойности на интензивността на импулсната последователност, предизвикана от неравностите в контакта.



Фиг. 1. Теоретичен модел за изследване на физическата същност на еластични ударни вълни

На базата на модела от фиг.1. се определят следните вибрационни характеристики на единичен ударен импулс, а именно:

$$V = \sqrt{2.g.b.i} \tag{1}$$

където:*V*, [m/s] е скоростта на ударния импулс, предизвикан от контакта между две изпъкналости в профила на взаимодействуващите си лагерни елементи;

b, [m] е разстоянието между две последователни изпъкналости в профила;

g = 9,81 m/s^2.

$$T = \frac{R}{(V)^{\frac{1}{5}}} k_1 \tag{2}$$

където: *T*, [μs] е времето на ударното взаимодействие от началото на удара до момента, в който вибрационната скорост стане 0;

R , [mm] е радиус на търкалящото се тяло;

k_1 = 4.5 коефициент, установен по емпиричен път.

$$P_{\max} = (V)^{\frac{6}{5}} (m)^{\frac{3}{5}} R^{\frac{1}{5}} k_2 \tag{3}$$

където: $P_{\max}$, $[N]$ е максималната контактна сила (при $V = 0$);

m , [mm^3] е относителната маса на търкалящо тяло, $m = R^3$;

k_2 е коефициент, установен по емпиричен път.

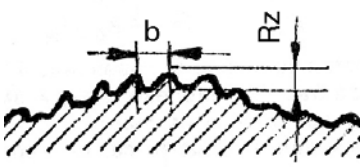
Така определените вибрационни характеристики на единичен ударен импулс позволяват те да бъдат изчислени за различни стойности на износването в границите на нормирани параметри на микропрофила.

За определянето на евентуалния брой на ударните импулси в контактната зона ще се позовем на стандарта за грапавост на повърхнините и по-специално на параметъра “средна стъпка на профила по върховете на грапавините - S”, който окачествява именно разпределението и броя на пиковете спрямо средната линия и се определя като средноаритметична стойност на стъпките b между върховете на профила в границите на базовата дължина ℓ (за лагерни повърхнини ℓ = 0,25 mm.) (фиг. 2)

$$S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} b_i \tag{4}$$

Съгласно определението за грапавост на повърхнини параметърът S се обвързва с параметъра R_z (височина на грапавините по 10 точки спрямо средна линия) за окачествяване на грапавост, а именно:

$$\frac{S}{R_z} \le 50 \tag{5}$$



Фиг. 2. Стъпка на профила по върховете на грапавините

Съгласно БДС EN ISO 1302 числената стойност на R_z параметъра за лагерни повърхнини е 1 μm и за да бъде изпълнено условие (5) от същия стандарт избираме числена стойност за b_1 = 0,05 mm. Тогава евентуалният брой на пиковете q в базовата дължина може да се пресметне приблизително от:

$$q = \frac{\ell}{b} \tag{6}$$

като за лагер с нормална грапавост на повърхнините броят ще бъде $q_1 = \frac{\ell}{b_1} = \frac{0,25}{0,05} = 5$ бр., а за лагер с увеличена грапавост, при максимално лошо качество на повърхността, от стандарта отчитаме b_2 = 0,002 mm и броят на пиковете е $q_2 = \frac{\ell}{b_2} = \frac{0,25}{0,002} = 125$ бр. Параметърът i – в (1) може да се идентифицира [2] при реален обект с относителното сближение между контактните повърхности x [μm], което за нуждите на нормирането приема две гранични стойности а именно:

$$x_1 \approx 1,54\left(\frac{r}{R_{\max}}\right)^{\frac{1}{5}}.\left(P_c.\theta\right)^{\frac{2}{5}}, \text{ μm} \tag{7}$$

сближение при неизносен профил и

$$x_2 \approx 5,4\frac{r}{R_{\max}}\left(c.P_c.\theta\right)^2, \text{ μm} \tag{8}$$

сближение при изчерпан лагерен ресурс определено като критична деформация, съответстваща на прехода на материала към състояние на пластичност.

Означенията във формули (7) и (8) са както следва:

r – среден радиус на закръгление на върховете на грапавините, μm;

$R_{\max}$ – най-голямата височина на неравностите на профила в рамките на базовата дължина, μm;

P_c, [N/m^2] – фактическо контактно налягане в лагера, определено като отношение между натоварването F и фактическата контактна площ A_c, определена съгласно теорията на Херц.

$$P_c = \frac{F}{A_c} \tag{9}$$

θ [Ns^2/m^2] - еластична константа на материала на контактните повърхности, пресметната чрез коефициента на Поасон μ, [Ns/m^2] и модула на еластичност E, [N/m^2]

$$\theta = \frac{1-\mu^2}{E} \tag{10}$$

c – коефициент зависещ от формата на върховете на грапавините. За сферична форма, каквато е възприета в случая, c = 0,55.

В съответствие с класа на точност на търкалящите лагери, опитно установени и изчислени са следните характеристики (Таблица 1).

Фактът, че вибрационните нива на резонанстните лагерни честоти се обвързват с грапавостта на повърхнините, а също и определението за възприемане на сигнал от точков източник, позволяват да се предположи, че чувствителната част на сферичния накрайник на преобразувателя притежава размери, равни на стандартизираната базова дължина ℓ, при която се окачествява грапавостта на лагерните повърхнини, а именно $\ell = 0,25\ mm$.

Таблица 1 Параметри на грапавостта на повърхнините

Ra, μm	Rmax, μm	r, μm
0,16–0,08	1,0–0,5	30
0,08–0,04	0,5–0,25	40
0,04–0,02	0,25–0,125	55

Тогава преобразувателите за контрол на лагери ще регистрират възбудените импулси не от цялата контактна площадка, а само от точковия източник в рамките на базовата дължина ℓ приблизително по линия (с дебелина ~ $1\ mm$) . При тези предположения големината на контактната площ за нуждите на настоящото нормиране ще бъде:

$$A_c = n.\ell = n(0,25x1) = 0,25n\ ,\ mm^2 \qquad (11)$$

където n е броят на базовите дължини ℓ, които ще преминат през датчика за времето на измерване и събиране на отчети [3]. Същите могат да се определят с помощта на теорията на Херц за всеки отделен лагер, в съответствие с неговата конструкция и работна честота.

3. ИЗВОДИ

1. Съществува връзка между износването в лагерите и параметрите на високочестотните вибрации.
2. За нуждите на безразрушителния контрол чрез вибрационни измервания е необходимо предварително нормиране на съответни кореспондиращи си стойности на износването и вибрационната характеристика, в съответствие с конкретните конструктивни особености на лагерното вграждане.
3. Специално за лагерите от минната механизация, работещи при големи натоварвания и ниски работни честоти, илюстративен параметър за наличния лагерен ресурс е грапавостта на повърхностите на лагерните елементи.
4. Настоящата методика позволява определяне на параметрите на импулсните взаимодействия в лагера по амплитуда и честота, което удовлетворява изискванията за коректен вибрационен контрол.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sohoel E., *A complete set of tools for evaluating the running condition of operating rolling element bearings*, SPM Instrument AB, August, **1994.**
2. Крагельский И., М., Добычин, В. Комбалов. *Основы расчетов на трение и износ*. Москва, Машиностроение, **1977**.
3. Коднир, Д., *Контактная гидродинамика смазки деталей машин.* Москва, Машиностроение, **1976**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р Вяра ПОЖИДАЕВА
Минно-геоложки университет “Св. Ив. Рилски”, 1700 София
e-mail: vpojidaeva@abv.bg

Prof. Dr. Eng. Dragan ZHIVKOVICH
High Technical School, Novi Beograd, Serbia
e-mail: zivkkev@drenik.net

Ст. н.с. II ст. д-р Емилия АСЕНОВА
Общество на триболозите в България
e-mail: emiass@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

TRBOTECHNOLOGICAL REQUIREMENTS TO THERMAL CLADDED COATINGS AIMING IMPROVEMENT OF DETAILS AND EQUIPMENT RESOURCE IN INDUSTRY

Ilian PEICHEV

Abstract: *The paper deals with the development of tribotechnological requirements to thermal cladded wearresistant coatings. The requirements should be based on the trinity of regime of cladding, tribological properties of the coatings and their exploitation resource.*
Key Words: *tribology, tribotechnologies, coatings, resource.*

ТРИБОТЕХНОЛОГИЧНИ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ТЕРМИЧНО ДЕПОНИРАНИТЕ ПОКРИТИЯ ЗА ПОДОБРЯВАНЕ РЕСУРСА НА ДЕТАЙЛИ И СЪОРЪЖЕНИЯ В ИНДУСТРИЯТА

Илиян ПЕЙЧЕВ

Резюме: *В работата се разработват триботехнологичните изисквания към термодепонирани износоустойчиви покрития, основаващи се на триединството между режимите на депониране, трибологичните свойствата на покритията и техния експлоатационен ресурс.*
Ключови думи: *трибология, триботехнологии, покрития, ресурс.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Термично депонирания процес /ТДП/ минимизира използваната топлинна енергия и максимализира кинетичната енергия на частиците за депониране с голяма плътност, ниска порьозност и висока якост на свързване. Това се осъществява чрез т.н. студен или топъл процес.

2. ТРИБОТЕХНОЛОГИЧНИ ИЗИСКВАНИЯ

Депонираните покрития трябва да притежават:

- **Следните микроструктурни свойства:**

1. Трибологични свойства /износоустойчивост/.
2. Корозионна устойчивост.
3. Термоустойчивост.
4. Топлозащитни свойства.
5. Електрическа проводимост или електросъпротивителни свойства.
6. Устойчивост към абразивно въздействие или абразивни свойства.
7. Устойчивост към кавитационни въздействия или кавитационни свойства.
8. Устойчивост към ерозивни въздействия или ерозивни свойства.
9. Каталитични и протезиращи свойства.
10. Повърхностна гладкост и порьозност.
11. Възстановяване на габарити.
12. Копиране на сложни повърхности.

- **Системите за депониране трябва да отговарят на:**

1. Специална форма на факела, стойкометричен 4-6-8 диаманта, съответстващи на свръхзвукова скорост /над 3 пъти звуковата скорост/, работеща с пропилен, лабораторно чист пропан, ацетилен, кислород, азот.

2. Въвеждането на прахообразния /телов/ материал /суперсплав/ да става чрез специално дозиращо устройство, осигуряващо точно дозиране, необходимо за осъществяване на процеса изискващ:

- всички частици трябва да имат еднаква скорост при удара;
- всички частици трябва да са еднакво загрети;
- частиците трябва да са напълно разтопени или пластични без значително изпаряване и без нежелателни химически реакции;

3. Металната суперсплав да отговаря на изискванията на зърнометрия от наноскалата за течно синтероване , получена чрез агромерационен процес с включен етап на синтероване и съдържащи металокерамични карбидообразуващи и некарбидообразуващи химически елементи.

4. Частицата трябва да бъде стабилна сфероидална в структурата / 4б + 20 микрона/

5. Металната суперсплав трябва да притежава химически елементи с голяма твърдост на топене, якост на опън, якост на удар, износоустойчивост, огнеупорност, устойчивост на основи и киселини.

6. Морфологията на частичката, осъществена чрез ТД процес трябва да притежава еднаквост на диаметъра, кръговост и сферичност в точката на удара.

7. Скоростта на частицата трябва да бъде достатъчно голяма за депониране на високоплътно покритие, без това да доведе до експлодиране на частицата при удара.

8. Микроструктурата на ТДП на основата трябва да отговаря на хетерогенното образуване на активни центрове на твърдата фаза, последвано от колонно нарастване. Високата скорост на охлаждане/голямата скорост на втвърдяване/ води до масивно втвърдяване без разслояване, в резултата на повърхностното охлаждане без метастабилни фази.

3. ПРИМЕРИ ЗА СУПЕРСПЛАВИ

Метална суперсплав WC/Co 88/12

Волфрам /W/ - карбидообразуващ	**Кобалт /Co/ - некарбидообразуващ**
T° C на топене - 3410° C Твърдост по скалата на Моос - 9	T° C на топене - 1490° C Твърдост по скалата на Моос – 5.5
Свойства:	
твърдост якост на опън износоустойчивост огнеупорност	якост на удар Огнеупорност магнитни свойства

Волфрамът е карбидообразуващ и влиза във взаимодействие с въглерода /C/ и образува WC /Волфрамов карбид/ с голяма твърдост, Кобалта /Co/ служи за свързване на матрицата между WC и Co на металната сплав.

Циментитите на основа WC/Co служат за термично депонирано покритие, служещо за защита от абразивно, ерозивно и фрикционно износване и корозионна устойчивост.

Метална суперсплав SX199 - Cr_3C_2/Ni Cr/WC

Волфрам /W/ - карбидообразуващ	**Никел /Ni/**	**Хром /Cr/ карбидообразуващ**
T° C на топене - 3410° C Твърдост по скалата на Моос - 9	T° C на топене - 1455° C Твърдост по скалата на Моос – 3.8	T° C на топене - 1830° C Твърдост по скалата на Моос – 9
	Свойства:	
твърдост якост на опън износоустойчивост огнеупорност	якост на удар огнеупорност магнитни свойства твърдост якост на опън корозионна устойчивост пластичност много нисък коефициент на линейно разширение	твърдост якост на опън износоустойчивост корозионна устойчивост

Волфрамът е карбидообразуващ и влиза във взаимодействие с въглерода /C/ и образува WC /Волфрамов карбид/ с голяма твърдост.

Хрома /Cr/ при загряване влиза във взаимодействие с въглерода /C/ и образува хромов карбид. Изключително корозионно устойчив.

Матрицата съставена от Cr Ni W демонстрира превъзходна корозионна устойчивост и устойчивост на абразивно и ерозивно износване, температурна устойчивост.

Метална суперсплав с химически елементи в различно процентно съотношение: Cr 12-16%; Mo 2-2.9%; Si 3.75-4.75%; C 0.55-0.75%; B 2.75-3.5%; Cu 2-2.9%; Fe 3.75-5%; Co 0.01-0.1%; Ni – баланс.

Притежава изключително добра защита срещу абразия, ерозия, триене, кавитация, химически устойчиво на корозия от киселини и основи. Последващото свойство на затопяване на матрицата при висока температура чрез газопламъчни пистолети, позволяваща кристализация. Кристализацията на аморфната фаза настъпва при T° - 500°C. Контролираното термично влияние при висока T° отговаряща на T° на рекристализация водеща до формиране на плътна кристализационна структура. Термично депонираното покритие, осъществено чрез HVOF процес със системи за депониране, отговарят на изискването от кохезионно свързани пръски получени в резултат на високоскоростния удар и бързо втвърдяване на силния поток от разтопени от пламъка /факела/ частици.

Микроструктурата се дължи на втвърдяване на множеството разтопени капки с голяма скорост върху субстрата /основата/ основаващо се на еднаквост на диаметъра, кръговост и сферичност в точката на удара, което води до хетерогенно образуване на активни центрове на твърдата фаза последващо от колонно нарастване. Високата скорост на охлаждане /голямата скорост на втвърдяване/ води до масивно втвърдяване без разслояване в резултат на повърхностното охлаждане без метастабилни фази.

Всяко практическо приложение притежава уникални изисквания към покритието поради средата , в която работи или поради специфичните характеристики на повърхността покритията често се пригаждат за дадени приложения.

4. ИЗИСКВАНИЯ ПРИ ПРЕДВАРИТЕЛНАТА ПОДГОТОВКА ЗА ТДП

Подготовката, почистването, бластирането и механичната подготовка са изключително важни за качеството на депонираното покритие. Те осигуряват химически и физически активна повърхност, необходима за доброто свързване. Увеличава се повърхностната площ, което от своя страна подобрява якостта на свързване на покритието. Награпения повърхностен профил обезпечава добро механическо свързване.

1. Почистване с органични и неорганични химични и други способи:

- Почистване с различни лубриканти, разтворители и други продукти, които премахват нечистотиите по работната повърхност за депониране;
- Почистване по способа “изпотяване” –обгаряне с пламък;
- Почистване с пароструен апарат – “измиване”.

2. Бластиране – основен способ за подготовка на работната повърхност до “лабораторно чиста”. Изисква система за мобилно бластиране, притежаваща определени технически параметри и абразивен материал- грит по ISO 11126 с различен зърнометричен състав в граници 0,16 mm до 3,5 mm, съдържащ силикати и окиси /SiO2, AlO.MgO,CoO, MnO /.

3. Предварителна механична /стругова, шлайфова/ обработка за подготовка на термично депониране.Обикновено се прилага за ротационни детайли, като механичната подготовка включва обработка на детайлите чрез шлайф или струг с цел премахване на следните деформации, получени в резултат на продължителната работа:

- Премахване на “уморения” слой;
- Проверка за центричност и отстраняване;
- Проверка за елипсовидност и отстраняване;
- Проверка за съосност и отстраняване на “биенето” по целия размер;
- Подготовка на работната повърхност чрез струговане /резбонарязване/ или шлайфане /според метода/ за нанасяне на покритието.
- Допълнителни операции;

След извършената необходима предварителна подготовка до “лабораторно чиста” повърхност се пристъпва към нанасяне на ТД покритие.

5. НАНАСЯНЕ НА ТД ПОКРИТИЕ

При нанасяне на ТД покрития се изхожда от принципа на работа на ТД процес /студен, топъл/ и вида на системата за депониране, като се вземат под внимание следните параметри:

- Налягане на горивен и поддържащ газ под високо налягане;
- Налягане на въздуха на компресора за охлаждане;
- Налягане на азот в дозиращото устройство;
- Параметри, зададени на контролно табло-прахоподаващ апарат;
- Скорост на подаване;
- Параметри, зададени на контролно табло- работни газове /флоуметри/;
- Разстояние между дюза на системата за депониране и повърхността на детайла;
- Ъгъл на свръхзвуковия газопламъчен поток срещу основата на детайла;
- Други параметри на ТД процес.

6. ОКОНЧАТЕЛНА ОБРАБОТКА СЛЕД ТД ПОКРИТИЕ

В зависимост от изискванията на условията на работа на детайла, депониран чрез ТД процес се прилагат различни способи за последваща окончателна обработка , основно зависеща от твърдостта на покритието:

- До твърдости 50-55 HRC–стругова механична обработка;
- Над твърдост 55 HRC – шлайфова обработка;
- Финишно окончателно полиране – при необходимост.

Разработването на ТД покрития е динамичен, непрекъснато развиващ се процес, изискващ постоянно и целенасочено усъвършенстване с оглед подобряване качеството на депонираните покрития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкции за термично депонирани покрития на GMA –Белгия.
2. Инструкции за експлоатация на системи на ТДП от GMA –Белгия.
3. Сертификат за метални сплави от GMA –Белгия.
4. Стандарт БДС EN 1395 – 2006 – термично напластяване чрез разпръскване.
5. ТДП - ЕМ 1110-2-3401/29.01.1999 г.- САЩ.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

инж. маг. Илиян ПЕЙЧЕВ
GMI “Technology”, „Шумен-Пътнически Автотранспорт”
e-mail: iliqn_pei4ev@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

DEVELOPMENT, STATE AND INNOVATION BY THERMAL CLADDED COATINGS IN BULGARIA

Ilian PEICHEV

Abstract: *The paper presents a systematic study of the essence, tribological properties, types and innovation solutions in the field of thermal cladded coatings worldwide, as well as their industrial application in Bulgaria.*

Keywords: *tribology, coatings, industry.*

РАЗВИТИЕ, СЪСТОЯНИЕ И ИНОВАЦИИ НА ТЕРМИЧНО ДЕПОНИРАНИТЕ ПОКРИТИЯ В БЪЛГАРИЯ

Илиян ПЕЙЧЕВ

Резюме: *Работата представлява системно изследване на същността, трибологичните свойства, видове и иновационни решения в областта на термодепонираните покрития в света и тяхното приложение в индустрията в България.*

Ключови думи: *трибология, покрития, индустрия.*

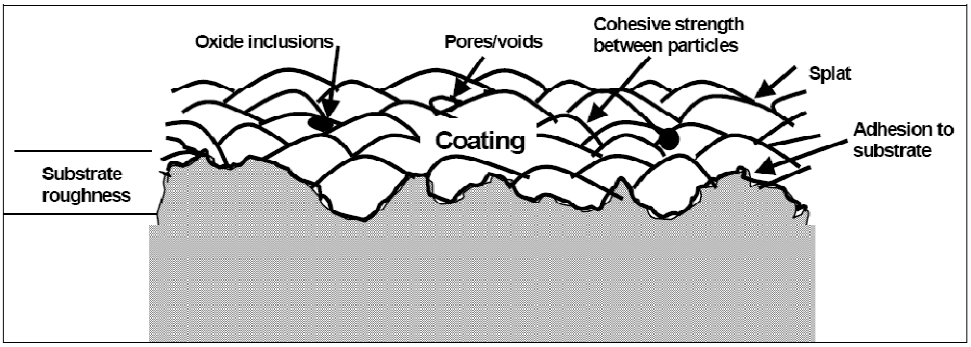
1. ВЪВЕДЕНИЕ

Настоящото изложение има за цел да запознае ремонтно-обслужващите звена на фирмите с производството, научните среди в техническите университети с фундаменталните принципи, залегнали в термичното депониране, видовете покрития и характеристиките им, процесите за термично депониране и употребата на покритията.

2. ОБЩО ОПИСАНИЕ НА ТЕРМИЧНОТО ДЕПОНИРАНЕ

Термичното депониране обхваща група процеси, при които подаваният на входа материал се загрява и изстрелва под формата на самостоятелни частици или капки върху дадена повърхност. Уредът (оръдието) за термично депониране генерира необходимата за процеса топлина с помощта на горими газове или електрическа дъга.

При нагряването си, материалите преминават в пластично или разтопено състояние и се увличат и ускоряват в струята от газове под налягане към субстрата. Частиците се удрят в субстрата, сплескват се и образуват тънки ламели (пръски), които се свързват и прилепват към неравностите на подготвения субстрат и към съседните пръски.



Фиг. 1. Типичен напречен разрез на термично депонирано покритие

При удара си в повърхността, капките се охлаждат и напластяват пръска върху пръска в ламинарна структура, образуваща термично депонираното покритие.

На фигура 1 е показано типично напречно сечение на ламинарна структура от окиси и включения. Образуваното покритие не е хомогенно и обикновено съдържа определено количество пори, а в случай че се депонира метал, покритието съдържа и известно количество от окисите на този метал.

Изходният материал може да бъде всяко едно вещество, което подлежи на разтопяване, включително метали, метални съединения, цименти, окиси, стъкло и полимери. Изходният материал може да бъде подаден под формата на прах, тел или пръти.

Връзката между субстрата и покритието може да бъде механична, химическа или металургична, или комбинация от трите.

Свойствата на депонираното покритие зависят от изходния материал за покритието, вида на използвания процес за термично депониране и параметрите му, както и от последвалата обработка на депонираното покритие.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ТЕРМИЧНО ДЕПОНИРАНОТО ПОКРИТИЕ

3.1. Твърдост, плътност и пористост

Термично депонираните покрития се използват често заради по-високата си плътност в сравнение с други покрития /бои/. Тяхната твърдост и ерозионна устойчивост ги прави особено ценни при приложения, изискващи висока износоустойчивост. Твърдостта и плътността на термично депонираните покрития обикновено е по-висока отколкото на субстрата, върху който е направено покритието. В случаите на термично депонирано метално покритие, твърдостта и плътността на покритието зависят от материала на покритието, използваното оборудване за термично депониране и параметрите на депониране.

По принцип, колкото по-висока е скоростта, толкова по твърдо и плътно е покритието. Скоростта на частиците при различните процеси за термично депониране в обратен ред е както следва: детонация, свръхзвуков газопламъчен процес (HVOF), дъгова плазма, дъга с тел и пламъчно депониране. Твърдостта и плътността могат също да зависят и от температурата на частицата и вида на използваният атомизационен газ. Пористостта на покритието зависи и от процеса на термично депониране, параметрите му и от термично депонирания материал.

3.2. Корозионна устойчивост

Металните термично депонирани покрития могат да бъдат или анодни или катодни спрямо лежащият под тях субстрат. Тъй като корозията настъпва в анода, анодните покрития ще корозират в корозивна среда, а катодът няма. Антикорозионните покрития корозират или се жертват, за да защитят субстрата. В някои случаи, корозионната устойчивост на термично депонирания материал е много важна. При много високи температури и при взаимодействия с химикали, термично депонираното покритие трябва да е много корозионно устойчиво. При подобни приложения, покритията създават корозионно устойчива преграда, за да защитят субстрата.

3.3. Адхезия

Термично депонираните покрития могат да имат много силна адхезия. Използваните поради високата си износоустойчивост специални покрития, положени чрез процес на термично депониране с висока скорост на частиците могат да имат адхезия като:

- За сплави на WC /Co - min 83 MPa
- За керамика- повече от 100 MPa
- За сплави на Ni,B, Si, Cr- повече от 200 MPa

4. ВИДОВЕ ТЕРМИЧНО ДЕПОНИРАНИ ПОКРИТИЯ

4.1. Корозионно устойчиви покрития от цинк, алуминий и цинково алуминиева сплав

Цинковите, алуминиевите и покритията от цинково алуминиева сплав са антикорозионни покрития с голямо значение, понеже са анодни спрямо стоманата. С други думи, те корозират предимно върху стомана, изпълнявайки ролята на жертвено покритие и предотвратявайки корозирането на лежащия под покритието стоманен субстрат. Цинкът е много по-активен метал в това отношение от алуминия. От друга страна, алуминиевите покрития са по-твърди, имат по-

добра адхезия и образуват защитен окисен пласт, който предотвратява самокорозирането. Сплавите на двата метала имат комбинирани свойства, в зависимост от съотношението на цинка и алуминия. Сплавта на цинка и алуминия 85-15 (тегловни проценти) се използва широко като материал за термично депониране, тъй като се смята за най-добрата комбинация от качествата на двата метала.

4.2. Полимерни покрития

Термично депонираните полимери или пластмасовите покрития са били разработени за инфраструктурни приложения. Термично депонираните полимери са термопластични прахове, депонирани посредством процес на пламъчно или плазмено депониране. Полимерът трябва да има температура на топене, подходяща за термично депониране. Освен това, полимерът не трябва да се полимеризира, разпада или овъглява в пламъка. Термично депонираните пластмаси не съдържат летливи органични съставки и по тази причина съответстват на изискванията за употреба в зони с действащи екологични ограничения. Термично депонираните полимерни покрития се използват за направата на покрития по стомана при много студени атмосферни условия, когато използването на боя е невъзможно.

4.3. Други термично депонирани покрития

За специални приложения се използват други материали за термично депониране. За постигане на повърхностна твърдост в някои детайли, като подложени на износване повърхности по селскостопанско оборудване, части на реактивни двигатели и машинни инструменти, широко се използват някои специални метални сплави. За постигане на високотемпературна корозионна устойчивост се използват някои специални феритни сплави. За медицинско протезиране и при създаването на импланти, като да речем изкуствени стави, се използват инертни керамични покрития. Нанасят се проводими метални покрития за екраниране на чувствително електронно оборудване от електрически и магнитни полета. Керамичните покрития се използват и за направата на покрития с много ниско триене по мрежовидни компоненти. Тези и множество други употреби правят от термично депониране една индустрия с голямо разнообразие в приложенията.

5. ПРОЦЕСИ НА ТЕРМИЧНО ДЕПОНИРАНЕ

Процесите на термично депониране могат да се категоризират на процеси с горене и на електрически процеси. Процесите с горене включват: пламъчно депониране, HVOF депониране и детонационно пламъчно депониране. Електрическите процеси включват дъгово депониране и плазмено депониране.

5.1. Процеси с горене

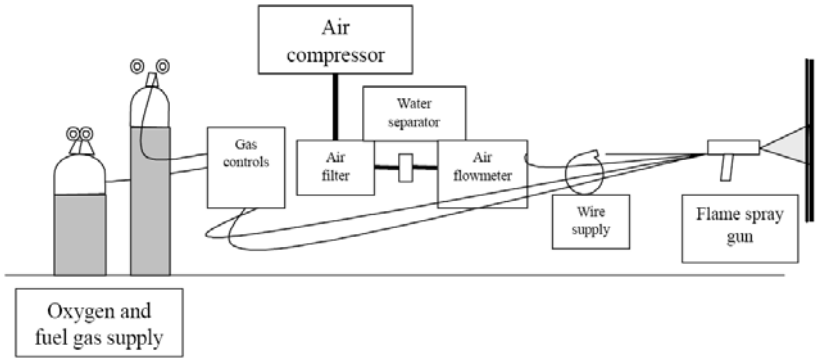
5.1.1. Пламъчно депониране

Най-старата форма на термично депониране, пламъчното депониране, може да се използва за депониране на широк кръг от изходни материали, включително метална тел и метални и неметални прахове. При пламъчното депониране, изходният материал се подава непрекъснато към върха на депониращото устройство, където се разтопява в пламъка, създаван от горимия газ и се изстрелва към субстрата в поток от атомизиращ газ. Най-често използваните горими газове са ацетилен, пропан и пропилен, керосин в комбинация с кислород. За атомизиращ газ най-често се използва въздух. Оксиацетиленовият пламък се използва широко при пламъчното депониране с тел, поради степента на контрол и високите температури, предлагани от този газ. Посредством регулиране на пламъка лесно може да се постигне окисляващ, неутрален или редуциращ ефект. По-нискотемпературния пропанов пламък може да се използва при метали с по-ниска точка на топене, като алуминий и цинк, както и при полимерите. Основните компоненти на системата за пламъчно депониране са устройството за пламъчно депониране, изходния материал и механизмът за подаването му, кислородът и горимите газове, регулирани с дебитомери и регулатори на налягането, както и въздушен компресор с регулатор.

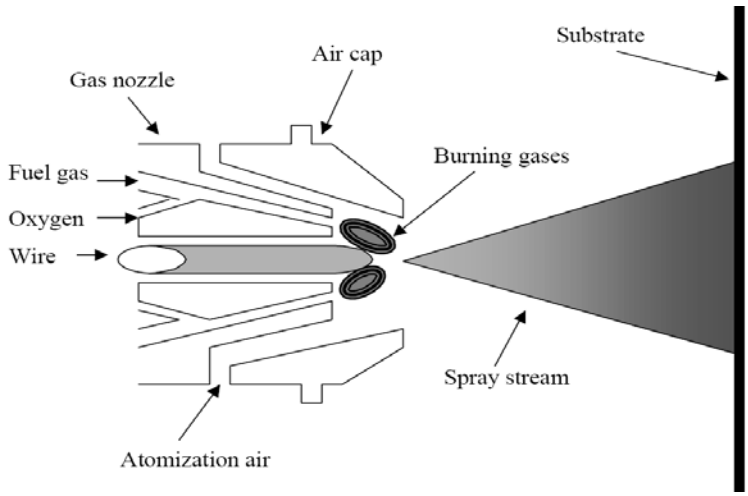
5.1.2. Пламъчно депониране на тел

Пламъчното депониране на тел позволява нанасянето посредством метода на пламъчно депониране на алуминий, цинк, цинково алуминиеви сплави и други сплави на основа Ni; Fe; Mo

и др. На Фиг. 2 е показана схемата на типична система за пламъчно депониране. На Фигура 3 е показано устройството на типично устройство за пламъчно депониране с тел. Устройството за пламъчно депониране с тел се състои от задвижващ блок с мотор и задвижващи валци за подаване на телта, газов блок с клапани, газова дюза и въздушен накрайник за контролиране на пламъка и атомизиращия въздух. В сравнение с дъговото депониране, пламъчното депониране на тел е като цяло по-бавен и по-скъп процес, поради сравнително по-високата цена на гориво-окислителната смес в сравнение с цената на тока. Въпреки това, системите за пламъчно депониране, имайки цена равна на една трета до една втора от цената на системите за дъгово депониране на тел, са значително по-евтини. Системите за пламъчно депониране са достатъчно компактни за да могат да се използват за нанасяне на висококачествени метални покрития за корозионна защита и в полеви условия.



Фиг. 2. Типична система за пламъчно депониране

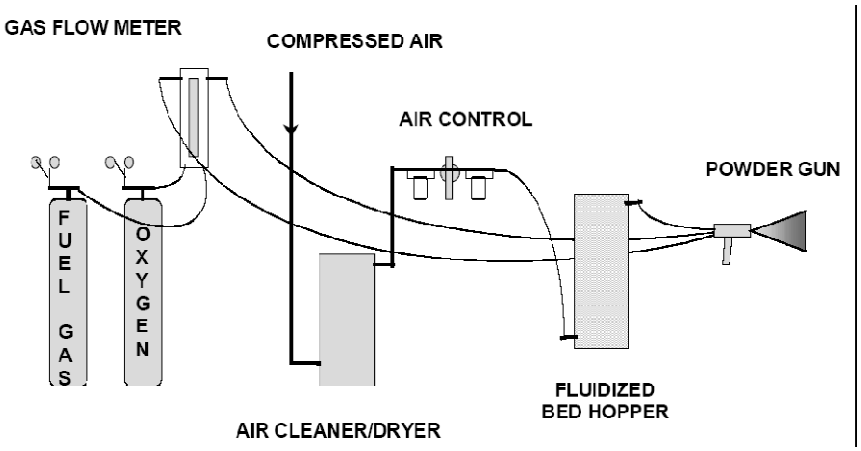


Фиг. 3. Типично устройство за пламъчно депониране

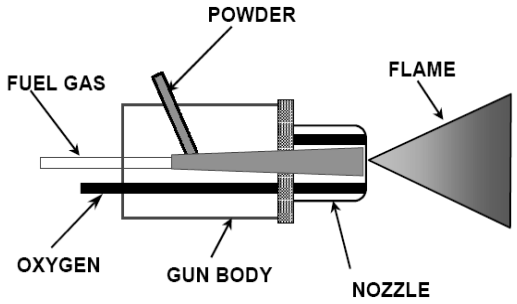
5.1.3. Прахово пламъчно депониране

Процесът за прахово пламъчно депониране е до голяма степен същият като процеса за пламъчно депониране на тел, с изключение на това, че се използва прахообразен изходен материал вместо тел, което не налага използването на атомизираща въздушна струя. Разтопеният материал за покритието се атомизира и изстрелва към повърхността в струята на горящия газ. Прахът се съхранява или в гравитачен бункер, прикачен към горната част на устройството за депониране или в по-голям отделен бункер използващ въздух за увличането на частиците. Устройствата за депониране на прахове са по-малки и по-леки от тези на другите системи за термично депониране. Производителността на праховото пламъчно депониране е като цяло по-ниска от тази на пламъчното депониране на тел и на дъговото депониране.

Скоростта на частиците е по-ниска и нанесените покрития са като цяло не толкова плътни и с не-толкова висока адхезия в сравнение с покритията, нанесени чрез другите методи за термично депониране. Използването на прахово пламъчно депониране трябва да бъде ограничено до локални ремонти на малки участъци от вече нанесени посредством термично депониране или галванизация покрития. На Фигура 4 е показана типична инсталация за прахово депониране, а на Фигура 5 е показан напречен разрез на устройството за депониране.



Фиг. 4. Типична инсталация за прахово депониране



Фиг. 5. Напречно сечение на устройство за прахово депониране

5.1.4. HVOF депониране

Един от най-новите методи за термично депониране, свръхзвуковия газопламъчен процес, HVOF, използва кислород и горивен газ под високо налягане. Типични горими газове са пропан, пропилен и водород.

Горящата газова смес се ускорява до свръхзвукова скорост и прахообразният изходен материал се впръсква в пламъка. Процесът минимизира използваната топлинна енергия и максимизира кинетичната енергия на частиците за депонирането на покрития с голяма плътност, ниско пористост и висока якост на свързване. HVOF системите са компактни и подходящи за полева употреба, но основно се използват в заводски условия. HVOF се използва широко за депониране на износоустойчиви покрития с приложение в компонентите на реактивните двигатели, парни турбини и др. Освен това HVOF покрития от метални сплави се прилагат за кавитационна защита на водни турбини и др. компоненти от машини и съоръжения.

5.1.5. Детонационно пламъчно депониране

При детонационното пламъчно депониране смес от кислород, ацетилен и прахообразен изходен материал се детонира чрез искра в камерата на устройството за депониране (оръдието) няколко пъти в секунда. Материалът се депонира при много висока скорост и води до нанасянето на покрития с много висока плътност. Типичните приложения включват износоустойчиви керамични покрития за високотемпературна употреба. Детонационното пламъчно депониране може да се извършва само в заводски условия.

5.2. Електрически процеси

5.2.1. Дъгово депониране

Дъговото депониране е като цяло най-икономичният метод за термично депониране на корозионно устойчиви метални покрития, включително цинк, алуминий и техните сплави. Енергийните разходи са по-ниски, а производителността по-висока от тези при конкурентните методи, като да речем пламъчното депониране на тел. Дъговото депониране може да се използва за нанасяне на електропроводими материали, включително метали, сплави и смеси

от метали с метални окиси. При дъговото депониране за разтапяне на материала за покритието се използва дъгата образуваща се между два тела. За атомизиране и транспортиране на стопилката до субстрата обикновено се използва газ под налягане, най-често въздух. Двата тела се подават непрекъснато в устройството за депониране при постоянна скорост. Използва се прав ток (DC) с ниско напрежение (18 – 40 V), като едната тел играе ролята на катод, а другата на анод. На Фигура 6 е показана типична система за дъгово депониране, състоящ се от източник на прав ток, изолирани захранващи проводници, система за подаване на телта, контролен блок и устройство за дъгово депониране. Качеството и свойствата на покритието могат да се контролират чрез промяна на атомизиращото налягане, формата на въздушната дюза, тока, скоростта на подаване на телта, скоростта на придвижване на устройството спрямо субстрата и отстоянието от него. Дъгово депонираните покрития притежават отлична адхезионна и кохезионна якост.

5.2.2. Плазмено депониране

Плазменото депониране се използва за нанасяне на покрития от материали с много висока температура на топене. Между електрода и депониращата дюза, която играе ролята на втори електрод, се образува дъга. Между електродите се пропуска инертен газ под налягане, който се нагрява до много висока температура и образува плазмен газ. Прахообразният изходен материал се въвежда в нагорещения газ, където се разтопява и транспортира до субстрата с много висока скорост. Системата за плазмено депониране се състои от енергоизточник, източник на газ, устройство за депониране и механизъм за подаване на материала за депониране. Плазменото депониране се извършва основно в производствени помещения. Процесът може да се използва за нанасяне на термоизолационни покрития, като да речем такива от циркониев оксид и алуминиев оксид, както и на износоустойчиви покрития, като покрития от хромов оксид.

6. ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТЕРМИЧНОТО ДЕПОНИРАНЕ

a. Термичното депониране намира широко приложение в множество области. Основната употреба на термично депонираните покрития е за корозионна защита. Покритията от цинк, алуминий и техните сплави са анодни спрямо стоманата и желязото и ги предпазват от корозия в множество работни среди, включително от атмосферни влияния, при потапяне в прясна и солена вода, като и във високотемпературни приложения. Покритията от алуминий са често използвани в морска среда. Те служат за корозионна защита на множество корабни компоненти. Тъй като тези материали са анодни спрямо стоманата, тяхната пористост не влияе върху способността им да защитават субстрата от черни метали. Покритията от цинк и цинково алуминиева сплав могат да корозират ускорено в силно замърсени промишлени атмосфери или химически среди, където pH е или твърде високо, или твърде ниско. По тази причина, върху тези материали обикновено се нанася боя или запечатка, които да подобрят техните характеристики.

b. Катодните покрития, като медно никеловите сплави и неръждаемите стомани, също могат да се използват за защита на нисковъглеродните стомани от корозия. Тези материали трябва да получат защитно покритие, за да се предотврати проникването на водата в покритието. Материалите са особено твърди и често използвани в приложения, изискващи както корозионна, така и износоустойчивост.

c. Алуминиевите покрития често се използват за корозионна защита при температури до 660°C (1220°F).

d. Термично депонираните покрития, съдържащи цинк и/или мед се използват за предотвратяване на вредното въздействие от прясна и солена вода. Цинкът в цинково алуминиевата сплав в съотношение 85-15 не допуска полепването и увреждането, предизвикано от зебровите миди по стоманените субстрати. Тъй като тези покрития са трайни и предотвратяват корозията, тяхната употреба се препоръчва за всички съоръжения. Покритията съдържащи мед и месинг също имат доказано въздействие върху полепващите организми, но не се препоръчват за употреба върху стомана, поради галваничната реакция между двата метала.

e. Цинковите термично депонирани покрития понякога се използват за предотвратяване на корозията по арматурната стомана за бетон. При подобни приложения, цинкът се отлага върху бетона и се свързва електрически към стоманата.

f. Термично депонираните покрития често се използват за ремонт на износени повърхности. Често приложение е възстановяването на размерите на износени валове. Металът се депонира върху частта докато тя се върти в струг. Възстановената част след това

се обработва машинно до достигане на необходимия диаметър. По подобен начин, термично депонираните покрития могат да се използват за възстановяване на контурите на леярски калъпи, както и за ремонт на износени отвори.

g. Термично депонираните покрития се използват също и в електрически приложения. Електропроводимите метали, като медта например, могат да се използват като проводници. Керамичните материали могат да се използват за електрическа изолация. Проводимите материали се използват също и за електромагнитно екраниране на чувствителната електроника.

h. Много твърдите и плътни термично депонирани покрития се използват в някои експерименти като кавитационно устойчиви материали, съвместно с технологии за заваръчно напластяване в качеството им на техника за ремонтиране.

7. ИНОВАЦИИ НА ТЕРМИЧНОТО ДЕПОНИРАНЕ В БЪЛГАРИЯ

a. Ефективна защита от термична корозия до 1000^0 С и защита срещу високоабразивно износване на мембранни панели на ДРЧ на ПК на ТЕЦ- енергетикаизпълнени от 2005 г.

b. Ефективна защита от термична корозия и абразивно износване на работни повърхности на димни вентилатори тип ТА ICD18,5 и тип SAF 40-25-1 за КА на ТЕЦ.

c. Ефективна защита от високоабразивно износване на работни лопатки на работно колело за мелничен вентилатор за КА на ТЕЦ.

d. Ефективна защита от абразивно, корозивно и кавитационно износване на лопатки, работни колела, дифузори, лабиринтни уплътнения и корпуси на детайли от химическата промишленост - ротор 6 степенен за турбокомпресор за CO2, ВПФЛ и др.

e. Ефективна защита от абразивно и ерозийно износване на детайли от въздушни вентилатори – работни колела, лопатки и корпуси- от циментена, химическа промишленост и енергетиката.

f. Възстановяване на износени участъци от лагерни възли, работни повърхнини на помпи - работни повърхнини от лопатки на работни колела и корпуси от ХВ промишленост, минна, химическа промишленост, водоснабдяване.

g. Възстановяване на електродвигатели, лагерни възли на ротори, корпуси и капаци чрез ТД процес /студен/- енергетика, ХВП, химическа и др.

h. Възстановяване на шибърни кранове чрез нанасяне на износоустойчиво твърдосплавно топлоустойчиво покритие - енергийната промишленост.

i. Възстановяване на работни повърхнини на валове и шнекове чрез придаване на нови повърхностни характеристики и увеличаване няколко пъти на жизнения цикъл от хартиената, фармацевтичната, циментовата, хранително-вкусовата промишленост.

j. Възстановяване на износени участъци и придаване на нови повърхностни характеристики на детайли от автомобилната, машиностроителната и селскостопанската промишленост.

k. Други многообразни детайли от машини и съоръжения от цялата индустрия чрез придаване на нови повърхностни характеристики чрез ТДП /студен и горещ/ и увеличаване на жизнения цикъл от 3 до 8, а в някои случаи и до 12 пъти.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкции за термично депонирани покрития на GMA –Белгия.
2. Инструкции за експлоатация на системи на ТДП от GMA –Белгия.
3. Сертификат за метални сплави от GMA –Белгия.
4. Стандарт БДС EN 1395 – 2006 – термично напластяване чрез разпръскване.
5. ТДП - ЕМ 1110-2-3401/29.01.1999 г.- САЩ.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

инж. маг. Илиян ПЕЙЧЕВ
GMI “Technology”, „Шумен-Пътнически Автотранспорт”
e-mail: iliqn_pei4ev@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

LUBRICATION OF A WHEAT ADAPTER (HEADER) AS AN ELEMENT OF PREVENTIVE MAINTENANCE

Dragan ZHIVKOVICH **Vyara POZHIDAEVA** **M. MEDENICA**

***Abstract**: Lubrication of agricultural equipment is part of preventive maintenance, the goal of which is to prevent the clogging of elements in friction. The work of agricultural equipment is limited to a certain period of time, which besides high productivity also requires the greatest possible reduction of standstills. The correct maintenance of agricultural equipment enables more economical work and performance of planned agricultural operations in agritechnical conditions which usually have a very short deadline. This paper shows an example for lubrication of a crop adapter (header), and also the statistical analysis of the influence of a "failure" on its overall capacity.*

***Keywords**: lubrication, maintenance, crop adapter (header).*

1. INTRODUCTION

The purpose of using lubricants for lubrication of agriculture machines is to reduce the friction between two contact surfaces on agriculture machine. By usage of lubricants the friction between two elements is replaced by friction inside of a fluid. The lubrication is a part of the preventive maintenance of equipment and must be performed in foreseen time intervals. Lifetime of agriculture machines depends mainly on the intensity of friction process on frictional elements of production and transportation equipment, and correct lubrication considerably extends this lifetime. Economy of production requires the whole available capacity of agriculture machines to be in working condition i.e. agriculture machines to be used as intensively as possible. During the utilization of agriculture machines it appears aging of materials, wearing of some guides or elements and technological and operating efficiency of the equipment is being reduced. It provokes stoppages in work. Those breakes cause additional costs at replacement and repair of parts but also the costs due to stoppages in production process resulted from waiting for repairing of agriculture machines.

2. WHEAT ADAPTER (HEADER)

The main task of a wheat header is to transport the mown wheat mass to the thresher of the combine (figure:1). The first toch of the header with the wheat mass through a winch that has the task to tilt the wheat stems towards the cutting device which then cuts is off. After being cut off (mown) the wheat mass falls intothe trough of the header, where it is picked up by a helical transporting device and transported to the center of the header, i.e. the inclined header tranporting device (header elevator). The inclined header transporting device picks up the wheat mass and takes it to the combine thresher.

Various header types are manufactured, depending on the type of combine. Headers mainly differ in the width of their engagement. The engagement width depends on the capacity of the combine, i.e. how much crop it can process per second.



Fig. 1**: **Illustration of a wheat adapter (header)

The basic parts of a wheat adapter are shown in *figure 2*.

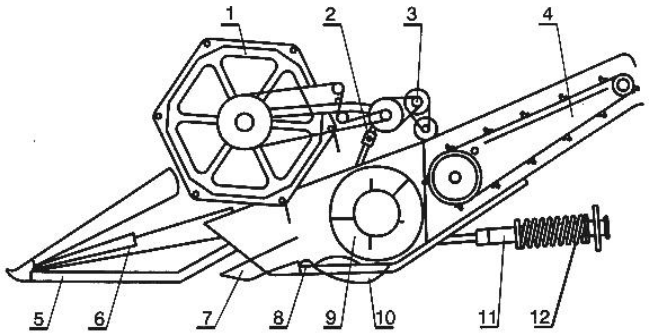


Fig. 2*: *Basic parts of a wheat adapter (header)
(1-winch; 2-bi-directional hydrocylinder;3- RPM control; 4-header elevator; 5-distribution device; 6-input and output spacer; 7-ear lifter; 8-lever with knife; 9-helical transporting device; 10-slider; 11-control device; 12-spring)

3. MAINTENANCE OF WHEAT ADAPTER (HEADER)

Maintenance may be defined as the need to undertake technical and other activities the primary objective of which is to provide the soundness of equipment in the production process, with minimum maintenance costs caused by standstills due to failure repair or because of costs related to maintenance, that are not directly caused by standstills.

Maintenance has the task to remove failures and prevent them from occurring, to provide reliable functioning of the production system during its work and to eliminate all standstills that could occur during the exploitation process.

Basic objectives of an organized maintenance process are:

- minimizing costs because of standstills in operation due to breakdowns that are not foreseeable,
- providing the necessary level of reliability of production equipment,
- achieving a better product quality,
- increasing the work productivity.

4. PREVENTIVE MAINTENANCE

The basic principle to be respected in preventive maintenance is that it has to contribute to total prevention or at least to the reduction of the number of unexpected failures. The realisation of preventive maintenance for a wheat (header) is performed following a certain procedure, system and rhythm (*table1*:). Besides the control function, an important part of preventive maintenance are also lubrication and cleaning. It has been shown that lubrication which provides an appropriate amount and quality of lubricant on all places to be lubricated, is the best preventive maintenance.

5. LUBRICATION AS PART OF PREVENTIVE MAINTENANCE

Lubrication is a procedure that has the goal to replace material wear due to friction of two elements with friction within the fluid, by using lubricants. That slows down the wearing process on often very expensive elements, and increases the working capability of the whole system. The lubrication procedure includes the following activities:

- Cleaning of: lubrication installations (pumps, filters, conducts etc.), contacting surfaces of elements of the machine under friction,
- Checking the type of lubricant and its quality,
- Checking the amount of lubricant in the system and add some, if necessary,
- Replacement of lubricant after a certain, given period of time.

Knowledge about the friction elements that are wearing out, and the wearing process itself enables creating conditions for slowing down these processes. To produce efficiency in the operation of equipment, it is necessary to perform lubrication within strictly determined time intervals. During lubrication one must be careful that each part is lubricated with a certain lubricant, in a certain amount and within a given time interval.

The following two issues affect lubrication:

- Type of lubricant or the characteristics of the lubricant as are: temperature i viscosity.
- Type of element that is lubricated, the material that it is made of and its geometrical shape.

Table 1 Preventive maintenance activities

Maintenance time interval	Maintenance activity	No. of workers	Operating time (min)
daily	Lubrication of all joints, chains, belts and all moving parts	1	30
	Oil check in hydraulic installation	1	10
as needed	Lubrication of all moving parts with a smaller rpm	1	15
	Lubrication of joints	1	5
	Lubrication of chains	1	10
every 5 work. hours	Lubrication of shaft bearings and pick-up mechanism	1	5
	Lubrication of cutter drive	1	5
every 10 work. hours	Lubrication of winch variator	1	5
	Lubrication of drum variator and spiral conveyer	1	10
	Lubrication of driving variator block	1	5
every 50 work. hours	Check the weariness of moving parts and remove possible damage	1	10
	Check chains, belts for axial alignment and tension	1	10
	Lubricate header elevator	2	10
every 100 work. hours	Check for possible bends and deflection	1	5
	Lubricate all bearings on combine	2	30
every 250 work. hours	Lubrication of flat belt tensioners	1	5
	Lubrication of rear wheel hub	1	5
	Lubrication of all bearing covers	2	20
every 500 work. hours	Change oil in cutter drive housing	1	20
	Change oil in hydraulic installation	1	20
	Check hydraulic installation	2	60

A maximum of ten spots for individual, i.e. manual lubrication, is allowed on one machine. All other lubrication systems should be:

- With own drive mechanism or machine drive and
- With an automatic system, which in the case of failure turns off the machine. The machine operator gets the information about the failure spot on the lubrication system through visual or audio signal.

To avoid eventual errors, that can occur during lubrication, it is necessary to implement an adequate procedure, which has to be defined first:

- all places that need to be lubricated,
- lubrication methodology,
- lubrication method,
- lubrication time,
- type of lubricant,
- quantity of lubricant needed,
- worker's safety during lubrication,
- who does the lubrication,
- necessary documents according to which lubrication is performed and also record of a completed lubrication,
- procedure relating to time and method of purchasing and storing the appropriate lubricant,
- who can change the lubrication procedure and the lubricants,
- methodology for fast inrevention in case of need
- who is responsible fr the execution or non-execution of related lubrication activities.

6. CRITERIA FOR EVALUATING MAINTENANCE

One of the most interesting questions is the evaluation of the maintenance quality on technical systems in time, i.e. measuring the maintenance quality.

Measuring means comparing a known value to an unknown value that is examined. Measuring maintenance quality is not always an easy task. To be able to measure maintenance quality, certain criteria have to be defined in advance, based on which it will be possible to assess the maintenance quality. The most important criteria for evaluating quality are the following:

- reliability of a technical system,
- intesity of failure occurence,
- availability of equipment,
- level of documentation etc.

7. READINESS

Readiness is an element of efectiveness of a technical system and it is one of the basic characteristics of any maintenance system. As readiness also depends on realiability, it represents the summary measure of quality of a means regarding maintenance and reliability.

The readiness of a technical system is in fact its readiness to start operating at any point of time and to operate correctly. Readiness is a characteristic of random nature, because the factors that determine its value are random. Like for reliability, for readiness there is also a great number of definitions. Generally, readiness can be described using the following definition:

Readiness is the probability that a system funtions in a satisfying way or that it is ready for use at any point of time, when used i a prescribed way. The basis for the determination of readiness are the total time (calendar time of use), operating time and time spent in failure. The mathematical readiness can be described with the follwoing expression:

$$G(t) = \frac{t_r}{t} = \frac{t_r}{t_r + t_0} = \frac{\sum t_{ri}}{\sum t_{ri} + \sum t_{0i}} \quad (1)$$

where:

G(t) is the readiness function,

t_R is the operating time, includes the time when the device is used and the time when it is not used but is ready for use (except the time spent at a storage facility),

t_O is the time spent in failure,

t is the total time (calendar time) (*figure:*).

From the standpoint of maintenance, sometimes it is not enough to express readiness only as a realtion between operating time and total time. Often it is necessary analyse certain factors through readiness which is a measure of the maintenance system quality. As the operating time and time spent in failure are complex values, readiness can be expressed using adequate components of that time, which define certain features of the maintenance system more precise. In that regard, *internal* and *operating (actual) readiness* are of great importance.

Internal readiness relates to the active maintenance time (t_{OA}) and includes only those time intervals which are directly influenced by the technical system itself, excluding elements of logistical support. Internal reaqdiness depends on the design, realiability and other features of the actual technical system. As such, it is an important characteristic of the maintenance system, which depends on the features of the technical device, therefore being also called *internal* or *own readiness.* Mathematically it can be expressed by equations:

$$G_U(t) = t_R/t \quad (2)$$

and

$$G_U(t) = t_R/(t_R + t_{OA}) \quad (3)$$

where:

$G_U(t)$ is the internal readiness function,

t_R is the operating time, includes the time when the device is used and the time when it is not used but is ready for use (except the time spent at a storage facility),

t_{OA} is the active maintenance time (preventive and corrective),

t is the total time (calendar time).

Operating readiness is the probability that a system,when used in specific conditions, will function in a satisfyng manner in any moment of time or will be ready for use when required.

Operating readiness is very similar to availability, the difference lying in the fact that operating readiness includes the possibility that the system is stored for a certain time, which is common for

agricultural equipment. As the majority of agricultural equipment is stored most of the time, operating readiness is suitable for defining the reliability of agricultural equipment. We can write down operating readiness in a mathematical from as follows:

$$G_O(t)= (t_K + t_S) / (t_K + t_S + t_F), \quad (4)$$

where:

t_K (h) - time that system is in use,
t_F (h) - time that system is out of work,
t_S (h) - time that system is not in use..

"Different from the efficiency of a system that considers probability during an interval of time, operating readiness considers probability at a single moment of time. Besides that, while the efficiency of a system also regards the capaility of the system, operating readiness considers only the sistem`s readiness for a certain task, at a certain moment of time".

8. RESEARCH RESULTS

The research on availability of wheat headers was conducted at an agricultural facility with 1500 hectares of land and 4 combines of the Z190 type accompanied by four 18-feet wheat headers and one John Deere combine and 20-feett wheat header. Observed were the failure-related time intervals on wheat headers, and the average values per year per header are given in *table 1.*

To ensure the necessary quality, it is necessary to include all activities in the organizational instructions and procedures. Some of the pages of a working instruction for lubrication of wheat adapter (header) (according to the system of quality) look as shown in *figure*:3 :

9. INSTRUCTIONS (PROCEDURE) FOR WHEAT ADAPTER LUBRICATION

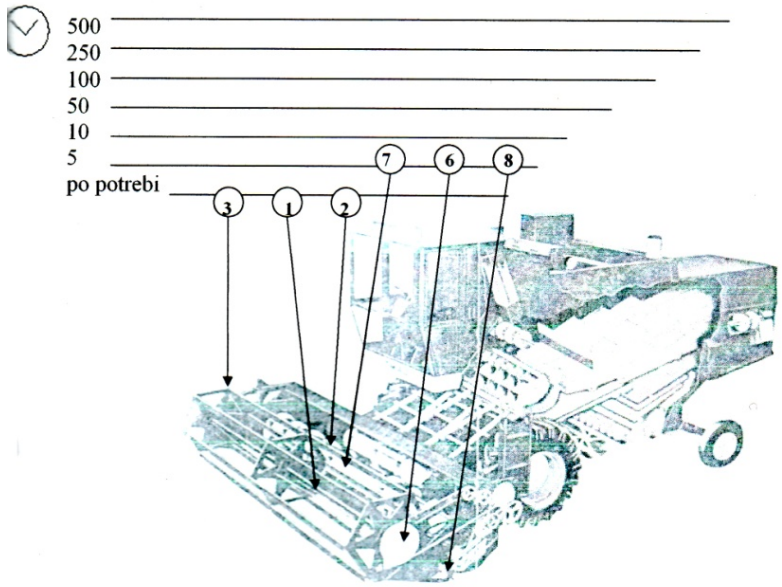


Fig. 3. One page with procedure for wheat adapter (header) lubrication

Line No	Place of lubrication	Type of lubricant	Number of places
Lubrication as needed			
1.	Scythe	Oil SAE-30	1
2.	Rake elements	Oil SAE-30	1
3.	Propeller socket	Oil SAE-30	1
4.	Fits	Oil SAE-30	1
5.	Chains	Oil SAE-30	1
Every 5 work hours			
6.	Propeller seat	Grease KLM-3	2
7.	Rake mechanism	Grease KLM-3	2
8.	Drive scythe	Grease KLM-3	6

Analyzing the data shown in *table 1* and *table 2* we can see that the average standstill time of wheat headers due to emergency maintenance was 19,5 hours per year. As the harvesting period is approximately 30 days (one working day is 10 h long) long, the capacity of the wheat headers is reduced by 6,5%, which is a significant percentage, which can be reduced through better and more organized maintenance, resulting in lower production costs.

Operating readiness t can be determined using the following formula

$$G_O(t)= (t_K +t_S) / (t_K +t_S +t_F), \quad (5)$$

$$G_O(t)= (300 +t_S) / (300 +t_S +19,5),$$

where:

Go - operating readiness,
tk =300 (h/god)- time that system is in use,
t_S = 3280,5 (h/god)- time that system is not in use.
t_F =19,5 (h/god)- time that system is out of work.

Table 2

Part description	No. of failures per year	Failure repair time (min)	average failure repair time (h/year)	Type of failure
Mower plate	2	60	2	broken or worn out.
Mower housing	3	180	9	fork broken bearing broken
Countercutting plates	1	30	0,5	plate broken
Helical transp. device fingers	0,5	60	0,5	Finger broken
Mower drive belt	0,5	60	0,5	Belt bursts
Hydraulic cylinders	2	90	3	Gaskets are leaking
Hydraulic fittings	1	60	1	Failures on connections
Other	3	60	3	

10.CONCLUSION

In process of the preventive maintenance of agriculture machines one important part has its lubrication. Optimal lubrication of agriculture machines in prescribed time intervals and prescribed quantities of lubricants enables the reduction of wearing of working elements for agriculture machines being in dynamic contact. Reducing the wearing of working elements for machine agricultures their lifetime is extended, i.e. number of stoppages is reduced and their capacity and efficiency are increased but production cost are reduced.

Introduction of Quality Systems in lubrication system of machine agricultures and other equipment and its consistent use is necessary and it is aimed to reduce unaccurateness, i.e. to prevent even possibility for appearing such a unaccurateness. Organization and working instructions for lubrication of agriculture machines define procedures, competences, responsibility and documents by which is regulated the procedure of lubrication of agriculture machines.

REFERENCES

1. Živković, D., V. Pozhidaeva. R. Molnar. Documentation Accompanying the Lubrication of Agricultural Machines and Requirements Relating to Quality Sistem Standards. 6th International Conference on Tribology **Balkantrib-08**, Tehnical University Sofia-Association Balkan Tribology, Sozopol, **2008**.
2. Vujanović, N., Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojnoizdavački centar, **1990**, Beograd, 1990.

CORRESPONDENCE

Prof. Dr. Eng. Dragan ZHIVKOVICH
High Technical School, Novi Beograd, Serbia
e-mail: zivkkev@drenik.net

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

STABILITY ANALYSIS OF RIGID ROTOR ON EHD TURBULENT JOURNAL BEARINGS

Juliana JAVOROVA **Vassil ALEXANDROV** **Kiril STANULOV**
Bohumil TARABA **Bogdan SOVILJ**

Abstract: *This paper presents a numerical study of the performance of a dynamically loaded finite journal bearing under turbulent conditions. The analysis is extended to a bearing with thin elastic layer on the shaft and its radial distortions are taken into consideration. The modified Reynolds equation is worked out on the base of Constantinescu's turbulent mode and it was solved numerically, considering different values of journal speeds, materials and viscosities. Consequently, the finite perturbation technique was used to determine the eight values of oil film stiffness and damping coefficients. By using the dynamic coefficients the stability characteristics of the rotor-bearing system and the critical speed were calculated.*

Key Words: *bearings, turbulence, elastohydrodynamic (EHD) lubrication, stability.*

1. INTRODUCTION

It is well known that in recent years many lubrication theories introducing turbulent effects have been presented because of increasing of the speed and scale of machines [1-6, etc.]. There are many papers which refer to performance characteristics of turbulent bearings, but only little number of them is in the field of dynamic behavior of finite length journal bearings [7-11, etc.]. Along with that it is important to consider in the analysis and additional major factors affecting the HD journal bearing performance like thermal and elastic deformation, which cause a reduction in pressure, generated in the oil film [11-15, etc.]. With regard to all mentioned, the purpose of the present work is to study the effect of interaction of the turbulent conditions and shaft's liner elastic deformation on the dynamic performance (film forces, stiffness and damping coefficients, critical speed) of HD journal bearings.

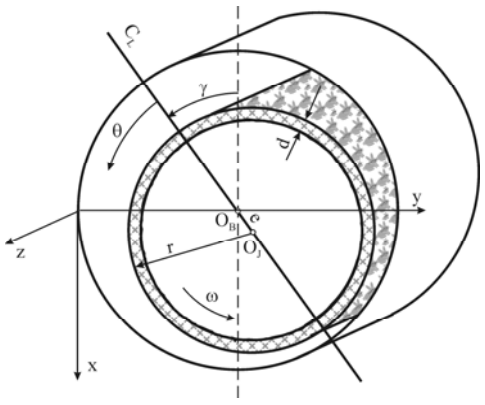


Fig. 1. Journal bearing with a soft layer on the shaft

In the current study the problem is investigated for a Newtonian lubricant under isothermal and isoviscous conditions. The bearings' shaft is covered with a thin resilient layer, whose radial displacements are of the same order of magnitude as the film thickness (Fig. 1). They are determined in accordance to the Vlassov model of an elastic foundation [11]. The turbulence effects are taken into account by modified Reynolds equation governing the film pressure, such the latter is derived in [18] on the base of Constantinescu's turbulent lubrication model.

2. MATHEMATICAL MODEL

2.1. Modified Reynolds equation

The Reynolds equation, which governs the pressure distribution, is obtained from the integral form

Nomenclature

c	Radial clearance , [m]	x, y, z	Orthogonal Cartesian coordinates
C_{ij}	Oil film damping coefficients	u, v, w	Velocity components, [m.s^{-1}]
d	Shaft liner thickness, [m]	W	Load-carrying capacity, [N]
E	Young's modulus, [Pa]	$\bar{W}$	Dimensionless load-carrying capacity
e	Eccentricity, [m]		$= W\left(c/r\right)^2 / 6\eta\omega rL$
h	Film thickness, [m]	$\alpha = 2r/L$	Diameter to length ratio
H	Dimensionless film thickness $= h/c$	$\beta = c/r$	Clearance ratio
k_x, k_z	Turbulent coefficients	γ	Attitude angle, [rad]
K_{ij}	Oil film stiffness coefficients	$\varepsilon = e/c$	Eccentricity ratio
L	Bearing axial length, [m]	$\theta = x/r$	Circumferential coordinate
m	Mass of rotor per bearing, [kg]	δ	₋iner surface points radial displacement, [m]
p	Hydrodynamic pressure, [Pa]	υ	Kinematical viscosity of the lubricant, [m^2/s]
r	Shaft liner outer radius, [m]	η	Dynamic viscosity of the lubricant, [Pa.s]
Re	Global Reynolds number $= \omega rc/\upsilon$	μ	Poisson's ratio
Re_h	Local Reynolds number $= \omega rh/\upsilon$	Π	Dimensionless pressure $= p.\left(c/r\right)^2 / 6\eta\omega$
S	Sommerfeld number	ω	Shaft angular velocity, [s^{-1}]

of continuity equation at assumption for high values of Reynolds number ($\mathrm{Re} > 2.10^3$). For dynamically loaded finite journal bearing under turbulent conditions the modified Reynolds equation can be written as [8]:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{h^3}{k_x \eta}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{h^3}{k_z \eta}\frac{\partial \bar{p}}{\partial z}\right)=6\omega r\frac{\partial h}{\partial x}+12\frac{\partial h}{\partial t}, \tag{1}$$

where $\bar{p}$ is the mean turbulent pressure.

Here the turbulent coefficients k_x and k_z are function of the local Reynolds number Re_h and by model of Constantinescu

$$k_x = 12 + 0{,}53\left(k^2\,\mathrm{Re}_h\right)^{0{,}725}; \tag{2}$$

$$k_z = 12 + 0{,}296\left(k^2\,\mathrm{Re}_h\right)^{0{,}65}, \tag{3}$$

where k is a the mixing length empirical constant, which is given as

$$k = 0{,}125\,\mathrm{Re}_h{}^{0{,}07}. \tag{4}$$

It is known, that for laminar flow $k_x = k_z = 0$ and from Eqn (1) can be obtaining the classical Reynolds equation.

For the numerical solution the Eqn (1) must be represent in dimensionless form as follows:

$$\frac{1}{\bar{k}_x}\frac{\partial^2\Pi}{\partial\theta^2}+\alpha\bar{k}_z\frac{\partial^2\Pi}{\partial z_1^2}+\frac{3}{H.\bar{k}_x}\frac{\partial H}{\partial\theta}\frac{\partial\Pi}{\partial\theta}+\alpha\frac{3}{H.\bar{k}_x}\frac{\partial H}{\partial z_1}\frac{\partial H}{\partial z_1}=\frac{1}{H^3}\frac{\partial H}{\partial\theta}+\frac{1}{H^3}\frac{\partial H}{\partial\tau}. \tag{5}$$

2.2. Thickness of the oil-film

The approach used in the present study aims to superimpose the deformation of the layer on the

shaft, caused by hydrodynamic pressure generated onto the oil film thickness. The film thickness is then modified to account for the estimated elastic deformation as follows:

$$h(x,z,t) = c + e\cos\theta + \delta(x,z,t). \tag{6}$$

The last term of this equation takes into account the influence of the elastic layer deformation. For numerical solution the above equation is modified to:

$$H = 1 + \varepsilon\cos\theta + \bar{\delta}. \tag{7}$$

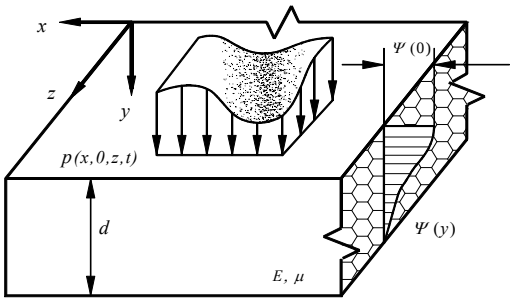


Fig. 2. Model of elastic layer with a limited thickness

The liner's surface point's radial displacements are determined in presented analysis according to the Vlassov three-dimensional model of elastic foundation (See Fig. 2).

The solving of the last equation for the case of thin layer is worked up in details in [11], because of which only the final form is given here, namely

$$\bar{\delta} = \frac{6\eta\omega r^2}{c^3}\,\frac{(1-2\mu)(1-\mu^2)d}{E}\,\Pi. \tag{8}$$

2.3. Load-carrying capacity and attitude angle

Integration of the dimensionless pressure over the bearing area gives the non-dimensional load-carrying capacity, calculated by:

$$\bar{W} = \sqrt{\bar{W}_1^2 + \bar{W}_2^2} = \frac{\beta^2}{6\eta\omega r L}W. \tag{9}$$

where $\bar{W}_1$ and $\bar{W}_2$ are the components along and perpendicular to the line of centers and they represent respectively as:

$$\bar{W}_1 = -\int_{-1}^{1}\int_{0}^{2\pi}\Pi\cos\theta\, d\theta dz_1;$$

$$\bar{W}_2 = \int_{-1}^{1}\int_{0}^{2\pi}\Pi\sin\theta\, d\theta dz_1, \tag{10}$$

Consequently, the attitude angle γ is calculated by

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\bar{W}_2/\bar{W}_1\right) \tag{11}$$

and the Sommerfeld number may be defined as [13]

$$S = \frac{\eta\omega LD}{2\pi W\beta^2} = \frac{1}{\pi\bar{W}}. \tag{12}$$

2.4. Dynamic stiffness and damping coefficients

When the journal vibrates, a squeeze-film pressure is generated in addition to the wedge-film pressure. These pressures give rise to spring and damping forces of the oil film and therefore

influence the stability of the rotor-bearing system. The components of the oil-film forces can be written as:

$$W_x = W_x\left(x, y, \dot{x}, \dot{y}\right);$$

$$W_y = W_y\left(x, y, \dot{x}, \dot{y}\right) \tag{13}$$

A linear function can be expressed, for small amplitude of vibration, of the displacement and velocity of the journal center by using a first-order Taylor series expansion. The force system has the following form:

$$W_x = W_{x0} + \left(\frac{\partial W_x}{\partial x}\right)_0 \Delta x + \left(\frac{\partial W_x}{\partial y}\right)_0 \Delta y + \left(\frac{\partial W_x}{\partial \dot{x}}\right)_0 \Delta \dot{x} + \left(\frac{\partial W_x}{\partial \dot{y}}\right)_0 \Delta \dot{y};$$

$$W_y = W_{y0} + \left(\frac{\partial W_y}{\partial x}\right)_0 \Delta x + \left(\frac{\partial W_y}{\partial y}\right)_0 \Delta y + \left(\frac{\partial W_y}{\partial \dot{x}}\right)_0 \Delta \dot{x} + \left(\frac{\partial W_y}{\partial \dot{y}}\right)_0 \Delta \dot{y}. \tag{14}$$

The subscript (0) denotes that the load components and the partial derivates are evaluated at the equilibrium position. The linear stiffness and damping coefficients are then defined as:

$$K_{xx} = \left(\frac{\partial W_x}{\partial x}\right)_0; \qquad K_{xy} = \left(\frac{\partial W_x}{\partial y}\right)_0; \qquad K_{yx} = \left(\frac{\partial W_y}{\partial x}\right)_0; \qquad K_{yy} = \left(\frac{\partial W_y}{\partial y}\right)_0;$$

$$C_{xx} = \left(\frac{\partial W_x}{\partial \dot{x}}\right)_0 \quad C_{xy} = \left(\frac{\partial W_x}{\partial \dot{y}}\right)_0; \qquad C_{yx} = \left(\frac{\partial W_y}{\partial \dot{x}}\right)_0; \qquad C_{yy} = \left(\frac{\partial W_y}{\partial \dot{y}}\right)_0. \tag{15}$$

A non-dimensional form of the stiffness and damping coefficients is given by

$$k_{ij} = K_{ij}\frac{c}{W}; \qquad c_{ij} = C_{ij}\frac{c\,\omega}{W}, \qquad i, j = x, y. \tag{16}$$

When the partial derivates at the static equilibrium point are given, k_{ij} and c_{ij} can be determined. Using the finite perturbation method, mentioned in detail in [16], these partial derivates are easily determined and the stiffness and damping coefficients can thus be obtained. Another non-dimensional form of the stiffness and damping coefficients is convenient to use, and has the following form:

$$\tilde{k}_{ij} = \frac{k_{ij}}{S} = K_{ij}\frac{c}{S.W} = K_{ij}\frac{\pi\left(c/r\right)^3}{\eta\omega L};$$

$$\tilde{c}_{ij} = \frac{c_{ij}}{S} = C_{ij}\frac{c}{S.W} = C_{ij}\frac{\pi\left(c/r\right)^3}{\eta L}. \tag{17}$$

The effect of these perturbations on the oil film reaction forces can be obtained and the dynamic oil-film coefficients can be determined [17].

2.5. Bearing stability

The non-dimensional rotor critical speed, above the whirling motion begins is determined as a function of the oil-film stiffness and damping coefficients [18]. According to this non-dimensional form, the stiffness and damping coefficients only depend on the bearing geometrical parameters. The threshold of stability for the rotor supported by two identical bearings, after Lund [18], is given by:

$$\bar{\omega} = \omega_{cr}\sqrt{\frac{mc}{W}} = \sqrt{\frac{k_0\left(c_{xx}c_{yy} - c_{xy}c_{yx}\right)}{\left(k_{xx} - k_0\right).\left(k_{yy} - k_0\right) - k_{xy}k_{yx}}}\,, \tag{18}$$

where

$$k_0 = \frac{k_{xx}c_{yy} + k_{yy}c_{xx} - k_{xy}c_{yx} - k_{yx}c_{xy}}{c_{yy} + c_{xx}}\,. \tag{19}$$

3. NUMERICAL SOLUTION AND RESULTS

3.1. Numerical solution

The presented solution is worked out on the two main stages for the separated parts of the global solution. In the beginning is solved EHD part of the problem and then on the base of the obtained results the stability study is realized.

EHD problem presupposes simultaneous solution of the modified Reynolds equation for turbulent flow (5), film thickness equation (7) and elasticity equation (8).

The dimensionless modified Reynolds equation is solved numerically using the finite difference method with application of an over-relaxation procedure in order to improve the convergence rate. For pressure distribution the Reynolds boundary conditions were used.

Pressure distribution, film shape within the lubricant film region and elastic deformations distribution are received on the base of original program system, elaborated on Digital Visual Fortran – DVF 6.1 [10]. Then the performance parameters as load carrying capacity and attitude angle are calculated with an attached program. For stability branch of the problem, the other program module (developed in MATHCAD 2000 environment) has been used. On the base of values of performance parameters are determined the eight values of oil film stiffness and damping coefficients. By using the dynamic coefficients the stability characteristics of the rotor-bearing system and the critical speed were calculated.

3.2. Results and discussion

It is evident that the turbulence effect can be presented by Reynolds number *Re*, whereas the effect of deformability of the shafts layer – by parameters $\mu_.$ and E. By this way the governing parameters, which correspond to the considered here mathematical model, are Reynolds number Re (for laminar flow – $\mathrm{Re} = 1.10^3$; for turbulent flow - $\mathrm{Re} = 5.10^3$), elasticity parameters $\mu_.$ and E (rigid case - $E = 2.10^{11}$[Pa], $\mu = 0,25$, soft case - $E = 7,33.10^7$ [Pa], $\mu = 0,4$), diameter to length ratio $\alpha_.$ (set to 1.0) and eccentricity ratio ε (was varied from 0,1 to 0,9).

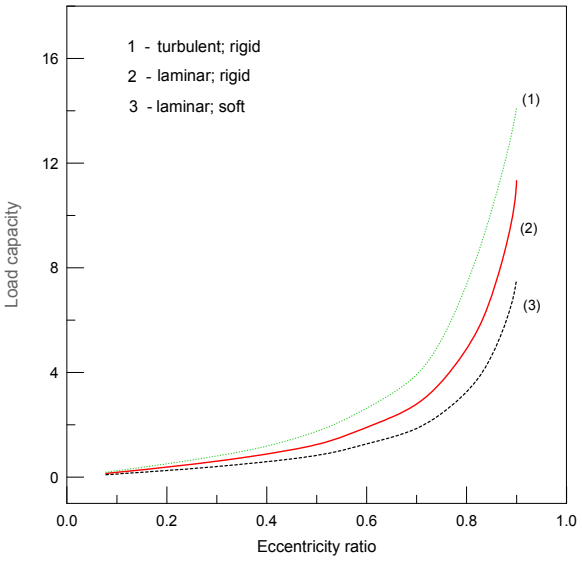


Fig. 3. Load carrying capacity

Figure 3 shows the influence of the deformability of the shafts liner and respectively turbulent flow conditions on non-dimensional load capacity. It is clear that at high eccentricity ratio, there is a considerable decrease in the load capacity when deformability is taken into consideration (case 3). On the other hand, the turbulent conditions give higher load capacity, especially at high eccentricity ratio (case 1). It is worth noting the presented results for laminar flow of "rigid" bearing (case 2) are in a good agreement with results of Pinkus [19], although the methods and some theoretical treatments are different. However, the obtained results for the "soft case" seem to be lower than those for "rigid case", such a trend has been indicated in the literature by various investigators [13, 15]. The tendency which is recognized in "turbulent" solution is accurate, because the film pressure in turbulent flows becomes large, so the load capacity is also large [9, 2, 10].

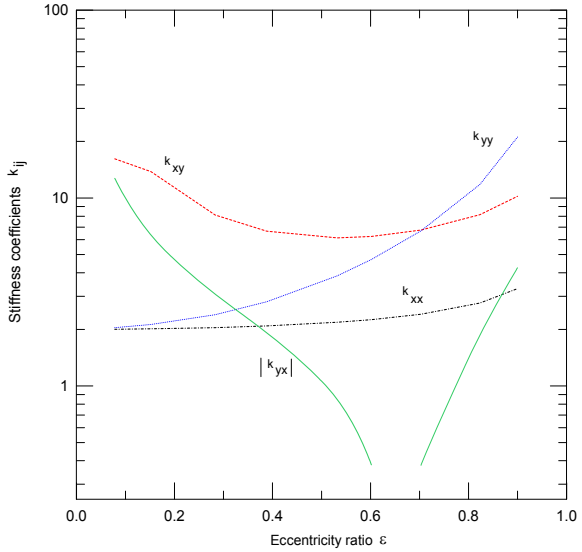


Fig. 4. Stiffness coefficients

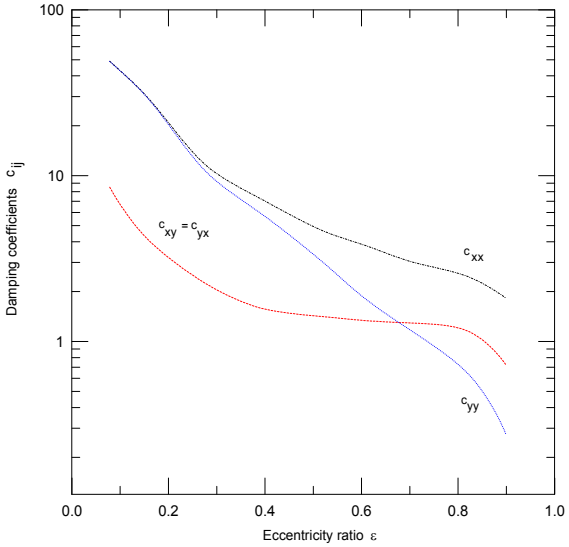


Fig. 5. Damping coefficients

The four stiffness coefficients (k_{xx}, k_{xy}, k_{yx}, k_{yy}) versus eccentricity ratio for turbulent flow are shown in Figure 4. It is clear that the stiffness coefficients increase as the eccentricity ratio rises and for the turbulent flow conditions.

The numerical results from Figure 5 present the damping coefficients (c_{xx}, c_{xy}, c_{yx}, c_{yy}) versus eccentricity ratio under turbulent conditions too. It is obvious that in the considered case these coefficients have lower values at large eccentricities ratio. Here is important to denote that the physical magnitude of the stiffness and damping coefficients increases rapidly as the journal eccentricity increases.

The stability limit of the rigid rotor-bearing system is represented in Figure 6. The critical speed $\bar{\omega}$, above which the system is unstable, is plotted against the eccentricity ratio for the basic three considered in the current paper cases. As shown, the system has a threshold stability limit for wide range of eccentricity ratio. The figure shows a considerable destabilizing effect with the increase of Reynolds number Re (turbulent conditions), especially at moderate values of ε (between $\varepsilon = 0{,}3$ and $\varepsilon = 0{,}8$). Improvement of the system stability is observed with increasing of the deformability of the shaft's elastic layer (soft case). The stability limit in this case corresponds to a smaller area of the unstable zone. Stability improvement appears as increase of the critical speed and decrease of eccentricity ratio of inherent system stability.

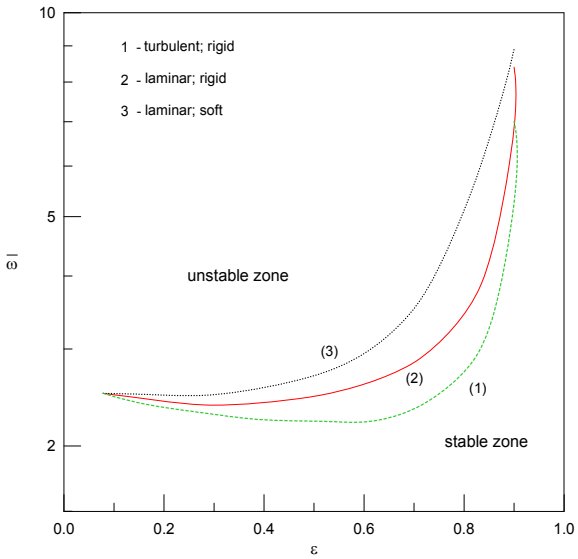


Fig. 6. Non-dimensional critical speed versus eccentricity ratio

4. CONCLUSION

It was studied the effect of interaction of the turbulent conditions and shaft's liner elastic deformation on the dynamic performance of HD journal bearings.

A dynamic analysis of a EHD turbulent finite length journal bearing lubricated by a Newtonian fluid has been performed, adopting the stability characteristics of the rotor-bearing system, taking into consideration the critical speed. The following conclusions could be drawn from the study:

(1) Both the load-carrying capacity and attitude angle decrease upon increasing the deformability of the elastic layer on the shaft, whereas the turbulent conditions have got an opposite effect on these performance characteristics of the bearing.

(2) Both the stiffness and damping coefficients were seriously affected by increasing the Reynolds number (turbulent flow conditions), especially at moderate values of the eccentricity ratio.

(3) Comparison between laminar and turbulent bearings shows that the increase of Reynolds number leads to expansion of the unstable zone of the bearing, in contrast to elastic deformations of the shaft's liner.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to express their sincere appreciation to the Research and Development Sector at UCTM - Sofia for the financial support of this project.

REFERENCE

1. Childs, D., *Turbomachinery rotordynamics*. John Wiley and Sons, NY, **1993**.
2. Szeri, A., *Fluid film lubrication*. Cambridge Univ. Press, U.K., **1998**.
3. Constantinescu, V.N., *On turbulent lubrication*. Proc. Inst. Mech. Eng. Vol. 173, **1959**, pp. 881-889.
4. Ng, C.W., C.H. Pan. *A linearized turbulent lubrication theory.* ASME Trans., Vol. 87, **1965**, pp. 675-688.
5. Aoki H., M. Harada. *Turbulent lubrication theory for full journal bearings*. Japan Society Lubr. Eng., Vol. 16, **1971**, pp. 348-354.
6. Hirs, G.G., *A systematic study of turbulent film flow*, ASME Trans. Ser. F, Vol. 96, **1974**, pp.1118-126.
7. San Andres, L., *Modern film lubrication - Turbulence in Thin Film Flows*. Texas A&M Univ. Press, TX, **2000**.
8. Alexandrov, V.A., J.G. Javorova, K.G. Stanulov, A.G. Manolova. *Effects of the turbulence on lubrication of EHD journal bearings*. Proceedings of 5th International Conference "**KOD 2008**", Serbia, Novi Sad, **2008**, pp.49-155.
9. Wada, S., H. Hashimoto. *Turbulent lubrication theory using the frictional flaw*, Bull. JSME, Vol. 22, 164, (1979), pp. 249-263.
10. Javorova, J.G., Program *system for critical stability determination of EHD journal bearings under turbulent conditions*. Proceedings of 7th International Conference on Mathematical Problems in Engineering and Aerospace Sciences "**ICNPAA 2008**", Italy, Genoa, **2008**, pp. 634-649.
11. Javorova, J.G., K.G. Stanulov, V.A. Alexandrov. *Static and dynamic performance in EHD journal bearings in turbulent flow*. Proceedings of International Scientific Conference "**Power Transmissions'09**", 1-2 October **2009**, Chalkidiki - Greece, **2009**, pp. 453-460.
12. Monmousseau, P., M. Fillon, J. Frene. *Transient TEHD study of tilting-pad journal bearings*. J. of Tribology, Vol. 119, **1997**, pp.401-412.
[13] Osman, T.A. *Effect of lubricant non-Newtonian behaviour and elastic deformation on the dynamic performance of finite journal plastic bearings*. Tribology Letters, Vol. 17, 1, **2004**, pp. 31-40.
14. Javorova, J.G. *Basic bearing characteristics of HD journal bearing in the conditions of elastic contact*, Proceedings of International Conference "**RaDMI'03**", Serbia, Herceg Novi, **2003**, pp.731-737.
15. Javorova, J.G., V.A. Alexandrov, K.G. Stanulov. *Journal bearings dynamic performance in consideration of inertia forces and elastic deformations*. Proceedings of 15th International Colloquim on Tribology, Germany, Stuttgart, 2006.
16. Michimura S., K. Ono, S. Komata, Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, Vol. 54, **1998**, pp.385-391.
17. Osman, T., G. Nada, Z. Safar . Tribology Int., Vol. 34, **2001**, pp. 369-376.
18. Lund, J. ASME J. of Tribology, Vol. 109, **1987**, pp. 37-45.
19. Pincus, O., B. Sternlicht. *Theory of hydrodynamic lubrication*. Mc Graw-Hill, NY, **1961**.

CORRESPONDENCE

Assoc. Prof. PhD Eng. Juliana JAVOROVA
University of Chemical Technology and Metallurgy
Department of Applied Mechanics
8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia, Bulgaria
e-mail: july@uctm.edu ; julianata1@abv.bg

Prof. PhD Eng. Vassil ALEXANDROV
High School of Transport
Department of Mechanics
159 Geo Milev Str., 1574 Sofia, Bulgaria
e-mail: vaalex@abv.bg

Assoc. Prof. PhD Eng. Kiril STANULOV
University of Chemical Technology and Metallurgy
Department of Fuels and Lubricants
8 Kliment Ohridski Blvd., 1756 Sofia, Bulgaria

e-mail: stanulov@uctm.edu

Assoc Prof. PhD Eng. Bohumil Taraba
Slovak University of Technology in Bratislava
Faculty of of Materials Science and Technology
2 Razusova Str., 91724 Trnava, Slovakia
e-mail: bohumil.taraba@stuba.sk

Prof. PhD Eng. Bogdan SOVILJ
University of Novi Sad
Faculty of Technical Science
6 Dositeja Obradovica Str., 21000 Novi Sad, Serbia
e-mail: bsovilj@uns.ns.ac.yu

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

STUDY OF WEARRESISTANCE OF NANOCOATINGS ON STEEL 40X13

Georgi MISHEV Stefan DISHLIEV Hristo BOHCHEDJIEV

Abstract: *The present paper presents experimental results of the study of wear intensity of nanocoatings on steel 40X13. Following coatings have been investigated: CrN; TiN; CrN/TiN; CrTiN obtained by PVD – method. Relevant conclusions and recommendations have been proposed.*

Key words: *tribology, wear, nanocoatings.*

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТТА НА НАНОПОКРИТИЯ ВЪРХУ СТОМАНА 40Х13

Георги МИШЕВ Стефан ДИШЛИЕВ Христо БОХЧЕДЖИЕВ

Резюме: *В настоящата работа са дадени експерименталните резултати от изследванията на интензивността на износване на нанопокрития върху стомана 40Х13. Изследвани са покритията CrN; TiN; CrN/TiN; CrTiN нанесени по PVD – метода. Направени са съответните изводи и препоръки.*

Ключови думи: *трибология, износване, нанопокрития.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Върху статичното и динамично поведение на производствената техника особено силно влияние оказват контактните процеси в триещите повърхнини, т.е. контактната стабилност, контактните деформации, силата на триене и степента на износване. На базата на направен анализ на силите в контакта и многобройни експериментални изследвания са предложени модел на триенето и нов метод за пресмятане на силата на триене в праволинейно движещите се механични системи [1, 2, 3].

Износването е процес в резултат от взаимното въздействие на високите натоварвания и температури и относителните премествания на контактните повърхнини на една трибосистема. В зависимост от вида на трибосистемата износването може да предизвика повишаване на силите и температурата на рязане, влошаване на точността на обработка и качеството на обработените повърхнини, понижаване на технико-експлотационните параметри на системата.

Повишаването на износоустойчивостта на триещите се повърхнини може да стане като се използват различни методи: термична обработка на повърхнините; покрития на триещите повърхнини; използване на специални мажещи средства.

Най-широко разпространение за повишаване на износоустойчивостта на триещите повърхнини са намерили методите за нанасяне на износоустойчиви покрития, особено методите на физично отлагане от газова фаза (PVD) и на химично отлагане от газова фаза (CVD) [4, 5, 6, 7, 8].

2. ЦЕЛ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Настоящата работа има за цел да изследва интензивността на износване на покрития, нанесени по метода PVD върху подложка от неръждаема стомана 40Х13. За постигането на тази цел е необходимо да се решат следните задачи:

1. Създаване на методика за експериментално изследване на износоустойчивостта на детайлите.
2. Изготвяне на образци от стомана 40Х13 и покриването им с твърдосплавни покрития по метода PVD.

3. Провеждане на експериментални изследвания.
4. Анализ на резултатите, изводи и препоръки.

3. МЕТОДИКА ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТТА НА ДЕТАЙЛИТЕ

Методиката за експериментално изследване на износоустойчивостта на детайлите обхваща следните операции:

- изготвяне, почистване и обезмасляване на образците;
- определяне на теглото на образците и противотялото на електронна везна преди експеримента – Q_1 [*gr*];
- определяне на теглото на образците и противотялото след експеримента на електронна везна – Q_2 [*gr*];
- определяне на количеството снет метал от износването:

$$Q = Q_1 - Q_2 \ [gr] \tag{1}$$

- определяне на интензивността на износване с помощта на формулата:

$$I_h = \frac{Q}{L.S} \quad gr/mm^2.km \tag{2}$$

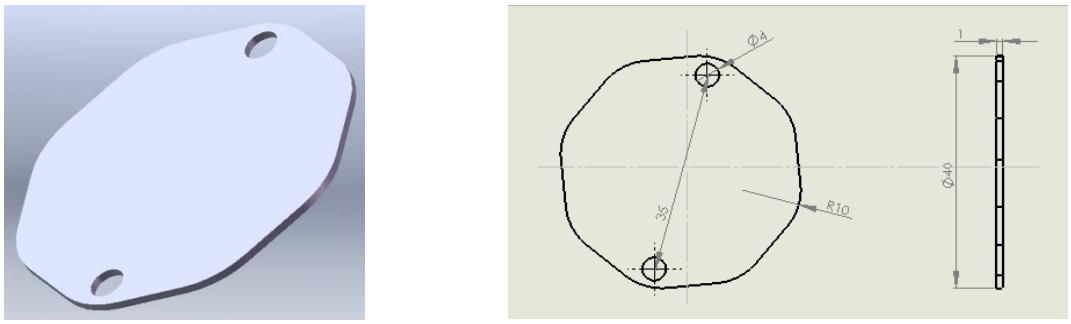
където:

- Q - количеството снет метал от износването, определя се по формула 1;
- L – изминат път или пробег на образеца спрямо контратялото – от табл.1;
- S – площ на контакта между образеца и контратаялото – петното на контакта се приема за кръг с диаметър широчината на следата и се изчислява по формулата $\frac{\pi.d^2}{4}$ mm^2 за всяка отделна следа.
- определяне на относителното износване – изчислява се спрямо еталонен образец. Като такъв се приема непокрит детайл и се изчислява по формулата:
-

$$\Delta I_h = \frac{I_h}{I_{h_{et}}}.100, \quad \% \tag{3}$$

където I_h е интензивност на износване на покрит образец (формула 2); $I_{h_{et}}$ - интензивност на износване на еталонен образец.

4. ИЗГОТВЯНЕ НА ОБРАЗЦИ И ПОКРИВАНЕТО ИМ С ТВЪРДОСПЛАВНИ ПОКРИТИЯ



Фиг. 1. Форма и размери на опитните образци

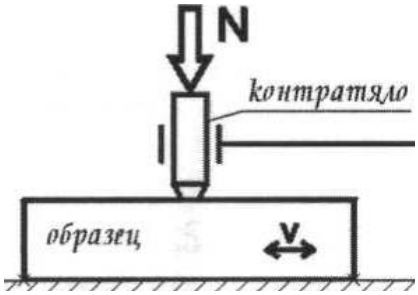
Образците бяха изготвени от неръждаема стомана 40Х13, предварително закалена до твърдост 5 – 7GPa. На фиг. 1 са показани формата и размерите на образците. След изготвянето им същите бяха покрити с четири вида твърдосплавни нанопокрития по метода PVD:

- слой CrN с дебелина ≈ 2μm; композитна твърдост ≈ 20GPa;
- слой тройно съединение CrTiN с дебелина ≈ 2μm; композитна твърдост ≈ 17GPa;

- слой с многослойна структура с редуващи се слоеве CrN и TiN (по 6 слоя от всеки вид) с дебелина ≈ 2 - 2,8μm; композитна твърдост ≈ 17GPa;
- слой TiN с дебелина ≈ 3μm; композитна твърдост ≈ 22 - 23GPa.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И РЕЗУЛТАТИ

Експерименталните изследвания бяха проведени на стенд трибомер, чийто принцип на работа е илюстриран на фиг. 2.



Фиг. 2. Принципна схема на стенд-трибометър

Изпитваните образци (стомана 40Х13, покрита с CrN, CrTiN, CrN/TiN и TiN) са закрепени в специално изготвен за формата и размерите им държач и се движат праволинейно възвратно–постъпателно с избрана скорост *V*. Контратялото е неподвижно, натоварвайки образеца с определена сила *N*. То е изработено от твърда сплав волфрамов карбид *ВК8*. Материалът за контатялото е избран такъв, че да не се износва заедно с образеца при изпитването. Направлението на натоварващата сила е перпендикулярно на повърхността на изпитвания образец.

Експерименталните изследвания се проведоха в зависимост от времето на работа на триещата двойка. Режимите на работа на стенда за двета серии изследвания са показани в таблица 1.

Таблица 1 Данни за режимите на изпитанията

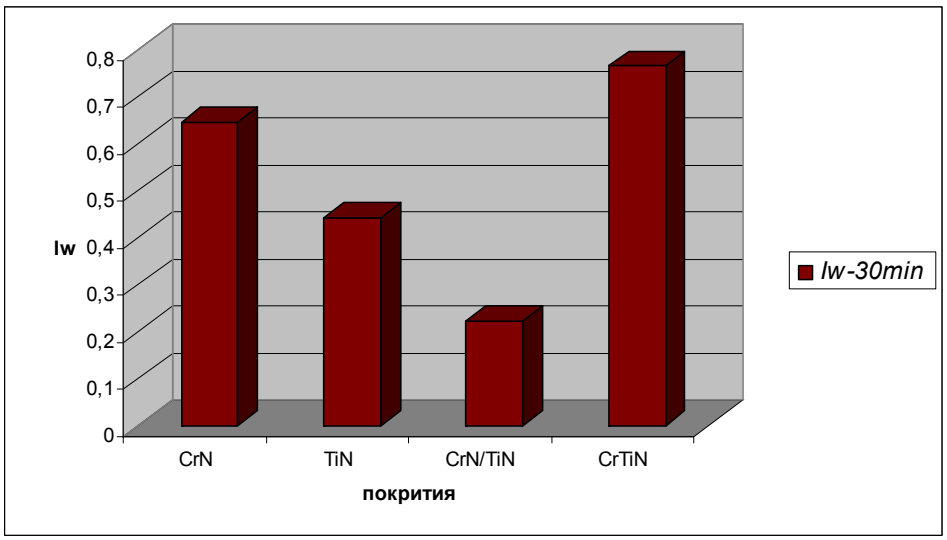
Първа серия изпитвания	Втора серия изпитвания
Време на работа *t = 30 min*	Време на работа *t = 60 min*
Скорост *V = 6,78 mm/s*	Скорост *V = 6,78 mm/s*
Дължина на работния ход (следата) *l = 11 mm*	Дължина на работния ход (следата) *l = 11 mm*
Натоварване *N = 900 gr*	Натоварване *N = 900 gr*
Изминат път (пробег) *L = 12, 2 m*	Изминат път (пробег) *L = 24, 4 m*

Количествените стойности на параметъра интензивност на износване за всяко едно от покритията при двете серии изпитвания са дадени в табл. 2

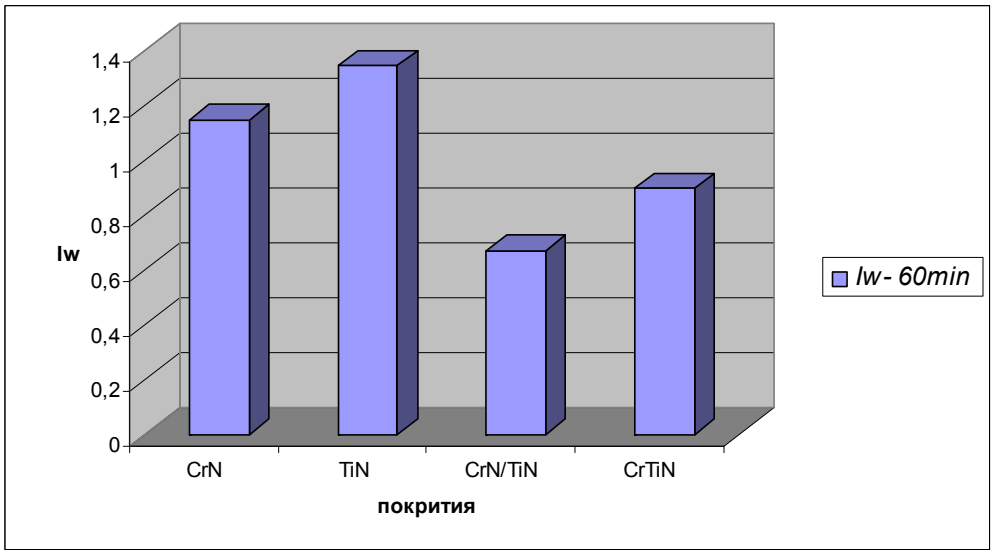
Таблица 2 Количествени стойности за интензивността на износване

Проби	*Iw, gr/mm^{2}km*	
	t=30min	*t=60min*
CrN	1,146	0,645
TiN	1,344	0,442
CrN/TiN	0,672	0,223
CrTiN	0,896	0,766

На фиг. 3 е дадена графично интензивността на износване за различните покрития при време на съвместна работа на трибодвойката от 30 *min*, а на фиг. 4 – при съвместна работа от 60 *min*.



Фиг. 3. Графично представяне на интензивността на износване на различните покрития за време на контакт - 30 min



фиг. 4. Графично представяне на интензивността на износване на различните покрития за време на контакт - 60 min

6. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ, ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

От получените резултати могат да се направят следните изводи:

1. Независимо от продължителността на работа на трибодвойката най-малък интензитет на износване се получава при покриване с CrN/TiN;
2. Всички покрития притежават много висока твърдост, особено CrN/TiN, което е предпоставка за пренос на материал от контратялото към образеца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mishev, G. *A Friction Model of the Machine Tools.* 2nd World Tribology Congress, Wien/Austria, 2001.

2. Mishev, G. *Einfluss der Reibung auf das dynamische Verhalten der geradlinig bewegten Maschinensysteme.* 13th International Colloquium Tribology, Ostfildern/Germany, **2002**, Voll. II, s. 867-873.

3. Michev, G. *New method for calculating friction force in the guides of machine tools*. Proceedings of the 2nd International Conference on tribology, Thessaloniki/Greece, **1996**, s. 547-554.

4. Denkena, B., M. Reichstein, J. Brodehl, L. de Leon Garcia. *Surface prepararion, coating and wear performance of geometricaliy defined cutting edges.* 5th International Conference "**The coating**", Proceedings, P43-53, Greece, **2005**.

5. Erkens, G. *A survey of advanced coatings as key element of modern cutting tools and functional components*. 5th International Conference "**The coating**", Proceedings, P53-67, Greece, **2005**.

6. Ibrahim, K.M., M.A. Waly, A.N. Abdelazim. *Structure and Wear Properties of SiC Reinforced Al-Li (8090) Alloy in the Cast and Heat Treated Conditions*. 15th International Colloquium Tribology, Ostfildern, **2006**, P 269-275

7. Goebbels, N., K. Bobzin, E. Lugscheider, N, Bagcivan, M. Maes. *Low Temperature Synthesis of PVD Tool Coatings*. 15th International Colloquium Tribology, Ostfildern, **2006**, P 85-92

8. P. Gadow. *Hochenergetische Beschichtungsverfahren in der Produktentwicklung von Wärmekraftmaschinen*. FtK 2006 Fertigungstechnisches Kolloquium, Stuttgart, **ISBN**-10: 3-00-019764-8, 2006

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. дтн Георги МИШЕВ
Технически университет, филиал Пловдив,
e-mail: gmishevpl@yahoo.com

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

KINETICS OF CONTACT SPOTS IN TECHNICAL JOINTS

Mara KANDEVA

Abstract: *The paper deals with the law of variation of the contact spots during exploitation of the contact joint. The considerations are based on the model of the Functional atom and the General law of contact interaction in tribology Results have been obtained for the variation of the law of variation of the contact spots in the three phases of operation of the tribosystem: running-in, stationary regime, and regime of pathological behavior.*

Key Words: *tribology, wear, laws, contact spots.*

КИНЕТИКА НА КОНТАКТНИТЕ ПЕТНА В ТЕХНИЧЕСКИ СЪЕДИНЕНИЯ

Мара КАНДЕВА

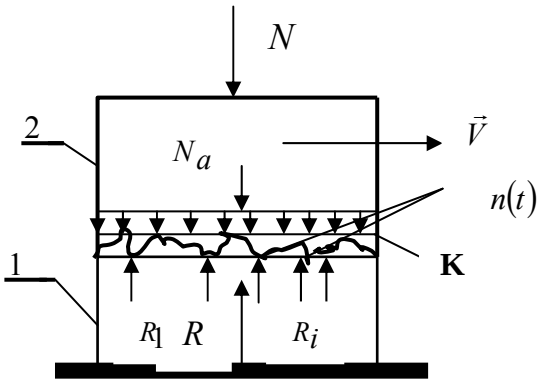
Резюме: *В работата се изследва закона за изменение на броя на контактните петна в процеса на експлоатация на контактно съединение, на основата на модела на функционалния атом и на общия закон за контактното взаимодействие в трибологията. Получени са резултати за закона за изменение на контактните петна през трите етапа на експлоатацията на трибосистемата: приработване, стационарен и патологичен режим.*

Ключови думи: *трибология, износване, закон, контактни петна.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В общия случай при промяна на кинетичното състояние на контактните съединения броят на контактните петна (звена) се променя вследствие на деформациите, триенето и износването на телата [1,2].

В частния случай, когато кинетичното състояние свързано с натоварването N и скоростта V на плъзгача се съхранява, промяната на контактните петна n се поражда единствено от приработването на контакта K между плъзгача и направляващата чрез изменение на триенето и износването в съединението им (фиг. 1).



Фиг. 1. Елементарна трибосистема: плъзгач 1-контакт К-направляваща 2.

Процесът на приработване в този случай се характеризира със зависимостта:

$$n = n(t) \tag{1}$$

Тази зависимост (1) ще наричаме ***закон за изменение на броя на контактните петна.***

Целта на настоящата работа е да се изследва законът за изменение на броя на контактните петна в процеса на експлоатация на контактно съединение на основата на модела на функционалния атом и общия закон за контактното взаимодействие в трибологията [3].

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Изхожда се от широко известните експериментални криви за триенето и скоростта на износването, приети в трибологията като универсални по своя характер (фиг. 2 и фиг. 3).

Известният трипараметричен закон [4] за специфичното триене на телата има вида:

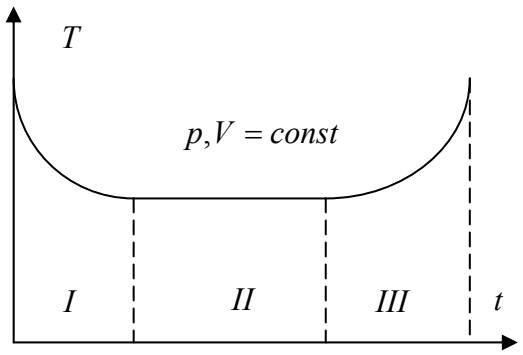
$$\tau = \mu.J.\eta \tag{2}$$

където μ е коефициента на триене при плъзгане, J - интензивността на контактните звена, η - относителната сумарна площ на контактните петна.

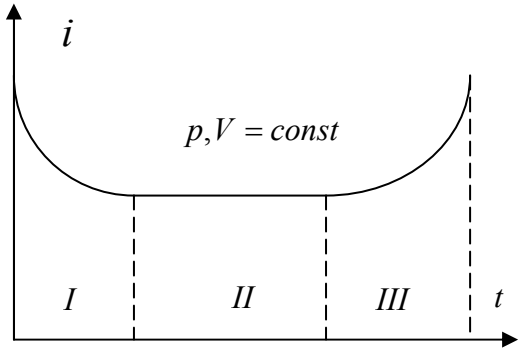
Основното допускане, което се прави е, че интензивността J е функция на броя n на контактните петна, т.е.

$$J = J(n) \tag{3}$$

Голямата стойност на интензивността J се свързва с малкия брой n на контактните петна.



Фиг. 2. Зависимост на силата на триене от времето



Фиг. 3. Зависимост на скоростта на износване от времето

Известно е, че в началния момент на контактно взаимодействие, допирането между телата се осъществява в малък брой контактни петна n_o. В процеса на приработването им техният брой нараства, достигайки до някаква гранична стойност n^*, след което започва паталогичният режим в поведението на съединението.

Процесът на изменение на функцията $n = n(t)$ се континиулизира при голям брой контактни петна, съответстващ на микроразмерите на контактните петна.

Тръгва се от диференциалната форма на общия закон за контактното взаимодействие на телата [3]:

$$\frac{dn}{n} = f\frac{dt}{t}, \tag{4}$$

който в разглеждания конкретен случай гласи: относителната промяна на броя на контактните петна $\frac{dn}{n}$ е пропорционална на относителната промяна на времето $\frac{dt}{t}$. Операторът f, който е бездименсионен, се нарича комуникативен (контактен) потенциал на съединението. Последният свързва смущението $\frac{dt}{t}$ и реакцията $\frac{dn}{n}$ в единство.

По-нататък се прави опит да се навлезе в собственото пространство на контактния оператор f, който трансформира в случая относителното смущение $\frac{dt}{t}$ в относителна реакция $\frac{dn}{n}$.

Задачата, която се решава, се свежда до намиране на закона $n = n(t)$ при стационарни кинетични условия.

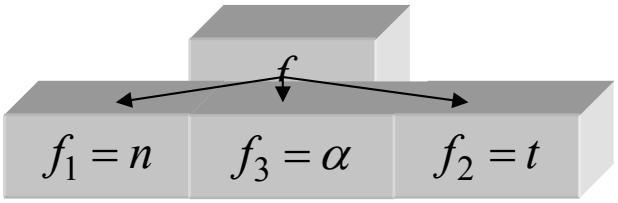
Комуникативният потенциал f като автономно цяло по модела на функционалния атом се представя с две алтернативи f_1, f_2 и с контакт между тях f_3 (фиг. 4), удовлетворяващи формулата:

$$f = f_1.f_2.f_3 \tag{5}$$

В случая двете алтернативи са броят n на контактните петна и времето t, а контактът между тях означаваме с параметъра α.

Законът за изменение на комуникативния фактор в най-общ вид придобива формулата:

$$f = \alpha.n.t \tag{6}$$



Фиг. 4. Функционален атом на комуникативния потенциал

По презумпция в (6) и трите величини f, α и n са самостоятелни функции на времето t:

$$f = f(t);\ \ n = n(t);\ \alpha = \alpha(t) \tag{7}$$

Физическият смисъл на нововъведения параметър α се определя от условието:

$$\alpha = \frac{f}{n.t} = \frac{f}{1.1}\ \ [1/петна.sek] \tag{8}$$

т.е. α се измерва с приноса на всяко контактно петно върху формирането на комуникативния потенциал на контактната система за време 1 секунда.

От друга страна физическият смисъл на f се определя от условието (4):

$$f = \frac{dn}{n} : \frac{dt}{t} \tag{9}$$

т.е. комуникативният потенциал f е число, което се измерва с отношението на относителната реакция спрямо относителното смущение.

Акцията (смущението) и реакцията в класическата наука се приемат за равни и в частност за класическата механика на Нютон е изпълнено условието $f = 1$. За трибологията обаче това изискване $f = 1$ е идеализирано и съгласно общият закон за контактното взаимодействие комуникативният потенциал f може да бъде различен от единица, да се променя, да получава и отрицателни стойности.

2.1. Закон за експоненциалното изменение на контактните петна

Разглежда се случая $f = k.t$, където k съгласно (6) е $k = \alpha.n = const$. В съответствие с (4) за този частен случай се получава:

$$\frac{dn}{n} = k.t\frac{dt}{t} = k.dt \tag{10}$$

След интегриране на (10) за $n(t)$ в този случай се получава:

$$\ell n\ n = kt + \ell nc \quad \text{или} \quad n(t) = c.e^{kt} \tag{11}$$

Тук c е интеграционна константа. Последната се определя от началните условия: при $t = 0$, $n(0) = n_o$, т.е. n_o са броя на контактните петна в началото на експлоатацията на съединението.

Законът за изменението на контактните петна окончателно добива вида:

$$n(t) = n_o e^{kt} \tag{12}$$

Според този закон (12) броят на контактните петна расте експоненциално с времето, тръгвайки от началната си стойност n_o, при един и същ режим на експлоатация. Този процес на неограниченото нарастване на контактните петна във времето съгласно (12) очевидно противоречи физически на ограничената номинална площ на образеца. Ето защо допускането, че k е константа и не зависи от времето е неоправдано.

Приема се, че k намалява линейно с времето, т.е.

$$k = k_o(1 - \beta.t), \tag{13}$$

където β се явява мярка за скоростта, с която намалява показателят k. За тази стойност на k изходното уравнение (10) добива вида:

$$\frac{dn}{n} = k_o(1 - \beta.t)dt \tag{14}$$

или

$$\frac{dn}{dt} = \dot{n} = k_o(1 - \beta.t).n \tag{15}$$

т.е. скоростта, с която нарастват контактните петна $\dot{n}$ е пропорционална на броя на контактните петна n, но намалява с времето t.

Съгласно (15) двете функции $n(t)$ и $k(t)$ работят в противоположни посоки. Първата води до нарастване на скоростта $\dot{n}$, а втората – до намаляването й. Приносът на втората обаче е по-голям, така че погасяването на скоростта $\dot{n}$ се осъществява за нейна сметка.

Действително от

$$\dot{n} = \frac{dn}{dt} = 0 \quad \text{следва} \quad \beta.t_1 = 1 \tag{16}$$

където t_1 е момента, в който скоростта $\dot{n}$ се нулира, а функцията $n(t)$ преминава в стационарен режим, т.е.

за $t = t_1 \qquad n = n^* = const$ (17)

Законът за изменение на броя на контактните петна $n(t)$, по който се осъществява прехода между експоненциалното и стационарно състояние на процеса, се получава след интегриране на диференциалното уравнение (15) чрез разделяне на променливите му:

$$\int_{n_o}^{n(t)} \frac{dn}{n} = \int_0^t k_o(1 - \beta t)dt \qquad \ell n\frac{n}{n_o} = k_o t - \frac{1}{2}k_o.\beta.t^2 = k_o t\left(1 - \frac{1}{2}\beta.t\right) \tag{18}$$

След антилогаритмуване за $n(t)$ се получава:

$$n(t) = n_o e^{k_o t\left(1-\frac{1}{2}\beta t\right)} \tag{19}$$

От (19) чрез отчитане на началните и гранични условия, т.е. при $t=0;\ n=n_o$ и $t=t_1;\ n=n^*$, за n^* следва

$$n^* = n(t_1) = n.e^{\frac{1}{2}k_o.t_1}, \text{ т.к. } \beta.t_1 = 1 \tag{20}$$

Законът за изменение на контактните петна във вида (19) съдържа в единство експоненциалното нарастване и линейното намаляване на броя на контактните петна, в резултат на което се очертават два етапа в изменението на $n(t)$: първи етап $0 \le t \le t_1$ и втори етап $t_1 \le t \le t_2$.

Продължителността t_1 на първия етап е

$$t_1 = \frac{2}{k_o}\ell n\frac{n^*}{n_o} \tag{21}$$

а продължителността t_2 на втория етап се определя само по експерименталното поведение на трибосистемата.

Поради обстоятелството, че за всяко $t_1 \le t \le t_1 + t_2$ функцията

$$n(t_1) = n(t) = n(t_1 + t_2) = n^* = n_o.e^{\frac{1}{2}k_o.t_1} = const \tag{22}$$

Работата на съединението в стационарен режим не е безкрайна, т.к. с времето настъпват структурни промени в носещия повърхностен слой на взаимодействащите си контактни елементи. В резултат на това настъпва третият последен етап, наречен патологичен, т.к. с него се слага край на пълния експлоатационен цикъл на съединението.

Началото на третия етап отбелязваме с $t_{12}^o = t_1 + t_2 = 0$ и той продължава през периода t_3 до момента, когато броят на контактните петна n_3 спадне от n^* до $n_{кр}^*$, т.е.

$$n^* \le n_3(t) \le n_{кр}^*, \text{ където } 0 \le t \le t_3 \tag{23}$$

Диференциалното уравнение за $n(t)$, описващо поведението на съединението през третия етап, има вида:

$$\frac{dn}{n} = -k^* t\frac{dt}{t} \tag{24}$$

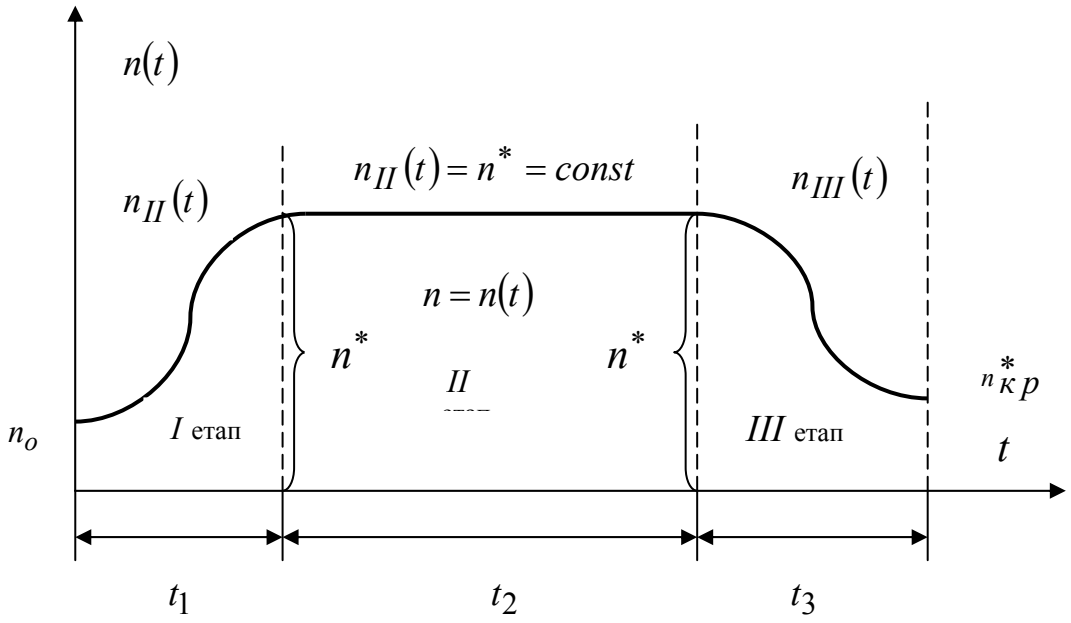
Както се вижда комуникативният фактор k^* в този случай е отрицателен и расте с времето. Решението на (24) след разделяне на променливите води до

$$\int_{n^*}^{n(t)} \frac{dn}{n} = -k^* \int_0^t dt \text{ или } n(t) = n^* e^{-k^* t} \tag{25}$$

За $t = t_3$ се получава:

$$n(t_3) = n_{кр}^* = n^* e^{-k^* t} \tag{26}$$

На фиг. 5 са изобразени трите етапа, през които взаимодействието се осъществява последователно чрез характерното изменение на контактните петна на съединението по време на неговата експлоатация.



Фиг. 5. Изменение на контактните петна през трите етапа на експлоатация на трибосистемата

I начален (адаптивен) етап: Характеризира се със закон $n_I(t)$ и продължителност t_1:

$$n_I(t) = n_o e^{k_o.t(1-\beta.t)};\ 0 \le t \le t_1; \tag{27}$$

II стационарен (нормален) етап: Характеризира се със закон $n_{II}(t)$ и продължителност t_2:

$$n_{II}(t) = n^* = n_o e^{\frac{1}{2}k_o t_1} = const;\ t_1 \le t \le t_1 + t_2 \tag{28}$$

III краен (паталогичен) етап: Характеризира се със закон $n_{III}(t)$ и продължителност t_3:

$$n_{III}(t) = n^* e^{-k^* t};\quad t_1 + t_2 \le t \le t_1 + t_2 + t_3;\quad t_3 = \frac{1}{k^*}\ell n\frac{n^*}{n^*_{кр}} \tag{29}$$

където $k_o = \frac{f}{t}\ [s^{-1}]$ е комуникативният контактен потенциал на съединението, отнесен за всяка секунда от експлоатацията му през първия етап, а $k^* = -\frac{f}{t}\ [s^{-1}]$ - комуникативния контактен потенциал на същото съединение с отрицателен знак, отнесен за една секунда през третия паталогичен етап на неговата експлоатация.

2.2. Работоспособност на контактното съединение

Общата работоспособност (трайност) T на съединението при постоянни кинетични условия удовлетворява равенството:

$$T = t_1 + t_2 + t_3 \tag{30}$$

където t_3 се пресмята по формула (29), а t_1 се пресмята по формула

$$t_1 = \frac{2}{k_o} \ell n \frac{n^*}{n_o} = 2T_1 \tag{31}$$

където T_1 е периода на удвояване на контактните петна по експоненциалния закон (13).

2.3. Някои вербални съображения по темата

Приработването на контактуващите партньори при постоянни кинетични условия е свързано с промяна на контактните взаимодействия, произтичащи от промяната на структурата на контакта от увеличаването, запазването или разрушаването на контактните петна.

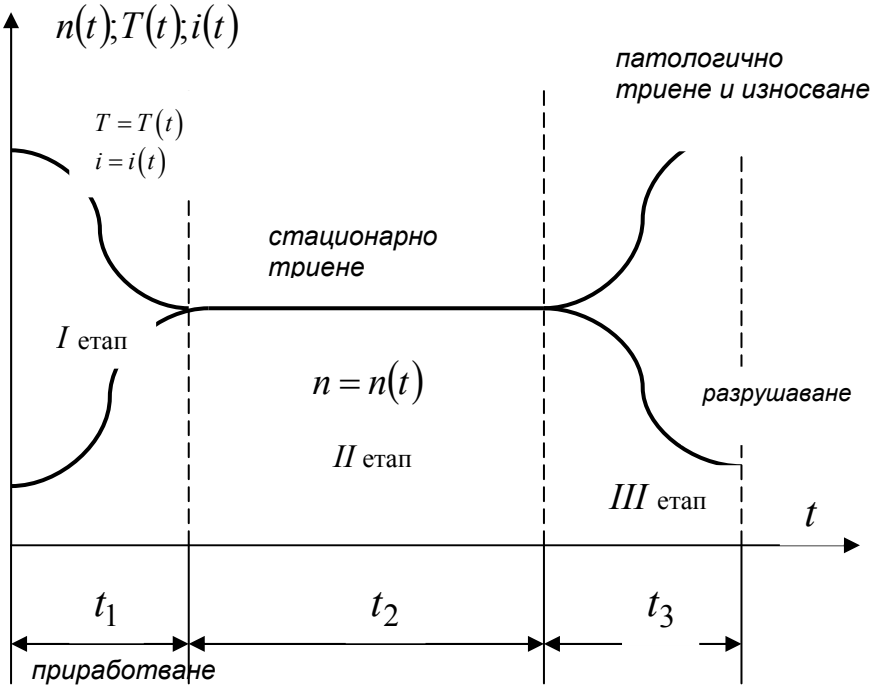
Нарастване на контактните петна се наблюдава през първия начален етап на експлоатация, чиято продължителност зависи както от естеството на материалите, тяхната обработка, така и от характера на механичното им състояние.

Съхраняването на броя на контактните петна през периода на втория стационарен етап е динамично по своя характер и означава, че при релативното преместване на партньорите разрушаването на контактните петна се балансира с адекватно възникване на нови такива. Разбира се, че тук неизбежно се пораждат флуктуации около стационарното състояние, двупосочни по своя характер.

Вследствие продължителната експлоатация на съединението повърхностните слоеве на партньорите му едновременно или последователно загубват своята работоспособност и започва обратният процес на съкращаване на броя на контактните петна до степен $n^*_{кр}$, когато експлоатационният ресурс на системата се изчерпва. Причините са повърхностна умора, локалните заварявания, адхезионни, корозионни, ерозийни разрушавания, дислокационни струпвания и други.

Следва да се отчита, че в много случаи съединенията се експлоатират и през периода t_3 на паталогично разрушаване, какъвто на практика е примера с трудно проходимите пътища на транспортните средства.

Получените теоретични резултати и описаните етапи се наблюдават и проверяват експериментално и при изменение на въздушното контактно съпротивление при експлоатация на контактни уплътнения. Това е така, защото по презумпция съпротивлението на контакта е пропорционално на броя на контактните звена.



Фиг. 6. Изменение на броя на контактните петна, силата на триене и интензивността на износване през трите етапа на експлоатация на трибосистемата

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получените теоретични резултати от общия закон за контактното взаимодействие на трибологията обясняват широко известните универсални зависимости на триенето и износването, изобразени на фиг. 2 и фиг. 3.

Връзката между получените резултати и изобразените криви се свързва със зависимостта на интензивността на контактните петна от техния брой. Действително кривите на фиг. 2 и фиг.3 се получават от фиг. 5 чрез огледалното й изображение (фиг.6).

На основата на получените теоретични резултати може да се обясни продължителното съжителство между двете алтернативни теории за триенето – механична и адхезионна. Първата се отнася по-скоро до съединения, работещи в първия и третия етап на експлоатация, а втората – през втория етап на нормалната им експлоатация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демкин, Н., Н. Дзецкев, М. Коротков. *Контактирование шероховатый повехностей*. Киев, Наукова думка, **1972.**

2. Крагельский, И., М. Добычин, В. Комбалов. *Основы расчетов на трение и износ*. Москва, Машиностроение, **1977.**

3. Манолов, Н., М. Кандева. *Обща трибология*. С., Св. Иван Рилски, **2004.**

4. Манолов, Н., В. Диамандиев. *Модели на трибологията* С., ТУ-София, ОТБ, **1995.**

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р Мара КАНДЕВА
Технически университет - София
катедра ТММ, МТФ
e-mail: kandeva@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

WEAR RESISTANCE OF NOZZLES FOR DRAWING AND ROLLS FOR STRENGTHENING OF REINFORCEMENT STEEL

Yavor LUKARSKI Atanas BAYKUSHEV Sasho POPOV Valentin MANOLOV

***Abstract**: We represent some results of wear resistance investigation of three steel grades - X210Cr12, 105WCr6 and 100Cr6. They are intended to production of cold ribbing rolls for a reinforcement steel strengthening machine. The results show that the steel of grade X210Cr12 has the best wear resistance.*

We give also some results about the wear resistance of reinforcement steel drawing nozzles produced by the hard alloy VK-6.

***Key words:** Rolls, Nozzle, Wear resistance, Steels, Heat treatment.*

ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТ НА ДЮЗИ ЗА ИЗТЕГЛЯНЕ И СТОМАНИ ЗА РОЛКИ ЗА УЯКЧАВАНЕ НА АРМАТУРНА СТОМАНА

Явор ЛУКАРСКИ Атанас БАЙКУШЕВ Сашо ПОПОВ Валентин МАНОЛОВ

***Резюме** Представени са резултати от изследване на устойчивостта на износване на три стомани-Х210Cr12, 105WCr6 и 100Cr6, предназначени за производство на ролки за студено оребряване в машина за уякчаване на арматурна стомана. Резултатите показват, че най-голяма износоустойчивост има стомана Х210Cr1.*

Дадени са резултати от изследване износоустойчивостта на дюзи за изтегляне на арматурна стомана, произведени от твърда сплав ВК-6.

***Ключови думи**: ролки, дюза, износоустойчивост, стомани, термична обработка.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Основните възли на машините за уякчаване на арматурна стомана са дюзата за изтегляне и ролките за оребряване. Чрез тях се постига окончателното уякчаване на материала и се получава т.н. периодичен профил. Дюзите се произвеждат по методите на праховата металургия от т.н. твърди сплави. Ролките се изработват по два начина. При първия се използват методите на праховата металургия. При втория се използват различни марки инструментални стомани. Основното изискване към тях е те да бъдат устойчиви на износване [1]. В предлаганата разработка са изследвани три марки стомани- Х210Cr1, 105WCr6 и 100Cr6. Получени са ролки от тях, които са подложени на закаляване и последващо отгряване. Наред с ролките, при същите режими са обработени и образци-свидетели [2]. Последните са подложени на изследвания за определяне на устойчивостта към износване. Характеристиките на стоманите са показани в таблица 1.

Таблица 1 Характеристики на стомани за ролки

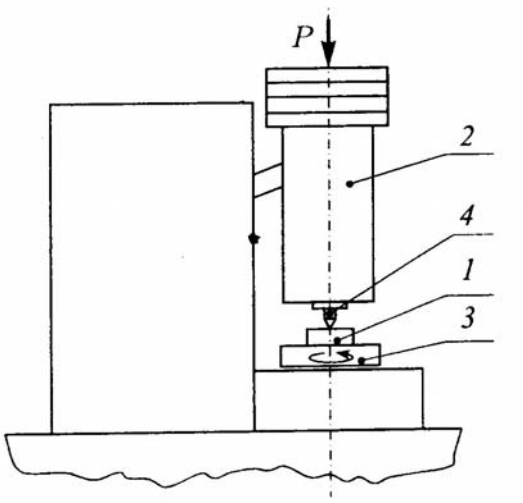
№	Марка	Твърдост, *HRC*	Обемна плътност, kg/m^3
1	Х210Cr1	60	7,72 .10^3
2	105WCr6	61	7,83 .10^3
3	100Cr6	61	7,80 .10^3

2. УСТРОЙСТВО И МЕТОДИКА НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Експерименталното изследване се осъществява по методика и с устройство за ускорени изпитания по схемата „палец-диск", чиято схема е показана на фиг. 1 [3]. Методиката на изследване е съобразена с изискванията на действащите стандарти и се състои в следното:

Изследваният образец 1 се монтира неподвижно в натоварваща глава 2 като челната му повърхнина контактува с абразивната повърхнина на хоризонтален диск 3 (противотяло), който се върти с определена скорост. Централното нормално натоварване P на образеца се осигурява посредством сферичен накрайник чрез избор на съответни тежести. Устройството позволява изменение на скоростта на плъзгане чрез изменение на оборотите на въртене на диска от управляващия блок и чрез изменение на местоположението на образеца спрямо оста на въртене на диска. Абразивната повърхнина се моделира чрез импрегниран корунд с твърдост 60% по-висока от твърдостта на изпитваните материали. В настоящия експеримент е използвана шкурка Smirdex 330 Duroflex, P 80, 117 S V.

Методиката включва следните операции:



Фиг. 1. Устройство за изпитване на метали за износоустойчивост

- Подготовка на образците с еднакви размери и грапавост R_z, респ. $R_a = 2,5\ \mu m$ чрез притриване, като се вземат превантивни мерки за предотвратяване на структурни и физико-химични промени в повърхностния слой на образците;
- Измерване на масата на образците преди и след изминаване на определен път на триене L_f с помощта на електронна везна WPS 180/C/2 с точност 0,1 mg. При всяко измерване образците се почистват, като при измерването се работи с пинсети;
- Образецът се монтира в натоварващата глава, задава се желаното нормално натоварване P и път на триене L_f.

Пътят на триене се пресмята по формулата:

$$L_f = 2\pi r.N, \tag{1}$$

където: r е разстоянието между центъра на диска и масовия център на образеца; N – броя на циклите на диска.

Пресмята се абсолютното масово износване Δm като разлика между масата на образеца преди и след определен брой цикли N (път на триене L_f).

3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕ НА СТОМАНИТЕ ЗА РОЛКИ

Измерени са и са изчислени следните основни характеристики на износване на образците:

- Абсолютно масово износване Δm - разлика между масите на образеца преди и след изминаване на определен път на триене L_f;
- Скорост на масовото износване $\Delta \dot{m}$ - разрушената маса от повърхнината на образеца за единица време (една минута);
- Интензивност на износването i - разрушената маса от повърхнината на образеца на единица път на триене. Може да се представи чрез линейното и/или масовото износване по формулата:

$$i = \frac{\Delta m}{\rho . S_a . L_f}, \quad (2)$$

където ρ е плътността на повърхностния слой на образеца, Δm-абсолютното масово износване, S_a - номиналната (геометрична) площ на контактното взаимодействие.

- Износоустойчивост – пресмята се по формулата:

$$I = \frac{1}{i} = \frac{\rho . S_a . L_f}{\Delta m}. \quad (3)$$

Износоустойчивостта I е комплексен параметър, който характеризира съпротивителните възможности на повърхностния слой на материалите срещу разрушаване при контактното им взаимодействие с други повърхнини при релативното им преместване една спрямо друга. Променя се в много широки граници и зависи от много фактори: структурата, състава, механичните показатели – твърдост, грапавост, пластичност, пористост на повърхнините на тялото и противотялото, и от параметрите на контакта–температура, присъствие на смазки, повърхностно-активни вещества, състав на околната среда, динамичните условия на взаимодействието – натоварване, скорост и други.

- Сравнителен индекс на износоустойчивостта I_{ij}-представлява отношение между износоустойчивостта на изследваните образци:

$$I_{ij} = \frac{I_i}{I_j} \quad (4)$$

- Номинално контактно налягане P_a представлява нормалното натоварване P, което се разпределя на единица номинална (геометрична) контактна площ на допиране S_a, т.е.

$$P_a = \frac{P}{S_a}. \quad (5)$$

Изборът на факторите нормално натоварване P и скорост на плъзгане ϑ е направен след провеждане на предварителни експерименти с цел да се проучат и избегнат някои обстоятелства като високи контактни температури, при които е възможно протичане на патологично износване, породено от интензивни контактни взаимодействия като химични процеси и структурни промени в повърхностния слой.

Получени са експериментални резултати за зависимостта на абсолютното масово износване Δm (фиг. 2) от броя цикли N и зависимостта на скоростта на износването $\Delta \dot{m}$ от времето на триене t (фиг. 3).

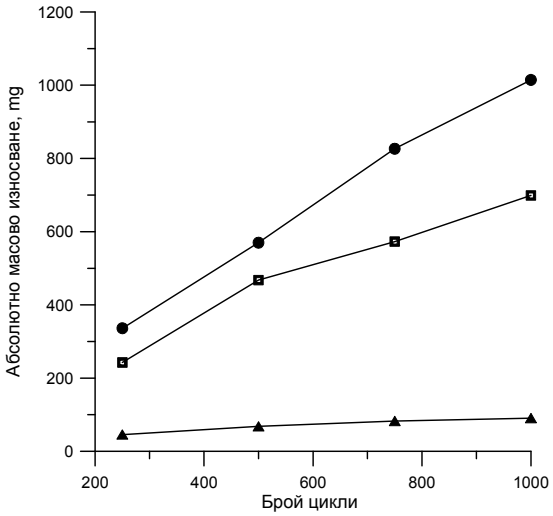
За трите марки стомани са приети следните означения: ▲-стомана X210Cr1, ◘-стомана 105WCr6, ●-стомана 100Cr6. От фиг 2 се вижда, че най-малко е абсолютното масово износване при стомана X210Cr1. Следва стомана 105WCr6, а стомана 100Cr6 има най-голямо абсолютно масово износване. Същите закономерности се наблюдават и на фиг. 2, но тенденцията е низходяща.

На фиг. 4 е представена графично зависимостта на масовото износване Δm от средната скорост на плъзгане ϑ, получена при едни и същи условия: нормално натоварване $P = 40$ $N = const$ и еднакъв брой ($N = 500 = const$) цикъла.

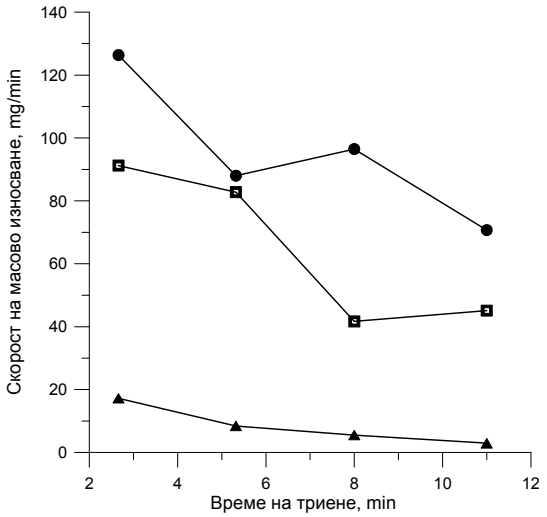
На фиг. 5 е представена графично зависимостта на абсолютното масово износване Δm от номиналното контактно налягане p_a, получена при едни и същи условия: $\vartheta = 50\ cm/s = const$; $N = 1000 = const$; $L_f = 533{,}8\ m$.

Абсолютната износоустойчивост на образците е определена при следните експериментални условия: брой цикли $N = 1000 = const$; $\vartheta = 83{,}64\ cm/s = const$. $L_f = 533{,}8\ m$ и е пресметната по формула (3).

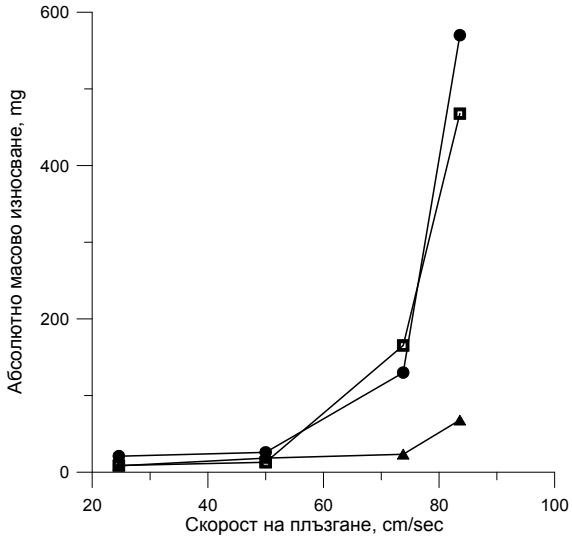
На фиг. 6 е представена графично износоустойчивост на изследваните образци. Ясно се вижда, че стомана X210Cr1 има неколкократно по-високи показатели от другите две стомани.



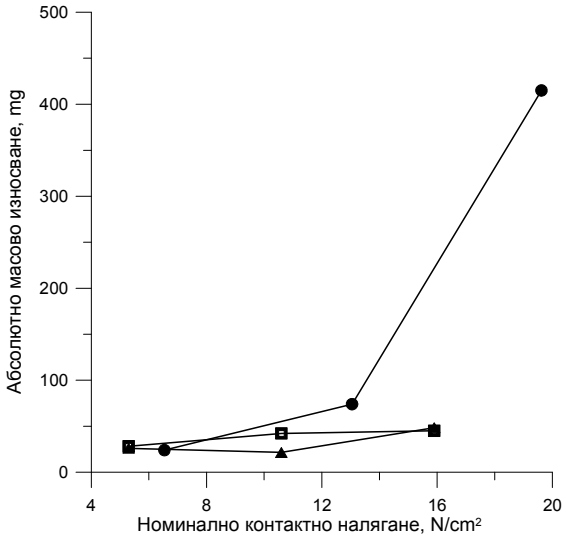
Фиг. 2. Зависимост на абсолютното масово износване от броя на циклите.



Фиг. 3. Зависимост на скоростта на масовото износване от времето.



Фиг. 4. Зависимост на абсолютното масово износване от скоростта на плъзгане.



Фиг. 5. Зависимост на абсолютното масово износване от номиналното контактно налягане.

Сравнителният индекс на износоустойчивостта на образците се пресмята по формула (4) и в съответствие с данните от таблица 6 е както следва:

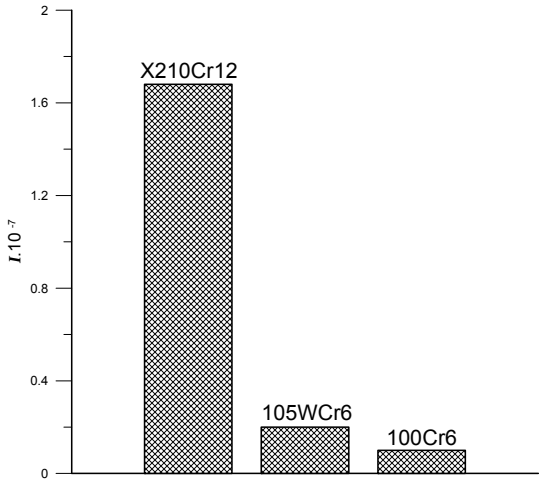
$$I_{12} = \frac{1,68.10^7}{0,20.10^7} = 8,4\,; \quad I_{13} = \frac{1,68.10^7}{0,10.10^7} = 16,8\,; \quad I_{23} = \frac{0,20.10^7}{0,10.10^7} = 2,0\,.$$

С цел получаването на допълнителни данни за износоустойчивостта на образците са проведени изследвания в два варианта на масовото износване в условия на сухо триене. При първия случай номиналното контактно налягане е 22 N/cm^2, а във втория 32 N/cm^2. И в двата случая скоростта на плъзгане е 83,6 cm/s. Резултатите са показани в табл. 2. В левите колонки са резултатите по първи вариант за всяка стомана, а в десните-по втори вариант.

Установява се, че при триене на образци от ст. 105WCr6 и ст. 100Cr6 при p_a=32 N/cm^2 има пренасяне на материал от противотялото върху образците. Поради това резултати за тях не са показани. Резултатите са представени графично на фиг. 7

4. **РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДЮЗИТЕ**

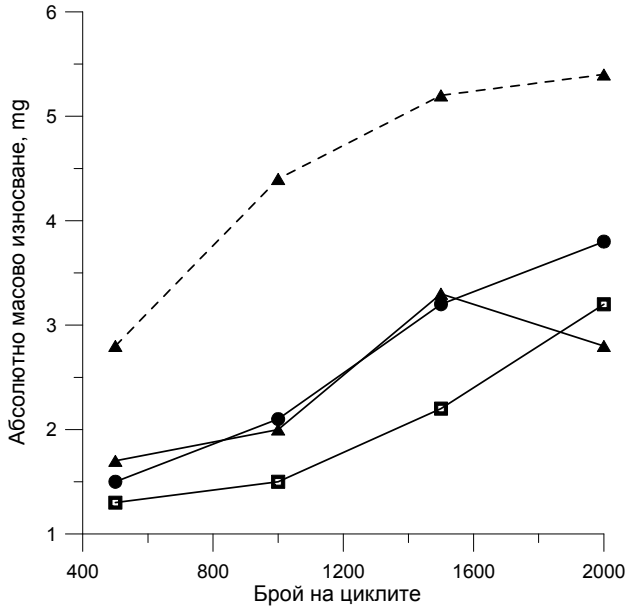
Проведени са сравнителни изпитвания на спечените дюзи в условия на абразивно износване.



Фиг. 6. Износоустойчивост на образци от различни марки стомани, предназначени за изработване на ролки за оребряване.

Таблица 2 Масово износване на образците за ролки в условията на сухо триене

Брой цикли	Масовото износване в условия на сухо триене, mg					
	X210Cr12		105WCr6		100Cr6	
500	1,7	2,8	1,3	+ 0,2	1,5	+ 0,2
1000	2,0	4,4	1,5	-	2,1	-
1500	3,3	5,2	2,2	-	3,2	-
2000	2,8	5,4	3,2	-	3,8	-



Фиг. 7. Зависимост на абсолютното масово износване от броя цикли при износване в условия на сухо триене (окислително износване) при две стойности на номиналното контактно налягане. ----- P=32 N/cm^2, ——P_a=22 N/cm^2

На изпитване са подложени два образеца–дюза, внос от Италия (образец № 1) и дюза, произведена от колектива по праховометалургичен метод от твърда сплав ВК 6 (образец № 2).

Изпитването на образците е осъществено в условия на твърдо закрепен абразив.

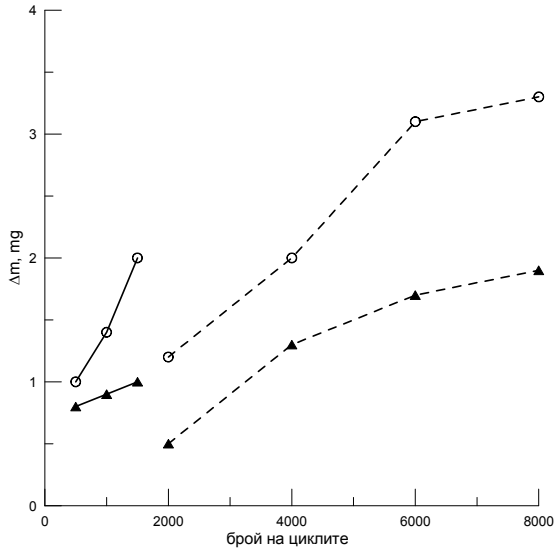
Условията на експеримента са следните:

- скорост на плъзгане: $\vartheta = 83,6 \ \ cm/s$;
- нормалното натоварване е различно за двете дюзи и се избира така, че да се осигури едно и също номинално контактно налягане P_a за всяка от тях в съответствие с контактната им геометрична площ (геометрични размери).

Проведени са изпитания на двете дюзи при две стойности на номиналното контактно налягане: $P_a = 4,3\ N/cm^2$ и $P_a = 6,1\ N/cm^2$.

На фиг. 8 са представени експерименталните резултати за абсолютното масово износване на образците при различен брой цикли (път на триене) за две стойности на нормалното натоварване (номинално контактно налягане).

Изследването показва, че образец № 2 в условия на твърдо закрепен абразив има около два пъти по-малко абсолютно масово износване при съответните динамични условия на изпитване – скорост на плъзгане и номинално контактно налягане в сравнение с фабричния образец.



Фиг. 6. Зависимост на абсолютното масово износване Δm от броя на циклите при износване в условия на закрепен абразив при две стойности на номиналното контактно налягане: ○-образец № 1, ▲-образец № 2;

– – - $P_a = 4,3\ N/cm^2$, — - $P_a = 6\ N/cm^2$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведени са изследвания за определяне устойчивостта на износване на три марки закалени стомани, предназначени за изработване на ролки за оребряване на арматурна стомана-X210Cr1, 105WCr6 и 100Cr6. Измерени са и са изчислени някои основни характеристики на износване на образците-абсолютно масово износване, скорост на масовото износване, интензивност на износването, износоустойчивост и сравнителен индекс на износоустойчивостта. Получените резултати от изследването на образци-свидетели от избраните стомани показват, че най-добра износоустойчивост има стомана X210Cr1. В условията на сухо триене трите стомани имат близки характеристики.

2. Произведените от колектива дюзи имат два пъти по-висока износоустойчивост от тази на използваните в промишлеността.

БЛАГОДАРНОСТИ

Разработката и публикуването на този доклад са спонсорирани от договор No ИФ-02-80/07.03.2008 г., финансиран от Изпълнителната агенция за насърчаване на средните и малки предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Геллер, Ю. А. *Инструментальные стали*. Металлургия, М., **1975**.

2. Райков, Р., Т. Стойчев и др. *Термична обработка и свойства на ролки за преддеформационна обработка на арматурна стомана*. Инженерни науки, No 1, **2010,** с.48-57.

3. Kandeva, M., N. Hristov, N. Tonchev, E. Assenova. *Tribological Study of Cladded Bimetallic Coatings. C o l l o q u i u m Solving Friction and Wear Problems*, Esslingen, Germany, **2010**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

ст.н.с. д-р Явор ЛУКАРСКИ, ст.н.с. д-р Атанас БАЙКУШЕВ, ст.н.с. д-р Сашо ПОПОВ, ст.н.с. д-р Валентин МАНОЛОВ
Институт по металознание-БАН, бул. „Шипченски проход” 67, 1574 София,
Машиннотехнологичен факултет, Технически университет-София, бул. „Св. Кл. Охридски” 8, 1000 София, e-mail: kandeva@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

ABOUT THE HISTORICAL MISSION OF TRIBOLOGY

Nyagol MANOLOV

Abstract: *The paper proposes an assessment of the historical mission and role of tribology under circumstances of global crises. The assessment is done based on the new ontological model of „trialism", according to the model of the functional atom and the contact approach. The necessary conditions are given and the way in which tribology could take central position in the functional space of science.*

Key Words:*. tribology, interdisciplinarity, contact approach, global crisis*

ЗА ИСТОРИЧЕСКАТА МИСИЯ НА ТРИБОЛОГИЯТА

Нягол МАНОЛОВ

Резюме: *В работата се прави оценка за историческата мисия и роля на трибологията в условията на глобална криза. Оценката се извършва на основата на нов онтологичен модел „триализъм", по модела на функционалния атом и контактния подход. Посочват се условията и необходимостта от това как би могла трибологията да заеме централни позиции във функционалното пространство на науката.*

Ключови думи: *трибология, интердисциплинност, контактен подход, глобална криза*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Историческата мисия и роля на трибологията следва да се търси в потенциалните възможности на нейния предмет като интердисциплинарна наука.

Различни са представите на триболозите за предмета, мястото, жизненото и функционално пространство на трибологията, които в своето единство пораждат нейния имидж, мисия и роля за обществото [1].

В условията на глобална криза и наличието на бум в интердисциплинността като знание, технологии и култура не трябва да се редуцира трибологията до първичните й измерения като наука за триенето на телата. Напротив интердисциплинността изисква да се даде простор в предметното й измерение, например като наука за контактите, контактните мрежи и контактните взаимодействия на телата без оглед на тяхното естество, структури и състояние [2].

При тези условия контактите и контактните взаимодействия се отличават със своите уникални, функционални и адаптивни характеристики. Контактните мрежи като система от контакти оплитат в единство елементите на всички системи от глобалното пространство на човечеството и гарантират устойчивото му функциониране.

Идеята на тази работа е да се проследят възможностите на трибологията като интердисциплинарна наука в светлината на същностните измерения на глобалната криза на човечеството.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Светът, в който живеем, се изявява с три фундаментални характеристики:

Първо: светът рязко се динамизира за всички нас, т.е. броят на събитията, които проникват в нашето лично и обществено пространство, непрекъснато нараства.

Второ: Светът рязко се фрагментира, т.е. броят на елементите, с които трябва да влизаме в отношения и с които да се съобразяваме, рязко нараства.

Трето: Светът рязко се дестабилизира, т.е. живеем в условия на несигурност като природни и социални общности и личности.

Трите фундаментални характеристики се съдържат в категорията „неустойчив свят" и са пряко свързани с ролята на контактите, контактните мрежи и контактните взаимодействия в него.

Динамизирането на света е следствие на неговото фрагмертиране, а дестабилизирането му е следствие от интензифицирането на контактните взаимодействия между фрагментите му. Колкото повече се фрагментира едно цяло, толкова повече се мултиплицират и интензифицират контактните взаимодействия между елементите му.

2.1. За проблемната ситуация и глобалната криза

Под „проблемна ситуация на човечеството" следва да се разбира онова общо за него противоречие, за преодоляването на което се търсят средства, методи и технологии.

Основното противоречие на индустриалната цивилизация произтича от нейната вътрешна и външна агресивност спрямо средата, в която битува. Резултатът от тази агресивност е изоставането на темпото, с което се решават проблемите, спрямо темпото, с което се произвеждат. Това изоставане се изразява чрез изпреварващо замърсяване на околната среда и на човешкото съзнание.

Кризата, свързана с преодоляването на това противоречие, е цивилизационна и се изразява със състояние, при което „по старому не бива, по новому не може". С други думи казано, модерната култура и съзнание на индустриалното общество не са в състояние да преодолеят това противоречие, но същевременно човечеството не е в състояние да предложи адекватни подходи, институции и технологии за преодоляването му.

От позициите на трибологията проблемната ситуация може да се определи като **контактна недостатъчност на общочовешкото съзнание, морал и култура**.

Контактният подход на трибологията за преодоляване на проблемната ситуация предполага използването на модела на елементарната контактна система (ЕКС) „тяло-контакт-противотяло" под формата на универсален функционален атом на човешкото битие [3,4] (фиг.1).



Фиг. 1. Схема на функционалния атом на трибологията

Функционалният атом като цяло се формира от две алтернативи A_1 и A_2, и трето функционално тяло между тях A_3, наречено „контакт".

Според контактният подход на трибологията всяко нещо, което битува, трябва да формира функционален атом.

Глобалната криза като едно цяло A по модела на функционалния атом следва да съдържа две алтернативи A_1 и A_2, и контакт A_3 между тях.

Кризата A се представя вербално с - **амбициите на човечеството за благополучие и просперитет непрекъснато нарастват, а средствата, ресурсите и подходите за тяхното задоволяване непрекъснато изостават**.

Първата алтернатива A_1 на кризата се представя вербално с **– проблемната ситуация на човечеството се глобализира и интегрира, а човешкото съзнание и познание продължават да се диференцират и парцелират.**

Втората алтернатива A_2 на кризата се представя вербално с – **проблемната ситуация на човечеството ускорително се мултиплицира и хаотизира, а методите и средствата за преодоляването ѝ се стерилно рационализират и стандартизират.**

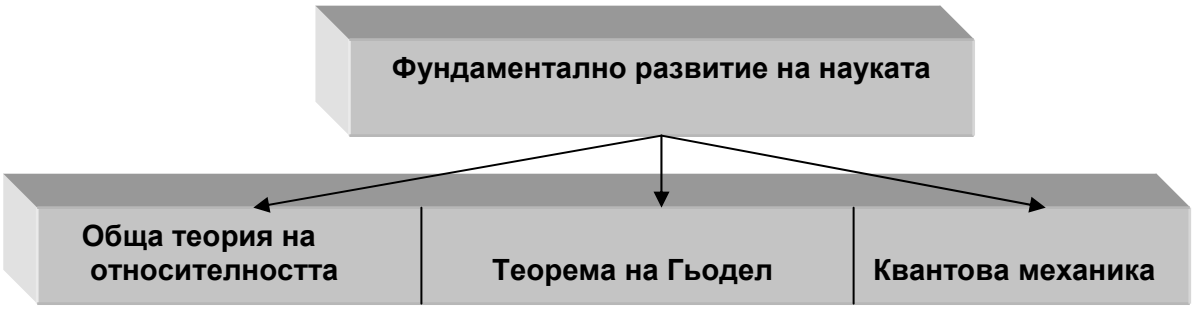
Контактът A_3 на кризата вербално се представя с – **демаркационната пропаст между алтернативите** A_1 и A_2**, маркираща контактната недостатъчност, се задълбочава и разширява, дестабилизацията нараства, но преходът към информационна цивилизация се забавя .**

2.2. За фундамента на глобалната криза

Сред хилядите дисциплини на съвременната наука се намира групата на т.н. фундаментални науки. Последните формират ядрото на общонаучната парадигма.

Централно място сред фундаменталните науки без съмнение заемат физиката и математиката. Ето защо поставеният въпрос за криза във фундамента на науката предполага кризисни моменти в развитието на физиката и математиката. Парадоксална е ситуацията в развитието на тези науки през XX век. От една страна се отчита, че най-крупните постижения в тях са осъществени през XX век, а от друга страна се констатира, че XX век е кризисният период в тяхното развитие. Наистина кой би могъл да отрече, че във физиката теорията на относителността на Айнщайн и квантовата механика са върхови постижения в развитието на модерната наука, а теорията на множествата и на аксиоматичния подход, и свързаната с тях теорема на Гьодел са върхови постижения в математиката. Същевременно в аспекта на поставения тук въпрос следва да се констатира, че тъкмо тези постижения затвориха функционалното пространство на фундаменталната криза на науката. Тази констатация можем да се представи нагледно чрез модела на трибологията „тяло-контакт-противотяло" за всяко цяло. В случая цялото е фундаменталното развитие на науката $(ФРН)$ през XX век, а алтернативите „тяло" и противотяло" се представя съгласно схемата на фиг. 2 чрез Общата теория на относителността $(ОТО)$ и квантовата механика $(КМ)$, а контактът между тях се изявява най-вече с теоремата на Гьодел $(ТГ)$.

Алтернативният характер между $(ОТО)$ и $(КМ)$ се състои в това, че първата описва движението на обектите от макросвета, а втората – движението на частиците от микросвета. Несъвместимостта между макро- и микросвета се изразява формално с липсата на съответствие между теоретичните основи на двете теории. Разбира се и двете теории претендират за универсалност, т.е. уравненията и законите им се отнасят както за макро-, така и за микросвета, но преход между законите на двете алтернативи е невъзможен на този етап. Така, че използването на уравненията от квантовата механика за обекти от макросвета, както и приложението на $(ОТО)$ в микросвета е необосновано. Допирните точки между тези две теории се осъществяват само в областта на Големия взрив и в Черните дупки на Вселената.



Фиг. 2. Функционален атом на фундаменталното развитие на науката

Кризисният характер на взаимодействието между теориите на двете алтернативи се изразява в това, че първата е детерминирана и обективна, а втората е вероятностна и субективна. Теоремата на **Гьодел** в тази схема е теоретичен израз на контактната непроходимост между тях.

Теоремата на **Гьодел** е възлов момент в кризисния атом на научния фундамент, т.к. е доказателство за криза в основите на математиката. По-конкретно тази теорема е удар върху универсалността и пълнотата на аксиоматичния подход на математиката.

Твърдото съмнение в безпогрешността и всеобхватността на аксиоматичния подход тръгва от началата на **Евклид** в геометрията. Едно от тези начала, наричани аксиоми, беше нарушено от **Лобачевски**, но резултатът, който се получи от това нарушение послужи за основа на общата теория на гравитацията, разработена от Айнщайн. Последната, както е известно, получи всеобщо признание.

Идеята на **Евклид** за изграждане и установяване на пространствените характеристики на геометрични фигури на основата на фундаментални (очевидни) истини, наречени аксиоми, завладя изтънчения вкус на математиците и стремежът им към съвършенство и изящество на доказателствата в теорията.

В края на XIX век немският математик **Д. Хилберт** в своя труд „Основания на геометрията" разработи цялостно и по-пълно аксиоматичния й подход. По-нататък същият подход беше приложен и в други части на математиката например от **Г. Фреге** в аритметиката и **Б. Ръсел** в теория на множествата. Именно при последните в началото на XX век изникват противоречия, известни като „парадокси на теорията на множествата". По думите на **Хилберт** тези парадокси имат катастрофално въздействие върху математиката. По-конкретно Хилберт в своя доклад, изнесен на конгреса на математиците през 1925 г., пише: „Трябва да признаем, че пред лицето на тези парадокси положението, пред което ние се намираме, е непоносимо". И по-нататък той се обръща с въпрос към математиците „....Къде трябва да се търси сигурност и истинност, ако математическото мислене дава грешки?"

Собственият отговор на **Хилберт** на този въпрос и на неговата школа получава наименованието „Гьотенгенска програма". Накратко смисълът на тази програма може да се представи с нейната цел, а именно да се докаже, че математиката може и трябва да бъде представена като система от следствия, които по логичен път се извеждат от фундаменталните (аксиоматични) начала.

Във връзка с тази цел в програмата се планира представянето на математиката като пълна логическа система, която е в състояние да докаже истинността или лъжливостта на всяко твърдение стига да се следват правилата на тази система.

Хилберт е бил предварително убеден, че съществува обща процедура в математиката, която да е в състояние да решава всичките й въпроси, нещо повече той е вярвал, че аксиоматичният подход е приложим и във всички други науки. В своята научна статия „Познание на природата и логиката" Хилберт пише: „Дори в най-широките по своя обхват области на знанието много често е достатъчен малък брой изходни положения, обикновено наричани „аксиоми", върху които след това по чисто логичен начин може да се надгражда цялото знание на разглежданата теория".

Въпреки очакваните големи успехи от изпълнението на Гьотенгенската програма на Хилберт крайният резултат е, че световната „аксиоматизация" не се състоя. Причината за това е широко известната теорема на **Курт Гьодел** за непълнотата на аксиоматичния подход в математиката. Най-разпространената формулировка на тази теорема се представя във вида: „За всяка непротиворечива система от аксиоми съществуват твърдения, които в рамките на приетата аксиоматична система не могат да бъдат доказани, нито отхвърлени". Теоремата за първи път **Гьодел** докладва през 1930 г. в Кьонингсберг като част от неговия доклад „За пълнотата на логическото изчисление". Докладът е изнесен на конференция на Виенския кръжок, в който той членува.

Любопитно и многозначително е, че на същата конференция доклад изнася и **Хайзенберг**, свързан с известното „съотношение на неопределеността" в квантовата механика.

Основните изводи, които могат да се направят по повод на теоремата на Гьодел, се свеждат до:

- компютърът, който се основава на математическата логика, е само едно изчислително устройство и като такова не може да се усъвършенства до нивото на „изкуствения интелект", т.к. неизчислителните способности характерни за интелекта не са му достъпни;
- механо-детерминистичната парадигма на индустриалната епоха изчерпва своя исторически ресурс и следва да предостави място на нова комплексна научна парадигма. Междуцарствието до появата на новата парадигма всъщност е времето и пространството на съвременната научна криза;
- кризата е особено осезаема за социалните и хуманитарните науки, най-вече поради сложността на техния обект, случайностите и несигурностите, протичащи в него, свързани с личната свобода и воля на човешките индивиди и формирования;
- науката и математиката в частност не са затворени системи, а обратно – преоткриват непрекъснат простор за ново знание.

Теоремата на **Гьодел** ни принуждава да погледнем по друг начин на науката за природата, техниката и обществото, отчитайки едновременното присъствие в нейното съдържание и функциониране на рационални и ирационални компоненти.

2.3. За изхода от кризата

Становището, че точното формулиране на проблема представлява 50% от неговото решаване, е общоприето методологично правило.

Нашата оценка за кризата като глобална и цивилизационна предполага решения на всички нива: онтологични, теоретични и културни.

Идеята за трети онтологичен модел, обозначен като **триализъм**, датира от 1970 г. и битува във функционалното пространство на Центъра по трибология към ТУ-София. Базовото понятие в триализма е появата на трето начало в състава на дуалистичния модел на модернизма.

Третото начало тръгва от трибологията с понятието **контакт**, минава през **контактните мрежи** и приключва с понятието **функционален атом**.

На фиг. 3 по модела на функционалния атом е анализирана онтологията на триализма на пет равнища в различни срезове.



Фиг. 3. Триализмът като онтологичен модел в различни срезове

В онтологичен срез чрез модела на триализма се затваря на първо равнище функционалният атом на онтологията като философия на битието като цяло.

Монизмът като алтернатива издига едно начало на битието (материя или дух), дуализмът като алтернатива на монизма издига две паралелно съществуващи алтернативни начала (материя и дух). Триализмът допълва дуализма с трето начало под формата на контактни мрежи, които примиряват, обединяват и осъществяват в единство непримиримите алтернативи.

На второ равнище в научен срез триализмът се представя чрез триадата „теория-подход-приложение".

Теоретичните решения за изход от кризата на основата на триализма като модел предполагат арсенал от понятия, нови принципи, подходи и закони. В теоретичния арсенал на триализма влизат и три фундаментални потенциала: активен, реактивен и комуникативен (контактен), които лежат в основата на универсалния закон за контактното взаимодействие на функционалните атоми в състава на човешкото битие.

Новото цивилизационно състояние, към което се отправя човечеството под формата на информационно общество, предполага нова култура, съзнание и подходи, представени на следващите равнища.

Общият подход на триализма формира собствен функционален атом с две алтернативи – вербални и квантитативни подходи, и трети подход между тях, наречен от нас **контактен подход**.

В пространството на вербалните подходи присъстват хуманитарните науки и изкуствата. В пространството на квантитативните подходи се намират експерименталните и рационалните науки и теории, основаващи се на класическата парадигма на Нютон. В пространството на контактния подход са всички частно-научни, общо-научни и интердисциплинарни подходи, които формират в единство функционалния атом на следващо четвърто равнище.

И накрая на последното пето равнище интердисциплинарните подходи включват в състава си всички индуктивни, дедуктивни и проблемни методики и решения в тяхното технологично единство. По такъв начин координатното начало, около което се формира прагматизмът на бъдещото общество, предполага редукция на цялото съзнание, морал и наука към способността на човечеството да предизвиква и решава проблеми.

Контактният подход, който тръгва от трибологията, е научна и социална технология, която първо трябва да създава по-малко проблеми и второ – да гарантира своевременни и ефективни решения на неизбежните проблеми, които човечеството създава по посока на своето развитие и просперитет.

Дедуктивните и индуктивните подходи като алтернативни не са в състояние поотделно и заедно да гарантират темпото на решаване на проблемите адекватно на темпото, с което те ги създават.

Контактният подход като проблемен подход идва на сцената за да запълни именно този дефицит на алтернативните подходи, формирайки функционален център между тях.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накратко основните изводи от изложението дотук са:

- Триализмът като онтология затваря наличните дотук онтологични модели и формира устойчив онтологичен функционален атом на бъдещото общество;
- Контактният подход е универсален интердисциплинен подход, предполага ново триединно общочовешко съзнание, наука и култура, гарантираща устойчиво развитие на третото информационно цивилизационно състояние на човечеството;
- Мисията и възможностите за реализация на трибологията като наука потенциално се определят от нейния предмет, но зависят от това къде тя ще се позиционира и наложи в общото научно пространство на човечеството.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чихос, К. *Системный анализ в триботехнике*. превод от англ. език, Мир, М., **1982**.
2. Манолов, Н., Е. Асенова, М. Кандева. *Концепция за развитие на трибологията в България*.Изд. къща „Св. Иван Рилски”, С., **2005**.
3. Манолов, Н., М. Кандева. *Обща трибология*. Изд. къща „Св. Иван Рилски”, С., **2004**.
4. Манолов, Н. *Контактен подход*. ТЕМТО, С., **2007**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Проф. д.т.н. Нягол Манолов
Технически университет, София
e-mail: kandeva@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

DEVELOPMENT OF TRIBOLOGICAL MATERIALS INTENDED TO OPERATE IN VACUUM

Tinka GROZDANOVA

Abstract: *This paper analyzes tribological problems arising in vacuum usage of various mechanisms. Special attention is dedicated to boride covers as well as self-lubricating materials with similar tribological parameters.*

Key Words: *Composite materials, dry friction in vacuum.*

РАЗВИТИЕ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИТЕ МАТЕРИАЛИ ЗА РАБОТА ВЪВ ВАКУУМ

Тинка ГРОЗДАНОВА

Резюме: *Анализирани са трибологичните процеси, които възникват при работата на механизмите във вакуум. Разгледани са някои покрития и материали с оптимизирани трибопоказатели.*

Key Words: *Трибология, покрития, композитни материали.*

Трибологичните проблеми, които се появяват при работата на космическите механизми, изискват специфични решения. Трибопроцесите във вакуум протичат в отсъствие на традиционното смазване и конвекционно охлаждане. Получава се сухо триене, което води до разрушаване и премахване на окисните слоеве и работа при ювенилен контакт. Възникват центрове на задиране и зацепване, образува се студена заварка и блокиране на механизмите [1,2,3,].

При твърдите тела коефициентът на триене силно нараства, нарушава се термодинамичният баланс, температурата в контакта се покачва. Увеличава се пластичната деформация, ускорява се десорбцията от повърхността и дифузията от обема навън, проявява значително нарастване на адхезията и пренос на материалите в контакта [4,5].

Тези особености при експлоатацията на трибосистемите в Космоса водят до създаването на материали и покрития с подобрени трибологични показатели.

Ако коефициентът на триене е нисък, това означава икономия на енергия, а повишената износоустойчивост на материалите гарантира надеждна работа за по-дълъг период от време.

Изследването на сплави от типа алуминий-силиций показва, че тяхното приложение във вакуум е неуместно [6]. Използваните материали силумин (Al,Si,C) и бронз (Cu,Sn) съдържат графит, който при триенето във вакуум не е подходящ за твърда смазка поради своята летливост и неефективност в отсъствието на влага. При изследването на силумина с трансмисионен електронен микроскоп се установява, че решетката на алуминия не е деформирана, а атомите на силиция образуват свръхструктура по всички металографски повърхнини, т.е. силицият не е свързан с алуминиевата решетка. Наличието на свободни атоми силиций и въглерод в зоната на контакта могат да образуват силициев карбид, тетраедрите на който действат като абразив.

В случаите на триене на въглеродни стомани във вакуум адхезията е до 2 пъти по-голяма, отколкото на въздух [7]. Увеличението на адхезионната компонента може да доведе едновременно до силно нарастване на деформационната компонента. Показателна за настъпващите процеси е зависимостта на коефициента на триене от времетраенето на процеса [8]. При степен на вакуума 10^{-4} Pa, възвратно-постъпателно движение със скорост 0,25 m/s на трибодвойка от стомана 40Х (ГОСТ) и закалена стомана 45 (HRc 50) е установено, че след около 15 мин.от началото на процеса се наблюдава микрозадиране и рязко нарастване на коефициента на триене.

С експериментални данни е установено, че поведението на сплавите при тяхното триене във вакуум има специфични особености, за разлика от чистите метали [3].Различията в харктера на разрушаване на зацепените образци се обуславя от легиращия елемент. Процесът на задиране тук е обясним с електронната теория на сплавите. С разтварянето на елементи с голям брой валентни електрони в решетката на основния метал се извършва постепенно увеличаване на свободните електрони. В зависимост от степента на концентрация на електрони нараства тяхната енергия и става насищане на металните връзки.

При доближаване на триещите се повърхности на разстояние, осигуряващо междуатомно взаимодействие, се наблюдава взаимна дифузия на атоми и електронен обмен между контактуващите тела.

Един от ефикасните начини за уякчаване на повърхността на стоманите е нанасянето на покрития. Ефективно и перспективно в това отношение се явява борирането, при което се създават стабилни покрития с високи механични и антифрикционни свойства [9,10,11]. Полученият повърхностен слой е с повишена износоустойчивост и не образува студена заварка при сухо триене във вакуум [9]. Характерен недостатък на боридните покрития е тяхната крехкост. Вследствие на това се образуват микропукнатини и се увеличава износването на повърхността, особено в екстремални условия [12]. За избягване на тези ефекти се използват легиращи елементи, внесени чрез термодифузионна обработка на стоманата преди нейното бориране [9]. Много подходящи се явяват преходните метали цирконий, ванадий, титан, молибден, хром, ниобий [9,13,14]. Те изпълняват ролята на акцептор на електрони на желязото в системата „Желязо-преходен метал-Бор", образуват металоподобни връзки и пречат за образуването на боридни вериги и ковалентни връзки при съединенията от типа „Метал-Бор" [9,15]. В резултат на това пластичните свойства на покритието се подобряват, а те са пряко свързани с адхезията, която е преобладаващ фактор при сухо триене във вакуум.

При този режим на работа най-добри резултати срещу появата на задиране и зацепване са получени с разработването на самосмазващи си композитни материали. Те притежават високохетерогенна структура и компонентите им изпълняват строго определени функции. Медта и нейните сплави представляват носещата част (матрицата), а другите компоненти-оловото, калаят и др. осъществяват антифрикционните функции и подобряват механичните свойства [16,17,18,19].

Интересна е ролята на оловото, което не е химически свързано в матрицата. Вследствие на повишената температура в контакта, на пластичната деформация в повърхностния слой на материала и на разликите в коефициентите на дифузия и на термично разширение на матрицата и оловото, настъпва дифузия на оловото към триещата се повърхност. Проявява се ефект на самосмазване, което води до получаване на ниски стойности на коефициента на триене и интензитета на износване.

От екологична гледна точка, оловото се явява неприложима поради своята токсичност. Съществува тенденция за забрана на неговото използване в световен мащаб.

Най-новите решения на този проблем са свързани с включването на молибденов дисулфид (MoS_2). Той притежава слоиста структура, която спомага за проявяването на смазващ ефект при триене на въздух и във вакум.

Тези материали са изпитани и резултатите доказват, че са подходящи за изработване на лагери, шарнири и винтово-гаечни предавки, работещи в екстремални условия [9].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Механические свойства конструкционных материалов при низких температурах.* Сб. н. трудов под ред. Фридляндера И. М., Металлургия, **1983**.
2. Ибрагимов, Ш. Ш., В. В. Кирсанов,. *Радиационные повреждения металлов и сплавов*. Энергоатомиздат, М., **1985**.
3. Канарчук, В. Е. *Адаптация материалов к динамическим воздействиям*. Киев, Наукова думка, **1986**.
4. Крагельский, И. В., И. М.Любарский, А. А. Гусляков, Г. И. Трояновская, В. Ф. Уведенко. *Трение и износ в вакууме*. М. Машиностроение, **1973**.
5. Силин, А. *Трение в космическом вакууме*. Трение и износ, 1, №1, 1989, **168**.
6. Симеонова, Ю., Н. Гиздова, А. Шопов, Д. Йорданов, Т. Назърски. *Особености при използване на алуминиева сплав като елемент от тридодвойка, работеща във вакуум.* Научен семинар „**Трибология-90",** 1990, София, Сб. докл. т.1.
7. Любарский, И., М. Платник. *Металлофизика трения.*М. Металлургия **1976,176**.
8. Симеонова, Ю., М. Аструкова, Т. Грозданова, Л. Динкова. *Характерни особености на трибологичните процеси във вакуум.* Научно-технолог. Сесия **„Контакт-97"**, София, с б.д окл. **1997,** 144.
9. Войнов, Б. *Износостойкие сплавы и покрытия*. М. Машиностроение**,1980**.

10. Гидикова, Н. Легиране на боридни покрития с преходните метали Ti, Mo, Zr, Cr,V. Дисертация (д.т.н.), ИМ-БАН, София, **2001**.

11. Самсонов, Г., Т. Серебрякова, В. Неронов. Бориды. Атомиздат, М., **1975**.

12. Риле, М. Причины образования трещин в борированных сталях. Металловедение и термическая обработка металлов, № 10,**1974,** 20.

13. Smithels, C. *Metal References Book*, **Butterworts**, London, **1976**.

14. Gidikova, N., Yu. Simeonova, D. Petkova,. *Antifriction Coatings Produced By High Temperature Diffusion Treatment.* Material Science Engineering, A 184, **1994**, L1.

15. Начинков, А. Д., А. Ф. Захарова, Н. Г. Нефедов. *Исследование антифрикционных свойств хромоборированных и борированных диффузионных покрытий на сталях ШХ 15, 4Н 13, Р 18*. Защитные покрытия материалов, 8, **1974**, 132.

16. Юга, А. И. *Исследование влияния состава и структуры медных сплавов на их фрикционные свойства при трении в различных средах*. Дисертация (к.т.н.), Киев, **1973.**

17. Колесниченко, Л. Ф., О. И. Фущич, А. Д. Панасюк и др. *Контактное взаимодействие структурных составляющих антифрикционных композиционных материалов на основе меди*. Порошковая металлургия, №4, **1984**, 82.

18. Фущич, О. И., А. Д. Панасюк и др. *Межфазное взаимодействие структурных составляющих антифрикционных композиционных материалов на основе меди*. Адгезия расплавов и пайка материалов, 13, **1984**, 82.

19. Фущич, О. И. и др. *Влияние олова на формирование межфазной границы в антифрикционной композиции медь-свинцово-оловянистые сплавы*. Адгезия расплавов и пайка материатов, 8, **1981**, 41.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Асистент Тинка ГРОЗДАНОВА
Лаборатория „Вакуумни изследвания”
Институт за Космически и слънчево-земни изследвания, БАН
1000, гр. София, ул.”Московска” №6
e-mail: tinka_gr@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

CHARACTERISTICS AND EXPERIMENTAL DATA OF NEW SELF-LUBRICATING MATERIALS INTENDED TO OPERATE IN VACUUM

Tinka GROZDANOVA

Abstract: *New wear-resistant materials of the IPM class for the friction couples working in extreme conditions have been created. During the long research cooperation between IPM – NAN, Ukraine and SRI - BAS, a complex material study has been conducted to characterize materials by the most modern methods for analysis of the structure, basic tribological parameters and characteristics.*

Key Words: *Composite materials, dry friction in vacuum.*

ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ НА НОВИ САМОСМАЗВАЩИ СЕ МАТЕРИАЛИ ПРЕДНАЗНАЧЕНИ ЗА РАБОТА ВЪВ ВАКУУМ

Тинка ГРОЗДАНОВА

Резюме: *Разгледани са характеристиките и параметрите на нов клас антифрикционни самосмазващи се материали, предназначени за работа в екстемални условия (висока скорост, сухо триене във вакуум, повишено натоварване в контакта).*

Ключови думи: *Композитни самосмазващи се материали, сухо триене във вакуум.*

Към материалите, притежаващи способността да се адаптират в процеса на триене във вакуум, спадат самосмазващите се композитни материали, разработени в Института по проблеми на материалознанието при Националната Академия на Науките на Украйна. Между него и Института за космически и слънчево-земни изследвания при Българска Академия на Науките съществува съвместно научно-изследователско сътрудничество, датиращо от 1989 г. [1].

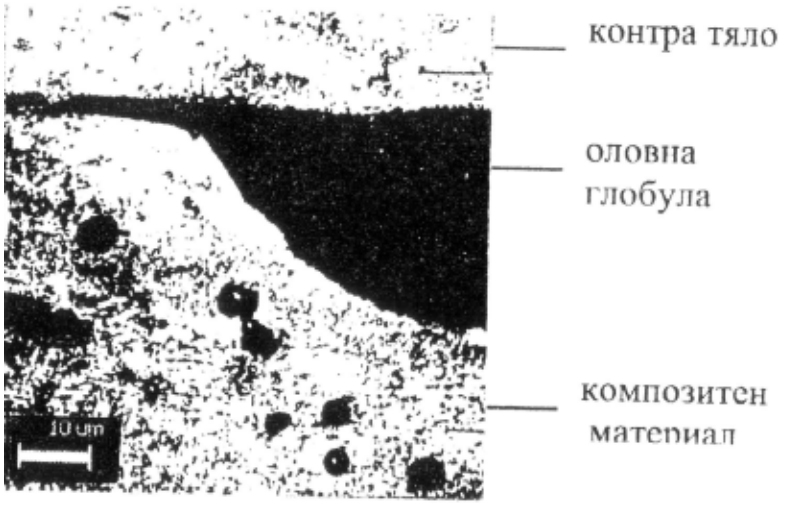
Един от тези материали, наречен ИПМ-1, е използван в трибовъзлите на космическия радиометър „Р-400”, включен в проект „ПРИРОДА” по програмата на втория български космонавт за орбиталната станция „МИР” [2,3,4]. Той представлява композитен материал на медна основа, легиран с фосфор и манган, съдържащ в структурата си олово под формата на глобуларни образувания. Притежава твърдост 92-95 НВ и е получен чрез леене. Хетерогенната структура ограничава пластичната деформация в повърхностния слой. Легирането с манган и фосфор подобрява механичните му свойства. Манганът образува с медта твърд разтвор и повишава якостта. Фосфорът образува твърда фаза $Cи_3P$, която се разполага по границите на зърната на твърдия рзтвор във вид на разкъсана мрежа и подобрява износоустойчивостта на композита. Оловото не взаимодейства с медта. В процеса на триене неговите образувания се ориентират по посока на движението и към повърхността.

Втори материал от този тип е ИПМ 304 от системата (Cu-P)-(Sn-Pb). Той е разработен на медна основа, легирана с фосфор и калай, също съдържащ в структурата си олово. Твърдостта на материала е 148-150 НВ и е получен чрез прахова металургия. Микроструктурата му включва твърди разтвори на калай и частично фосфор в медта. Легирането с калай подобрява механичните и антифрикционните му свойства.Останалият фосфор образува фаза $Cи_3P$, която също във вид на мрежа е разположена около зърната на твърдите разтвори [5]. В следствие на това се получава оякчаване и намаляване на пластичната деформация при сухото триене.

Трети материал от този тип е ИПМ-305 от системата (Cu-p-Ni)-Pb. Носещата матрица е изградена от мед и медни сплави, а оловото играе роля на твърда смазка. Материалът има твърдост 97-100 НВ и е получен аналогично на ИПМ-304. Легирането с никел и фосфор повишава неговите механични свойства. Никелът допринася за увеличаване на якостта и корозионноустойчивостта, а фосфорът образува с медта твърда фаза, която повишава

износоустойчивостта. Микроструктурата е изградена от твърдите разтвори на никела и частично на фосфора. Останалата част фосфор образува твърдите фази Cu_3P и Ni_3P, разпределени във вид на разкъсана мрежа по границите на зърната на твърдите разтвори. По този начин се повишава якостта на материала, без да се намалява пластичността [1]. Оловото не взаимодейства с медта и неговите глобули заемат място между зърната на структурата на композита [5,8].

При сухото триене във вакуум триещата се повърхност се обогатява с олово, което силно подобрява антифрикционните свойства. На фиг.1 е показано разнасянето на оловния слой по повърхността.



Фиг. 1. Разрез на контакта на трибодвойка „стомана-самосмазващ се композитен материал на медна основа”

При по-леките режими на триене обогатяването става вследствие на дифузията на оловото. При по-тежките режими на работа количеството на оловната смазка е по-голямо, тъй като температурата в контакта е по-висока и това позволява „избутване” на оловото към повърхността под действието на товара [6,7].

В таблица 1 са показани стойностите на основните трибопараметри на трите материала при различни режими на работа.

Таблица 1

Материали	Режим на сухо триене	Коефициент на триене	Интензитет на износване [$mm^3/N.m$]
ИПМ-301	Товар 2N		
	Скорост 0,2 m/s	0,23	5.10^{-5}
	Скорост 1,0 m/s	0,21	2.10^{-5}
ИПМ-304	Товар 2N		
	Скорост 0,2 m/s	0,22	2.10^{-5}
	Скорост 1,0 m/s	0,12	8.10^{-6}
	Скорост 0,2 m/s		
	Товар 10N	0,15	6.10^{-6}
	Товар 20N	0,19	1.10^{-5}
ИПМ-305	Товар 2N		
	Скорост 0,2 m/s	0,23	5.10^{-5}
	Скорост 1,0 m/s	0,19	4.10^{-5}
	Товар 10N		
	Скорост 0,2 m/s	0,21	5.10^{-5}

С увеличаване на скоростта при товар 2N коефициентът на триене намалява. С нарастване на товара износването остава непроменено или намалява.

Комплексното трибологично изследване е проведено в ИКИ-БАН и в отдела „Аерокосмически и космически материали и технологии" на Изследователския център в Зайберсдорф, Австрия [1,7]. То показва, че тези материали могат да работят ефикасно в среди без смазка, във вакуум, при висока температура, без да проявяват задиране и зацепване в зоната на контакта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Симеонова, Ю. *Изследване на нови материали и покрития с подобрени антифрикционни свойства за космическо приложение*. Хабилитационен труд (ст.н.с.I ст.), София, **2004** г.

2. Yuga, A., T.Chevichelova, Yu.Simeonova, T.Nazarsky. *Application of New Antifriction Material on Tribological Junctions of Space Research Equipment.* P r o c e e e d i n g s of II World Tribology C o n g r e s s, 2001, Vienna, Austria, **734**.

3. Nazarsky, T. et all. *Super High Frequency Two-polarization Radiometric System "R-400" on Board of the PRIRODA-Module Constituting a Part of the MIR Orbital Complex*. Aerospace Research in Bulgaria, BAS, Sofia, кн., 11, **1994г**., 47.

4. Косторнов, А., А. Юга, Т. Чевичелова, О. Фущич, Ю. Симеонова, Т. Назърский. *Композиционный антифрикционный материал для узла трения радиометрической системы „Р-400".* Вторая Украинская конференция по перспективным космическим исследованиям, **2000**, Крым, Украйна.

5. Фущич, О., А. Панасюк, Л. Колесниченко и др. *Влияние олова на формирование межфазной границы в антифрикционной композиции медь-свинцово-оловянистые сплавы*. Адгезия расплавов и пайки материатов, вып.8, **1981**,41.

6. Simeonova, Yu., G. Sotirov. *Study of the Parameters of New Antifrictional Materials Under Dry Friction Vacuum Conditions. BAS, ARC-Seibersdorf-Austria, ARC-W-0136*, p.p. 1-30, **2002** (Data Bank of the Europ. Major Research Infrastructure-AMTT).

7. Симеонова, Ю., Г. Сотиров, М. Аструкова, Т. Грозданова и др. *Нови антифрикционни материали с подобрени трибологични свойства за космическо приложение.* НТС **„Контакт-2003", 2003,** София, Сб.докл., 60.

8. Колесниченко, Л. Ф., О. И.Фущич, А. Д. Панасюк и др. *Контактное взаимодействие структурных составляющих композиционных антифрикционных материалов на основе меди.* Порошковая металлургия, №4, **1984,** 82.

9. Симеонова, Ю., Г. Сотиров, М. Аструкова, Т. Грозданова. *Нови антифрикционни самосмазващи се материали за работа в екстремни условия.* V Scientific Conference with International Participation SENS **2009,** Sofia, Bulgaria, P r o c e e d i n g s, 293.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Асистент Тинка ГРОЗДАНОВА
Лаборатория „Вакуумни изследвания"
Институт за Космически и слънчево-земни изследвания, БАН
1000, гр. София, ул."Московска" №6,
e-mail: tinka_gr@abv.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

NEW METHODOLOGICAL IDEAS AND POSSIBILITIES FOR STUDY AND QUALIFYING OF WEAR RESISTANT COATINGS

Mara KANDEVA **Dimitar KARASTOYANOV**

Abstract: *The paper presents analysis of the actual methods in the study and qualifying of tribomaterials and wear-resistant coatings. New ideas and possible procedures of the methods and devices have been proposed for the study of the tribological behavior of materials and coatings with the aid of the interdisciplinary approach.*

Key Words: *tribology, wear, laws, interdisciplinary approach, coatings.*

НОВИ МЕТОДОЛОГИЧНИ ИДЕИ И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ И ОКАЧЕСТВЯВАНЕ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВИ ПОКРИТИЯ

Мара КАНДЕВА **Димитър КАРАСТОЯНОВ**

Резюме: *В работата се прави анализ на действащите методологии в изследването и окачествяването на трибоматериали и износоустойчиви покрития. Предлагат се някои нови идеи и възможни схеми на методики и устройства за изследване на трибологичното поведение на материали и покрития с помощта на инвтердисциплинния подход.*

Ключови думи: *трибология, износване, закон, интердисциплинен подход, покрития.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Въпросите на трибоквалиметрията, свързани с изследване и окачествяване на износоустойчиви материали и покрития се решават в съответствие с принципиалния статус на трибологичната парадигма. Последната се определя като мултидисциплинарна с механичен контекст. Това по-конкретно означава, че законите за триене, износване, мазане и др. се формират по принципа „причина-следствие" и се редуцират до прости зависимости от вида:

$$И = И(p) \text{ или } И = И(A_r) \quad (1)$$

където $И$ в случая е износването, p - номиналното контактно налягане, а A_r е фактическата площ на допиране. Аргументите p или A_r се разглеждат като причини, а износването $И$ като следствие.

Линеаризирането на закона за износване е пряко следствие от механичната парадигма в трибологията, характерна за Нютоновата механика.

На основата на Нютоновата и мултидисциплинарна парадигми се стандартизират методи и устройства за изследване и окачествяване на трибоматериали и износоустойчиви покрития.

Основният недостатък на действащата методология в трибологията се състои в това, че трибоелементите в машините и съоръженията или не се променят (износват, деформират), или ако се променят, то промяната е линейна по своя характер. Богатото многообразие в поведението на материалите, свързано с износването и други трибологични процеси, обикновено се отчита с големия брой експериментални константи на пропорционалност под формата на коефициенти на триене, износоустойчивост, вискозитет и др.

Пред трибологията стои въпроса: Съществува ли необходимост от друг подход при изследване и окачествяване на трибологичното поведение на материали и покрития?

Нашият отговор на този въпрос е, че съществува и този подход се основава на интердисциплинната парадигма на трибологията, според която едни и същи материали при

едни и същи условия са възможни вътрешни динамични промени, свързани с динамичната модификация на контактните съединения в процеса на експлоатация.

В настоящата работа се предлагат някои нови идеи и възможни схеми за методи и устройства за изследване и окачествяване на трибоматериали и износоустойчиви покрития с помощта на интердисциплинен подход.

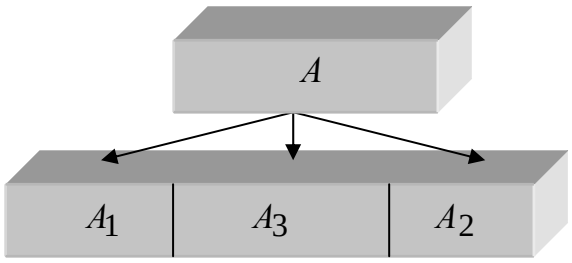
2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Интердисциплинният подход в трибологията предполага задължително предоставяне на автономна и централна роля на контактите и контактните мрежи като трето функционално начало на всяко цяло. Централната роля на контактите се състои в това, че те следва да изпълняват едновременно три функции: да разделят, да обединяват и да осъществяват устойчивото поведение на контактните системи. Тези си функции контактите изпълняват благодарение на своята структура, адаптивност и креативност.

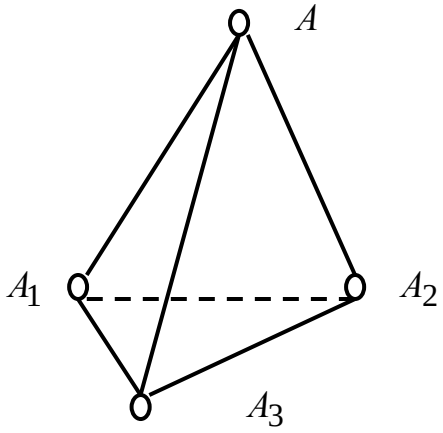
2.1. Теоретична част

Основното понятие и модел, на които се базира теорията на интердисциплинния подход в трибологията са понятието и модела на функционалния атом. Последните представляват абстрактно-рационален израз на идеята за елементарна контактна система, която включва в състава си две алтернативи – тяло и противотяло, и трето функционално тяло между тях, наречено **контакт.** Централната роля на контакта се изразява в това, че без него алтернативите са „мъртви", т.е. контактът е този, който може да оживи системата и да я направи реален факт на битието под формата на триединно образувание (функционален атом).

Заключението от казаното дотук е, че всяко цяло A, което битува, задължително трябва да формира функционален атом, включващ две алтернативи A_1, A_2 и контакт между тях (фиг. 1, фиг. 2).



фиг. 1.Равнинен модел на функционалния атом



фиг. 2.Пространствен модел на Функционалния атом

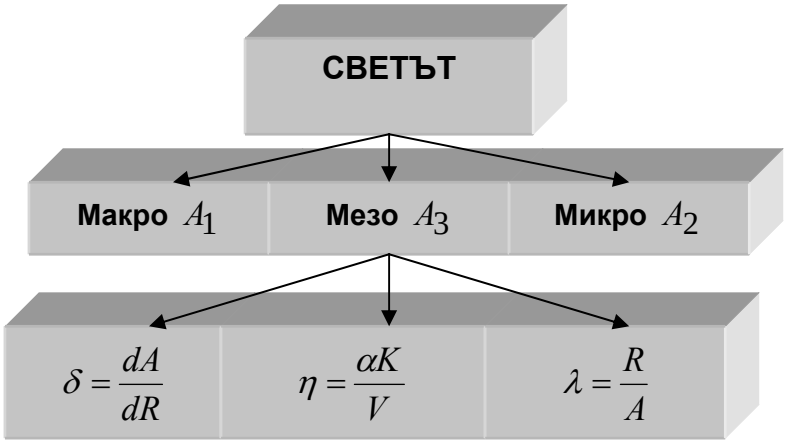
Идеята на функционалния атом, осъществена на глобално ниво в два среза – пространствен и познавателен, е изобразена на фиг. 3.

Практически интерес за нас представлява функционалното пространство V на мезосвета A_3, в който реално човечеството битува.

Смущенията, които изпитва мезосвета като атом на всички нива и равнища в относителни единици се представят с активния потенциал $\delta = \frac{dA}{dR}$, а реактивният потенциал – $\lambda = \frac{R}{A}$, където A е тоталното смущение, а R - тоталната реакция. Контактният потенциал η, който е обект на внимание в тази работа, се формира от контакта K в интегралното му измерение, отнесен за единица обем от функционалното пространство на атома.

Така се достига до известната формулировка на общия закон на трибологията: Всяко контактно образувание е функционално (битува), ако мултипликацията на трите му потенциала е равна на единица:

$$\eta\delta\lambda = 1 \qquad (2)$$



фиг. 3.Функционален атом на света в два среза

В разгъната диференциална форма законът се представя във вида:

$$\frac{dR}{R} = \eta \frac{dA}{A} \tag{3}$$

Относителното изменение на реакцията $\frac{dR}{R}$ и на акцията $\frac{dA}{A}$ са свързани помежду си с контактния потенциал η. В общия случай η е специфична функция на R и A

$$\eta = \eta\left(R, A\right) \tag{4}$$

Чрез закона за изменение на η в (4) практически се отчита състоянието и ролята на контакта за всички видове форми на мезосвета.

Тук е мястото да констатираме, че в механичните и мултидисциплинарни модели $\eta = const$. Например за пространството на всички механични системи $\eta = 1$.

Общият закон на трибологията затова се нарича общ, защото се отнася за всички видове контакти, за всички контактни процеси, на всички равнища и срезове на тяхното битуване.

Тоталната акция, която изпитва всеки атом, може да се формира от различни компоненти по три начина: да се суперпозира, да се мултиплицира и да се комбинира.

Първи случай: Дадено е

$$A_1 + A_2 + .. + A_n = \sum_i^n A_i \tag{5}$$

и $\frac{dR}{R} = \eta \frac{dA}{A}$, $\quad i = 1, 2, ..., n$,

От (5) и (3) следва:

$$\frac{dR}{R} = \eta \frac{d\left(A_1 + A_2 + ... + A_n\right)}{A_1 + A_2 + ... + A_n} = \eta \frac{dA_1}{A_1\left(1 + \frac{A_2}{A_1} + ... + \frac{A_n}{A_1}\right)} + \eta \frac{dA_2}{A_2\left(\frac{A_1}{A_2} + 1 + ... + \frac{A_n}{A_2}\right)} + ... +$$

$$\frac{dA_n}{A_n\left(\frac{A_1}{A_n} + \frac{A_2}{A_n} + ... + 1\right)} = \eta_1 \frac{dA_1}{A_1} + \eta_2 \frac{dA_2}{A_2} + ... + \eta_n \frac{dA_n}{A_n},$$

където: $\eta_1 = \dfrac{\eta}{1+\frac{A_2}{A_1}+...+\frac{A_n}{A_1}}$;…; $\eta_n = \dfrac{\eta}{\frac{A_1}{A_n}+.\frac{A_2}{A_n}+...+1}$, т.е.

$$\frac{dR}{R} = \sum_i^n \eta_i \frac{dA_i}{A_i};\ \eta = \sum_{i=1}^n \mu_i\ . \tag{6}$$

Вижда се, че всяка компонента A_i на общото смущение се характеризира със собствен комуникативен потенциал η_i. Общият комуникативен потенциал η се суперпозира от частните контактни потенциали η_i.

Втори случай: Дадено е:

$$A_1 A_2 ..A_m = \prod_j^m A_j \tag{7}$$

и $\dfrac{dR}{R} = \eta \dfrac{dA}{A}$; $j = 1,2,...,m$.

От (7) и (3) следва:

$$\frac{dR}{R} = \eta \frac{d\left(A_1 A_2 ... A_m\right)}{A_1 A_2 ... A_m} = \eta \frac{dA_1}{A_1}\frac{\left(A_2 ... A_m\right)}{A_2 ... A_m} + \eta\ \frac{dA_2}{A_2}\ \frac{\left(A_1 ... A_m\right)}{A_1 ... A_m} + .. + \eta \frac{dA_m}{A_m}\ \frac{\left(A_1 A_2 ... A_{m-1}\right)}{A_1 A_2 ... A_{m-1} A_m} = \eta \frac{dA_1}{A_1} +$$

$$+\eta \frac{dA_2}{A_2} + ... \ \eta \frac{dA_m}{A_m} = \eta\left(\frac{dA_1}{A_1} + \frac{dA_2}{A_2} + ... + \frac{dA_m}{A_m}\right), \text{ т.е.}$$

$$\frac{dR}{R} = \eta \sum_i^n \frac{dA_i}{A_i}\ . \tag{8}$$

Трети смесен (общ) случай: Дадено е:

$$A = \prod_j^m A_j\ ;\ \sum_{m+1}^n A_i \tag{9}$$

и $\dfrac{dR}{R} = \eta \dfrac{dA}{A}$, $j = 1,2,...,m$, $i = m+1, m+2....n$.

От (9) и (3) следва:

$$\frac{dR}{R} = \eta \frac{dA}{A} = \sum_{m+1}^n \eta_i \frac{dA_i}{A_i} + \eta \sum_j^m \frac{dA_j}{A_j}\ . \tag{10}$$

Както се вижда във втория случай при мултипликация комуникативният фактор е един и същ за всички компоненти, а в смесения случай – за суперпозиране комуникацията е специфична, при мултиплициране комуникацията е обща.

2.2. Методологична част

Общият закон за контактното взаимодействие в разгънат вид има вида:

$$\frac{dR}{R} = \eta \frac{dA}{A} = \eta_1 \frac{dA_1}{A_1} + \eta_2 \frac{dA_2}{A_2} + ... + \eta_n \frac{dA_n}{A_n} \tag{11}$$

където $\eta_1, \eta_2, ..., \eta_n$ са парциалните контактни потенциали, породени от съответните смущения $A_1, A_2, ..., A_n$.

В инженерната практика най-съществен измерител на износването се явяват онези контактни процеси, които са свързани с линейното изменение на механичните вериги. Тези изменения могат да бъдат последица от линейни, нелинейни, еластични, пластични контактни деформации и от масово деструктуриране и разрушаване на повърхностните слоеве.

Във всички случаи обаче от значение за линейното износване е оценката на парциалните контактни потенциали.

В тази работа ще разгледаме случаите, когато смущенията A_i могат да се прилагат автономно. Тогава, ако действа само смущението A_i, то формулата за определяне на контактния му потенциал ще бъде:

$$\eta_i = \frac{dR_i}{R_i} : \frac{dA_i}{A_i} \tag{12}$$

Или при наличие на експериментални резултати за зависимостта

$$R_i = f\left(A_i\right) \tag{13}$$

Формула (12) се модифицира във вида:

$$\eta_i\left(A_i, R_i\right) = \frac{\Delta R_i}{R_i} : \frac{\Delta A_i}{A_i} \tag{14}$$

Ако ни е известен потенциалът η и неговите парциални компоненти η_i, то законите за изменение на тоталната и парциални реакции се определят чрез интегриране на (11) и (12) в определени граници.

Тук се разглежда по системно случай на линейно износване, породено от контактни деформации.

Контактен потенциал при контактното деформиране

Контактите като функционални образувания в техническите съоръжения представляват в общия случай многофазни системи, включващи задължително в състава си грапавините и вълните на двете, взаимодействащи се чрез допиране, твърди повърхности. Най-често порите между грапавините са запълнени с въздух или течен смазочен материал.

Както вече посочихме, отличителна особеност за контакта като трето тяло в контактната система се явява обстоятелството, че той не може да се обособи самостоятелно както другите две алтернативни тела, но се изявява автономно като трето функционално тяло.

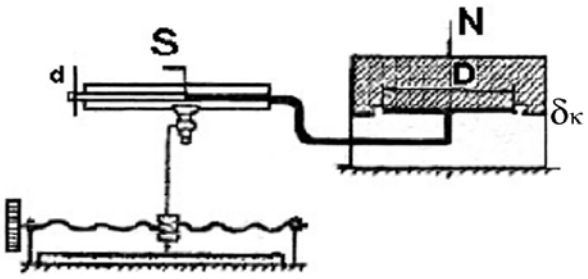
Автономността на изявите на контакта е частична и пълна. Частична е с участието си в общата деформация и премествания на контактни системи с нормалната на контакта топло-, електро- и звукова проводимост, работоспособност, дълготрайност, експлоатационна надеждност и др. Пълна е автономността на контактните изяви, свързана с процесите на триене, износване, мазане, херметичност, капилярност и др.

Тъй като техническите контакти имат дебелини от порядъка на микрометри $10^{-6}[m]$, то измерването на нормалните контактни деформации изисква наличието на много чувствителна система за преместване, която освен, че трябва да изключва обемните деформации на тялото и противотялото, да е в състояние да измерва и десетки и стотни от микрометъра.

На фиг. 4 е изобразена опитна установка на лабораторията по трибология, която е призната за изобретение като метод и устройство за измерване и изследване на нормални контактни деформации.

Същността на метода се свежда до усилване на слабия деформационен сигнал, идващ от контакта на твърди тела, чрез подходящ за случая хидравличен усилвател на премествания.

Хидравличният измервателен тракт включва в състава си вход с диаметър D и изход с диаметър d на хоризонтална капилярка.



Фиг. 4.Схема на опитна установка за измерване и изследване на контактни деформации

Тъй като течността в тракта (например вода) не променя обема си при деформация δ_k на контакта K между двата образеца 1 и 2, то при тяхното сближаване, съответстващо на δ_k, цилиндричната част на образеца 1 с диаметър D ще проникне в пространството на противотялото 2, което е запълнено с течност, така че част от обема на тази течност ΔV ще се измести и мениксът на течността в капилярата ще се премести на някакво разстояние ℓ наляво. Връзката между деформацията δ_k и преместването ℓ на меникса се определя от условието:

$$\Delta V = \frac{\pi D^2}{4}\delta_k = \frac{\pi d^2}{4}\ell \text{ или } \delta_k = \left(\frac{d}{D}\right)^2 .\ell \qquad (15)$$

Със следния пример се илюстрира чувствителността на системата. На каква деформация δ_k съответства преместване на меникса в капилярката с $1\ mm$. Или ако $D = 10cm$, а $d = 1mm$, то δ_k =?

Отговорът се съдържа във формула (15):

$$\delta_k = \left(\frac{10^{-1}}{10^2}\right)^2 .1 = 10^{-6} mm = 10^{-3}\mu m = 10\ \overset{o}{A}.$$

За да се намери връзката между деформацията δ_k на контакта и налягането p в контакта експериментално, е необходимо за всеки външен товар N да се пресмята налягането p и деформацията δ_k.

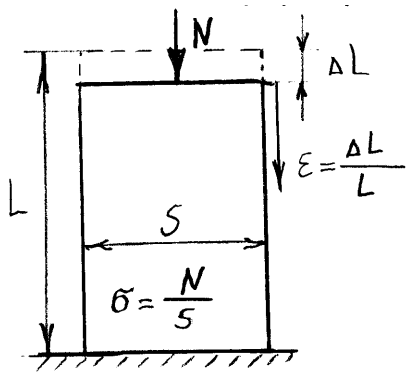
Налягането p се пресмята по формулата

$$p = \frac{N}{S_a} = \frac{N}{\pi\left(r_2^2 - r_1^2\right)}. \qquad (16)$$

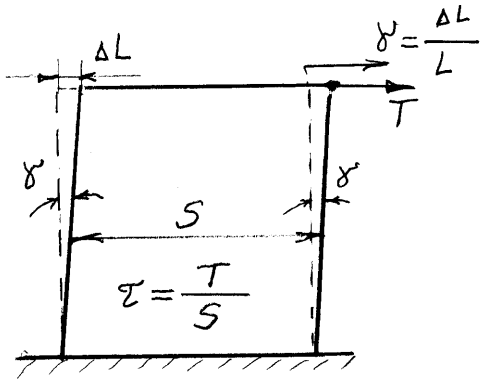
Контактната деформация δ_k се пресмята по формула (16) чрез прякото измерване на преместването ℓ за всяко p.

Закон за нормалното контактно деформиране

Идеята за законите на нормалното и тангенциално деформиране на твърди тела се илюстрира чрез фиг. 5 и фиг. 6.



Фиг. 5 Нормално деформиране на твърди тела



Фиг. 6. Тангенциално деформиране на твърди тела

Първата се отнася за нормалното деформиране, а втората – за тангенциалното деформиране, а законите са:

$$\sigma = E.\varepsilon \quad \text{и} \quad \tau = G.\gamma\,, \tag{17}$$

където σ е нормалното, а τ - тангенциалното напрежение; ε и γ - линейното и ъглово деформиране на тялото, а E и G - съответните модули на линейно и ъглово деформиране.

По подобие на (17) се въвеждат и използват аналогични понятия за контактно деформиране във вида:

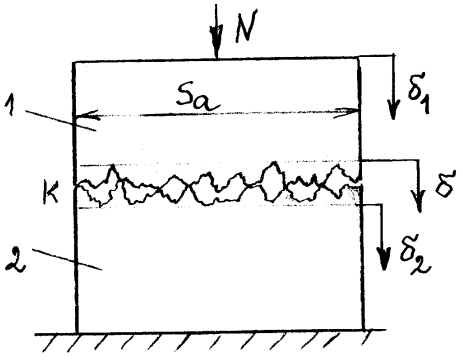
$$\delta = f_1(p) \text{ или } p = f_2(\delta) \text{ и } \gamma = f_3(\tau) \text{ или } \tau = f_4(\gamma)\,, \tag{18}$$

където

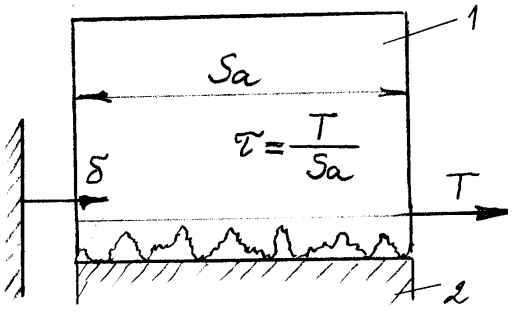
$$p = \frac{N}{S_a} \text{ и } \tau = \frac{T}{S_a}$$

са съответните нормално и тангенциално контактно налягане; δ и γ са съответните контактни деформации (премествания) – фиг. 7 и фиг. 8.

Функционалните зависимости (3.92) са известни в трибологията и трибомеханиката като закони за нормалното и тангенциално деформиране на контакта между телата.



Фиг.5.а Нормални контактни деформации



Фиг. 6.а Тангенциални контактни деформации

Законите за контактно деформиране (фиг. 5.а и фиг. 6.а), за разлика от законите за деформиране на телата, които контактуват, имат силно нелинеен характер и по традиция се представят в трибологията чрез степенни функции от вида:

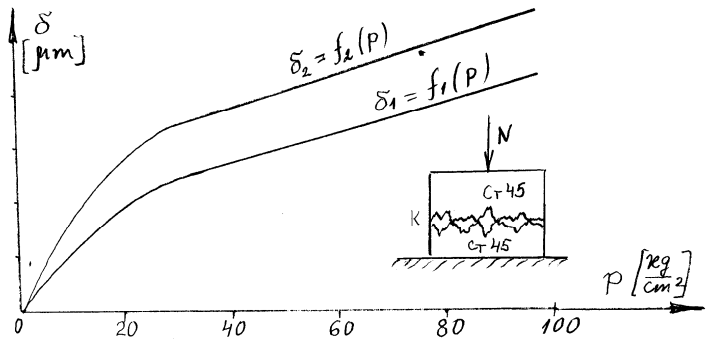
$$p = k_1\delta^{k_2} \text{ или } \delta = \frac{1}{k_1}p^{1/k_2} = c.p^k;\ c = \frac{1}{k_1};\ k = 1/k_2 \tag{19}$$

където k_1 и k_2 $(c$ и $\kappa)$ са характерни константи за различните технически контакти.

Най-често в практиката за константата k_2 се приема:

$$k_2 = 2, \text{ а } k = \frac{1}{k_2} = \frac{1}{2} \tag{20}$$

Нелинейният характер на контактните деформации се подкрепя от десетки експериментални резултати, публикувани в трибологични списания, дисертации и монографии.



Фиг. 7. Зависимост на нормалните контактни деформации от налягането

Заключението за контактна нелинейност се потвърждава и от наши теоретични и експериментални резултати. Нелинейният характер на закона за нормалното контактно деформиране се илюстрира с графиките (фиг.7), получени по експериментален път по описаната по-горе методика (фиг.4).

Горната крива $\delta_2 = f_2(p)$ се отнася за контакт, формиран от твърди повърхности с по-нисък клас на грапавост.

Въпросите, пред които се изправяме по-нататък са:

1. Дали законът за контактното деформиране, представен във формата (19), е закон от сферата на класическата парадигма на Нютон или от сферата на новата интердисциплинна парадигма?

2. Необходим ли е нов закон за контактното деформиране?

3. Каква е връзката на този нов закон с общия трибологичен закон?

Във връзка с отговорите на поставените въпроси се изхожда от парадигмалния функционален атом на трибологията. Двете алтернативи на функционалния атом на това равнище са монодисциплинната и полидисциплинната парадигма.

Един феномен, процес или закон в трибологията съответстват на една или друга парадигма в зависимост от комуникативния му фактор в състава на атома на този феномен:

Първо: За да присъства даден трибологичен фактор в пространството на Нютоновата парадигма, е необходимо

$$\eta = const = 1. \tag{21}$$

Второ: За да бъде един трибологичен фактор част от функционалното пространство на мултидисциплинна парадигма е необходимо

$$\eta = const \neq 1. \tag{22}$$

Трето: За да бъде един трибологичен фактор част от пространството на новата интердисциплинна парадигма е необходимо

$$\eta \neq const = \eta(A, R). \tag{23}$$

Четвърто: Комуникативният потенциал на контакта η за всеки трибологичен фактор (феномен, процес, закон) се пресмята по формулата:

$\eta = \frac{dR.A}{R.dA}$, откъдето $\frac{dR}{R} = \eta \frac{dA}{A}$ (24)

и в общия случай има различни стойности за различните контакти, за различните състояния на един и същ контакт и за различните свойства на този контакт, за който се отнася този потенциал.

Във формулата за η (24) A е смущението върху контакта; R е реакцията на това смущение от страна на контакта, която по принцип се изследва, а η - комуникативния потенциал на контакта за всеки конкретен случай на контактно взаимодействие.

Физическият смисъл на η е: η е число, което показва колко пъти относителната реакция на контакта е по-голяма или по-малка от относителното смущение върху него.

Чрез стойността на комуникативния потенциал за всеки конкретен случай се дава еднозначен отговор на въпроса "Към коя парадигма принадлежи разглежданият случай?"

Теза 1: Законът на Хук за линейното деформиране на еластично тяло $\sigma = E.\varepsilon$ принадлежи към функционалното пространство на Нютоновата парадигма, т.к.

$$f = \frac{dR.A}{R.dA} = \frac{d\varepsilon.\sigma}{d\sigma.\varepsilon} = \frac{d\varepsilon.E.\varepsilon}{E.d\varepsilon.\varepsilon} = 1. \quad (25)$$

Смущението в този случай е $A = \sigma$, а реакцията - $R = \varepsilon$.

Обратно, ако се търси закон за линейното деформиране в съответствие с парадигмата на Нютон, т.е. $\eta = 1$, то обезателно ще получим закона на Хук.

Действително от $\frac{d\sigma}{\sigma} = \frac{d\varepsilon}{\varepsilon}$, след интегриране се получава $\ell n\frac{\sigma}{c} = \ell n\varepsilon$ или $\sigma = c.\varepsilon$. За да се определи интеграционната константа c, се полага $\varepsilon = 1$, т.е. $c = \sigma = E$ - напрежението, при което се постига $\varepsilon = 1$. Окончателно $\sigma = E.\varepsilon$, това което трябваше да се покаже.

Теза 2: Законът за нормалното контактно деформиране:

$p = k_1\delta^{k_2}$, където $\kappa_2 \neq 1$.

принадлежи на функционалното пространство на мултидисциплинната парадигма.

Действително, ако смущението върху контакта $A = p$, реакцията на това смущение $R = \delta$; δ - деформацията на контакта и k_1, k_2 - са константи, то комуникативният потенциал η ще бъде:

$$\eta = \frac{dR.A}{dA.R} = \frac{d\delta.k_1.\delta^{k_2}}{k_1k_2.\delta^{k_2-1}d\delta.\delta} = \frac{1}{k_2} = k = const \neq 1 \quad (26)$$

Следователно, законът за контактното деформиране не е механичен, а мултидисциплинен (трибомеханичен) феномен в съответствие с (22).

Теза 3: Законът за контактното деформиране е част от функционалното пространство на интердисциплинната парадигма.

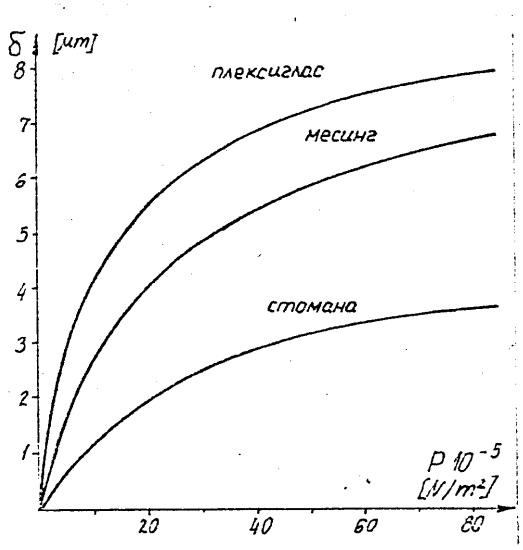
За да се докаже, че новата интердисциплинна парадигма присъства реално в процесите, свързани с контактното деформиране, е необходимо да се докаже, че комуникативният потенциал $\eta = k$ не е постоянна величина, а е една функция $\eta = \eta(p, \delta)$.

За целта се определя по експериментални данни по наши и чужди автори изменението на стойността на η в зависимост от p и δ по формулата:

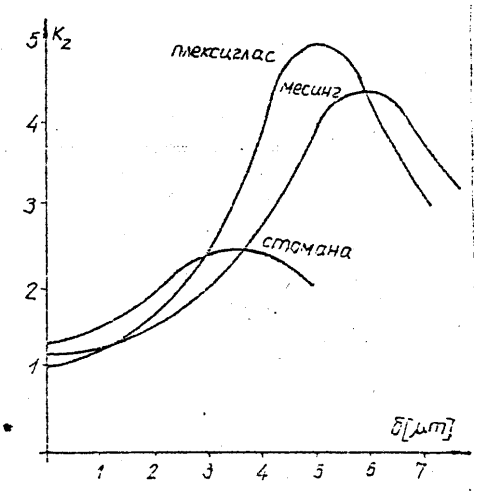
$$\eta = k = \frac{\Delta\delta.p}{\delta.\Delta p} = k(\delta, p) = const \quad \text{(фиг. 7)} \quad (28)$$

С това всъщност се доказва, че законът за нормалното контактно деформиране не е феномен нито на механичната, нито на мултидисциплинната парадигма, а е част от пространството на новата (трибологична) парадигма.

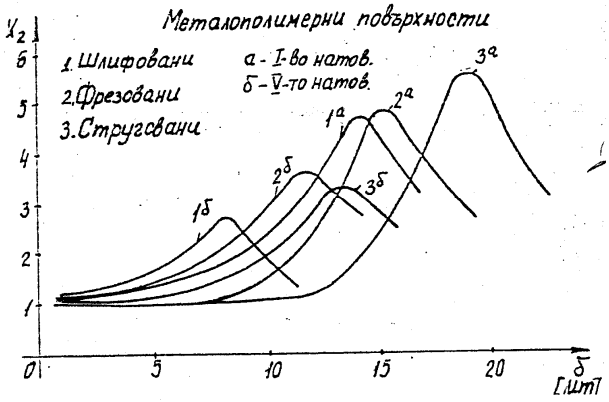
В съответствие със системните изследвания на коефициента $\kappa_2 = \frac{1}{\eta}$, проведени в лабораторията по Трибология за различни материали, при различна грапавост на обработка на контактуващите повърхнини и режим на натоварване, могат да се направят някои обобщения (фиг. 8, фиг.9, фиг.10, фиг.11).



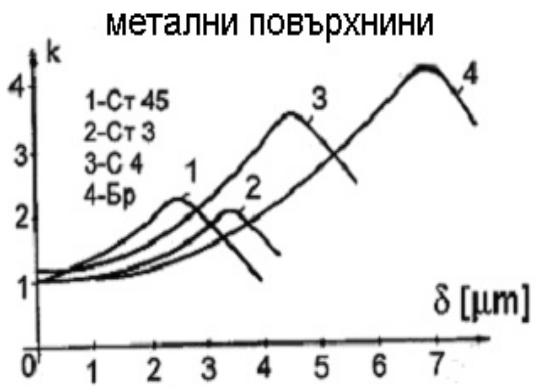
Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11

Първо: Коефициентът k_2 без изключение тръгва от стойност $\kappa_2 = 1$, нараства монотонно и достига във всички случаи до максимум. Максималната стойност на k_2 варира от $3 \div 6$ за различните материали, степени и начини на обработка на повърхнините в зависимост и от режимите на натоварване.

Второ: В периода от $0 \div \delta_{\max}$, който е традиционен режим на работа в техническите системи, зависимостта $k_2 = k_2(\delta)$ може да се апроксимира с функцията

$$k_2 - 1 = c.\delta^m, \quad m > 1, \quad 0 \le \delta \le \delta_{\max}, \tag{29}$$

така че в съответствие с формула (24) може да се запише $\frac{dp}{p} = \frac{1}{\eta} = \frac{d\delta}{\delta}$ или

$$\frac{dp}{p} = \left(1 + c\delta^m\right)\frac{d\delta}{\delta}, \quad 0 \le \delta \le \delta_{\max} \quad . \tag{30}$$

След интегриране за $p = p(\delta)$ се получава:

$$\ell np = \ell n\delta + c\int \delta^{m-1} d\delta + \ell nA_o\ , \quad A_o = const \tag{31}$$

Формулата (31) се привежда във вида $\ell n\frac{p}{A_o\delta} = \frac{c}{m}\delta^m$ и след антилогаритмуване се получава търсеният резултат:

$$p = A_o\delta.e^{\frac{c}{m}\delta^m}\ . \tag{32}$$

По-нататък се развива показателната част от функцията $p(\delta)$ в ред на Тейлор и се пренебрегват малките величини от втори порядък нататък:

$$e^{\frac{c}{m}\delta^m} = 1 + \frac{c}{m}\delta^m + ... = 1 + \alpha\delta^m;\ \ \alpha = \frac{c}{m} \tag{33}$$

Търсеният закон за нормалното контактно деформиране на телата получава нова окончателна форма:

$$p = A_o\delta\left(1 + \alpha\delta^m\right) \text{ за } 0 \le \delta \le \delta_{\max} \tag{34}$$

При $\alpha = \frac{c}{m} = 0,\quad p_1 = A_o\delta$ - линейната компонента на закона.

При $m = 1,$

$$p_2 = p - A_o\delta = k_1\delta^{k_2}\ , \tag{35}$$

което се явява нелинейната част в общия закон за нормалното контактно деформиране.

За да се получи по теоретичен път променлива контактна комуникация такава, каквато показват реалните контакти, трябва да се обоснове нов механизъм за нейното формиране.

Теорема 9: Променливата комуникация при контактното деформиране се поражда от суперпозирането на деформациите на грапавия и вълнист слой на контактуващите повърхнини.

Приема се експоненциален закон за деформирането на грапавия слой и нелинейна степенна зависимост на деформацията на вълнистия слой, така че общата деформация на контакта ще бъде:

$$\delta = \delta_г + \delta_в = H\left(1 - e^{-kp}\right) + cp^m \text{ за } 0 < \delta \le \delta_{\max}; m < 1, \tag{36}$$

Въведени са следните означения: δ - общата нормална контактна деформация; $\delta_г$ - деформацията на грапавия слой; $\delta_в$ - деформация на вълнистия слой; H - дебелина на грапавия слой; p - контактно налягане, k, c, m - константи.

Ако се развие в Тейлоров ред експонентата в (36) $e^{-kp} = 1 - kp + \frac{k^2p^2}{2!} + ...$ и се пренебрегнат малките величини в реда от втори и следващ порядък, се получава:

$$e^{-kp} \approx 1 - kp\ . \tag{37}$$

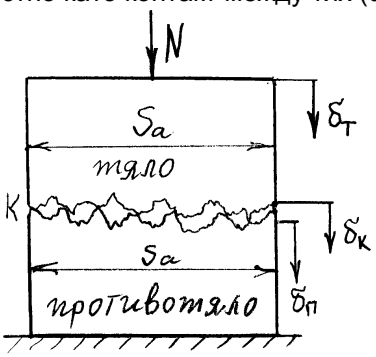
По такъв начин законът (36) добива вида:

$$\delta = Hkp + cp^m\ ,\quad 0 < \delta \le \delta_{\max}; m < 1 \tag{38}$$

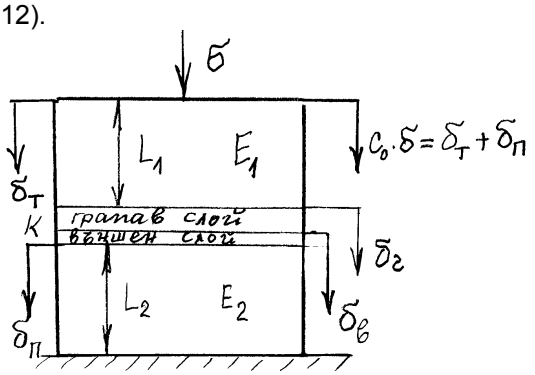
Така полученият закон $\delta = \delta(p)$ се характеризира с променлива комуникативност.

Деформация на контактни системи

Елементарната контактна система в техниката се състои от три тела – две алтернативни физически обособени тела, известни като тяло и противотяло, и едно функционално трето тяло, известно като контакт между тях (фиг. 12).



Фиг. 12



Фиг.13

Контактът между телата се представя моделно чрез два меки слоя: слой на грапавините и слой на вълните (фиг. 13).

Общата деформация δ на системата се формира от три деформации: деформация δ_T на тялото, деформация $\delta_П$ на противотялото и деформация δ_K на контакта, т.е.

$$\delta = \delta_T + \delta_П + \delta_K . \tag{39}$$

Контактната деформация от своя страна се суперпозира от $\delta_г$ и $\delta_в$ по формула (36).

Тъй като моделът за деформиране на контакта, представен чрез два слоя, е континуален, то следва да се въведе в законите за деформация вместо контактно налягане p, контактното напрежение $\sigma = \frac{N}{S_a}$.

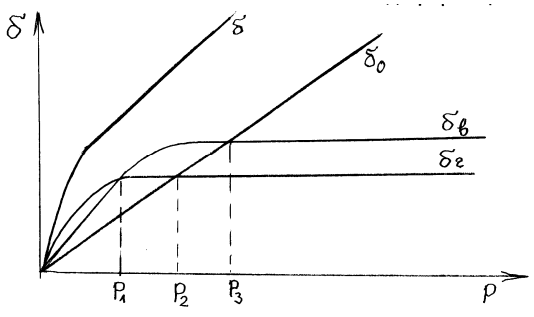
Законът за деформиране на елементарната контактна система по такъв начин добива вида:

$$\delta(\sigma) = H\left(1 - e^{-k\sigma}\right) + c\sigma^m + c_o\sigma \tag{40}$$

където:

$$\delta_г = H\left(1 - e^{-k\sigma}\right);\ \delta_в = c\sigma^m;\ c_o\sigma = \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}\right)\sigma \tag{41}$$

На фиг. 14 е построена нагледно графиката на тоталната деформация на контактната система, получена като резултат от суперпозирането на обемната и контактната деформации на системата.



Фиг. 14. Тотална деформация на контактна система

Парциални контактни потенциали при многофакторно линейно износване при масова деградация

Във всяка елементарна контактна система взаимодействието се описва с трикомпонентен закон под формата на три потенциала, които обозначаваме както следва: потенциал на смущението A, потенциал на реакцията R и потенциал на комуникацията λ (контактен) между тях. Трите потенциала са свързани помежду си чрез общия закон за контактното взаимодействие, записан в случая във вида $\frac{dR}{R} = \lambda \frac{dA}{A}$, където комуникативният (контактен) потенциал се определя по формулата $\lambda = \frac{dR}{R}\frac{A}{dA}$.

Комуникативният потенциал λ характеризира контактното взаимодействие между партньорите в трибосистемата.

Следва да се подчертае, че от трите потенциала най-променлив и динамичен е комуникативният потенциал, което произтича от обстоятелството, че характеристиките на контакта се променят, вследствие на което в поведението на системата задължително се внасят нелинейни ефекти и зависимости.

Изследва се износването като процес на масова деградация на образци с наварени биметални покрития. Целта е да се изследват комуникативните потенциали във функция на режима на изпитание за образци с различен химичен състав по посока да се разработят методики и устройства за ускорени изпитания на покрития в условия на износване по закрепен абразив на противотялото.

При изследване на образци, плъзгащи се по абразивна повърхнина, смущенията се явяват номиналното контактно налягане p и пътя на триене s.

Законът за масовото износване m на образците се представя във вида:

$$m = kps = kpvt = \frac{k}{\mu}\tau vt = \frac{k}{\mu}wt = \frac{k}{\mu}A_\tau = k\psi \; ; \; \psi = ps \tag{42}$$

където: v-скорост на плъзгане; t-време на плъзгане; μ-коефициент на триене при плъзгане; $w = \tau v$-специфична мощност на триенето; A_τ-специфична работа на триенето.

Параметърът k заслужава особено внимание, тъй като той отразява текущото променливо състояние на контактното взаимодействие между образеца и повърхнината на противотялото при всяко p и s. В този смисъл k е свързан с комуникативния потенциал λ в общия закон (42). Параметърът k и съответно λ са факторите, чрез които се внася динамика в закона (3). Тъй като тези два фактора зависят от структурата, състоянието на повърхнините, разпределението на налягането p и пътя на триене s за отделните точки от номиналната контактна повърхнина, то по този начин с промяната си те поддържат баланса между смущенията p и s, и реакцията във вид на деградирала маса m.

Факторът k съгласно закона (42) изразява деградилаата маса m на образеца при единица налягане p за единица път на триене s вследствие нестационарние характер на взаимодействието и в общия случай не е константа, а променлива величина. Дименсията на k в системата SI е $[s^2]$.

Във връзка с изменението на структурата, плътността и състава на покритията в процеса на износване при наличие на променливите смущения, посочени по-горе, следва да се констатира, че типичните условия, при които се изследват, изпитват и експлоатират покритията, са нестационарни, т.е. контактът се намира в непрекъснат режим на приработване. Този факт се констатира чрез изменението на факторите k и λ в процеса на триене.

Теоретично определяне на комуникативните потенциали при износване

В общия случай комуникативните потенциали са два, отчитайки диференциалното присъствие на двете смущения p и s поотделно, т.е.

$$\frac{dm}{m} = \lambda_p \frac{dp}{p} + \lambda_s \frac{ds}{s} \tag{43}$$

Ако двете смущения p и s се интегрират в едно смущение по формулата $\psi = ps$, то общият закон за деградиралата маса на образеца се записва във вида:

$$\frac{dm}{m} = \lambda \frac{d\psi}{\psi} \tag{44}$$

За да се определи връзката между комуникативните потенциали λ_p, λ_s и λ и фактора k на износването, се логаритмуват последователно закона за износването (42) в първия и последния му запис, т.е. $\ell nm = \ell nk + \ell np + \ell ns$ и $\ell nm = \ell nk + \ell n\psi$ и диференцират съответно

$$\frac{dm}{m} = \frac{dk}{k} + \frac{dp}{p} + \frac{ds}{s} \tag{45}$$

и

$$\frac{dm}{m} = \frac{dk}{k} + \frac{d\psi}{\psi} \tag{46}$$

От сравнението на (45) и (44) следва

$$\lambda_p = 1 + \frac{dk}{2k}\frac{p}{dp} \tag{47}$$

и

$$\lambda_s = 1 + \frac{dk}{2k}\frac{s}{ds} \tag{48}$$

а от сравнението на (46) с (44) следва

$$\lambda = 1 + \frac{dk}{k}\frac{\psi}{d\psi} \tag{49}$$

Ако се познават зависимостите $m = m(p)$ при $s = const$ и $m = m(s)$ при $p = const$, то λ_p и λ_s се определят пряко от (43) чрез зависимостите

$$\lambda_p = \frac{dm}{m}\frac{p}{dp};\ \ \lambda_s = \frac{dm}{m}\frac{s}{ds} \tag{50}$$

Аналогично за λ от (44) следва

$$\lambda = \frac{dm}{m}\frac{\psi}{d\psi} \tag{51}$$

Експериментални изследвания

Комуникативните потенциали на налягането и пътя на триене λ_p и λ_s се изследват експериментално по методика по схемата „палец-диск" с устройство, показано на фиг. 15.

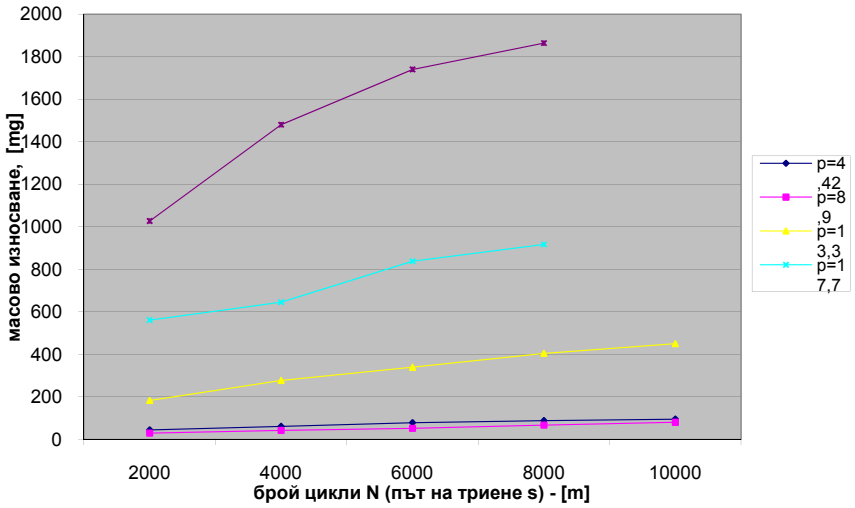
Устройството позволява едновременно изследване на два образеца при независимо задавани смущения – централно натоварване p и скорост на плъзгане ϑ.

Методиката се състои в следното: изследваният образец се монтира неподвижно със специално приспособление в натоварващата глава като челната му повърхнина контактува с абразивната повърхнина на противотялото - хоризонтален диск. Централното нормално натоварване P се предава на образеца посредством сферичен накрайник и се задава автоматично чрез лостова система. Устройството позволява изменение на скоростта на плъзгане при триене чрез изменение на оборотите на въртене на диска посредством управляващ блок и чрез промяна на местоположението на центъра на контактната площадка до оста на въртене на диск. Почистването на контактната зона от фини продукти на износване

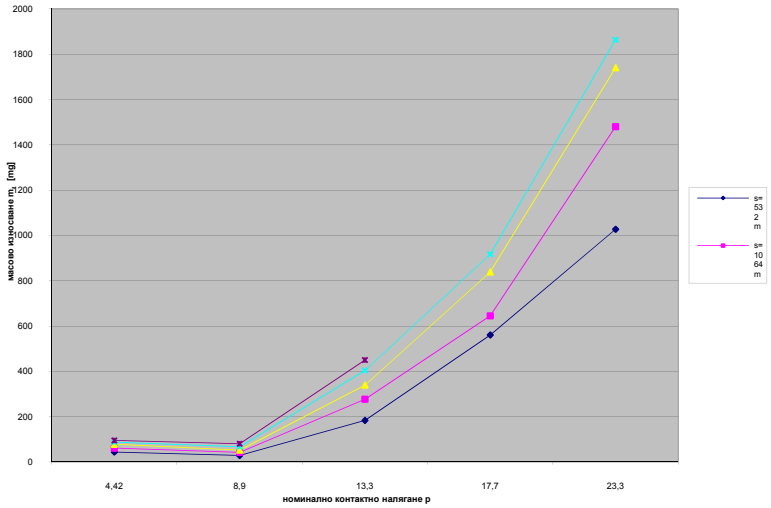
се осъществява чрез засмукването им с вакуумпомпа. При всеки опит се подменя абразивното противотяло.



Фиг. 15. Триботестер по схемата „палец-диск”



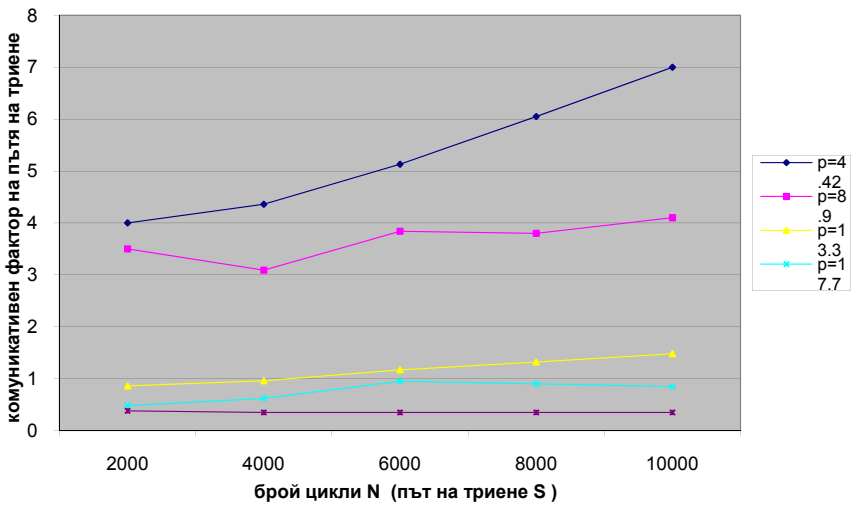
Фиг. 16. Зависимост на износването m от пътя на триене s



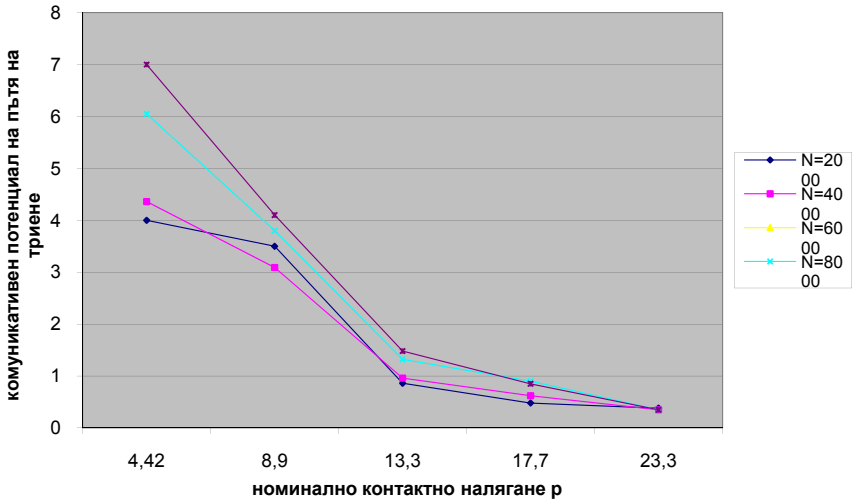
Фиг. 17.Зависимост на износването m от налягането p

На фиг. 16 и фиг. 17 са представени резултати на зависимостта на износването от пътя на триене и от контактното налягане.

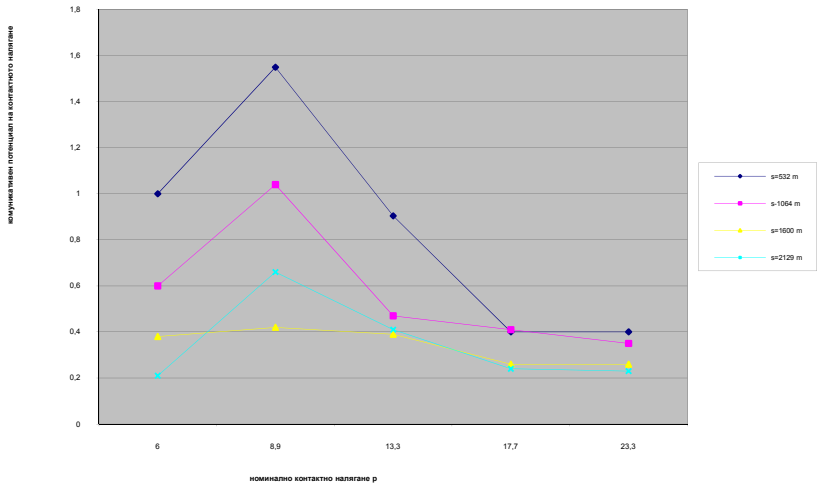
На фиг. 18, фиг. 19 и фиг. 20 са построени зависимостите на диференциалните комуникативни потенциали от пътя на триене и от контактното налягане.



Фиг. 18. Зависимост на комуникативния фактор λ_s от броя цикли N (пътя на триене s)



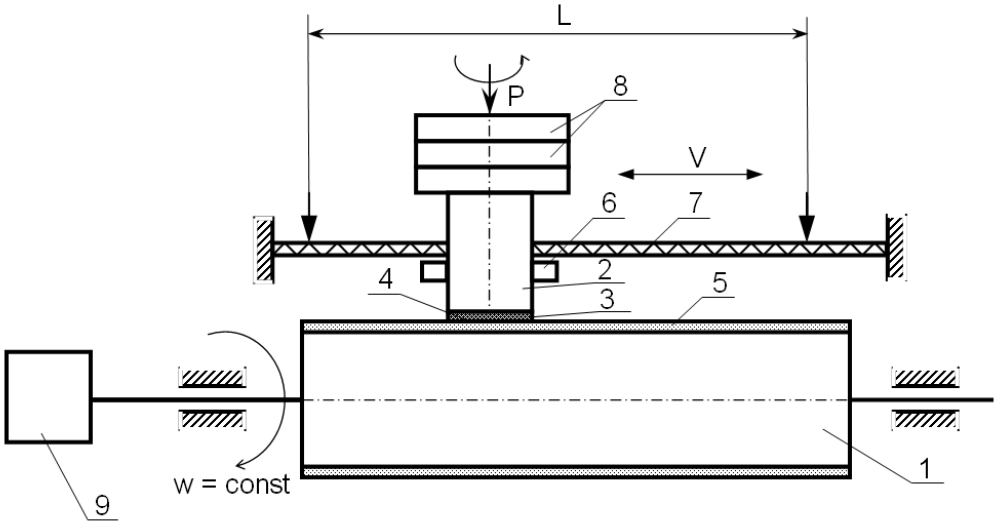
Фиг. 19. Зависимост на комуникативния потенциал λ_s от пътя на триене s



Фиг.20. Зависимост на комуникативния потенциал λ_p от налягането p

Експерименталното изследване на интегралния комуникативен потенциал λ се осъществява с унифицирано устройство, чиято схема е показана на фиг. 21.

Методиката се състои в следното: вертикален цилиндричен образец 2 с нанесено покритие 3 контактува чрез челната си повърхнина 4 с абразивната повърхнина 5 на противотялото под формата на цилиндричен барабан 1. Оста на барабана се нивелира. Образецът 2 се закрепва към натоварваща глава 6 посредством еластична връзка, която позволява самонагаждане на образеца 2 спрямо повърхнината 5 на барабана 1 и възможността му да се върти около собствената си вертикална ос. Тези обстоятелства гарантират условия за износване на цялата номинална контактна площ на образеца. Захващащото приспособление 6 включва и хоризонтален пръстен, който чрез външната си повърхнина се зацепва в неподвижната рейка 7, успоредна на образователната на барабана 1. Това обстоятелство осигурява релативна транслация на образеца по образувателната на барабана 1. Централното нормално натоварване се осигурява чрез избор на тежестите 8.



Фиг. 21. Триботестер по схемата: движение на образеца по спирала

Твърдозакрепеният абразив се моделира с шкурка Smirdex 330 Duroflex, P 80, 117 S V, закрепена неподвижно по цилиндричната повърхнина на барабана 1. Барабанът извършва ротация с постоянна ъглова скорост. Релативното движение на образеца 2 представлява равнинно движение: номиналната контактна площадка извършва транслация по образователната на барабана и едновременно ротира около вертикална ос, минаваща през нейния център. Точките от контактната зона имат различни по големина и посока скорости в даден момент от времето, тъй като релативното движение на активната повърхнина на образеца е равнинно. В процеса на контактно взаимодействие при релативното движение отделните точки периодично променят положението си спрямо абразивната среда на барабана. Това обстоятелство определя равномерно разпределение на износването на всички точки в активната повърхнина на образеца. Износването се осъществява винаги по свежата абразивна повърхнина на барабана, вследствие на това, че барабана ротира. Отношението между ъгловите скорости на барабана и на образеца е постоянно.

Почистването на абразивната повърхнина 5 от финитe продукти на износване се извършва с подходяща четка, монтирана към натоварващата глава 6. Посоката на въртене на барабана, включването и изключването на стенда се осъществява посредством управляващ блок 9.

На фиг. 22 и фиг. 23 са представени графично зависимостта на износването от интегралното смущение и връзката между интегралния комуникативен потенциал и интегралното смущение.

Пресмятането на комуникативните потенциали λ_p, λ_s и λ се извършва съответно за всяко p, s и ψ по формули (47), (48) и (49), в които диференциалите се заменят с малки крайни изменения около съответните стойности на p, s и ψ.

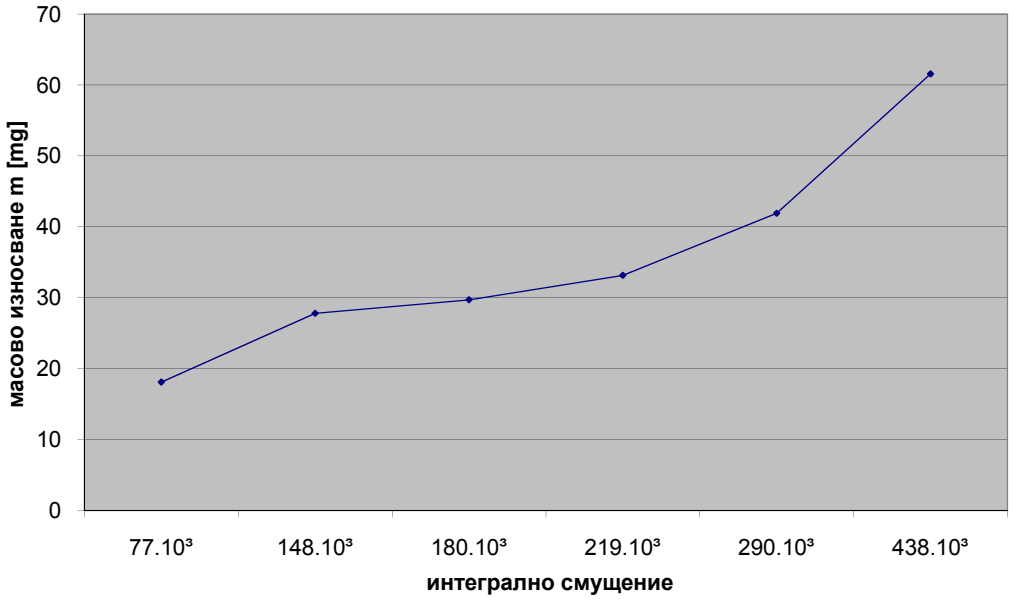
С първо приближение зависимостта на фиг. 22 се апроксимира с функция от вида:

$$\lambda = 1 + \alpha\psi \qquad (52)$$

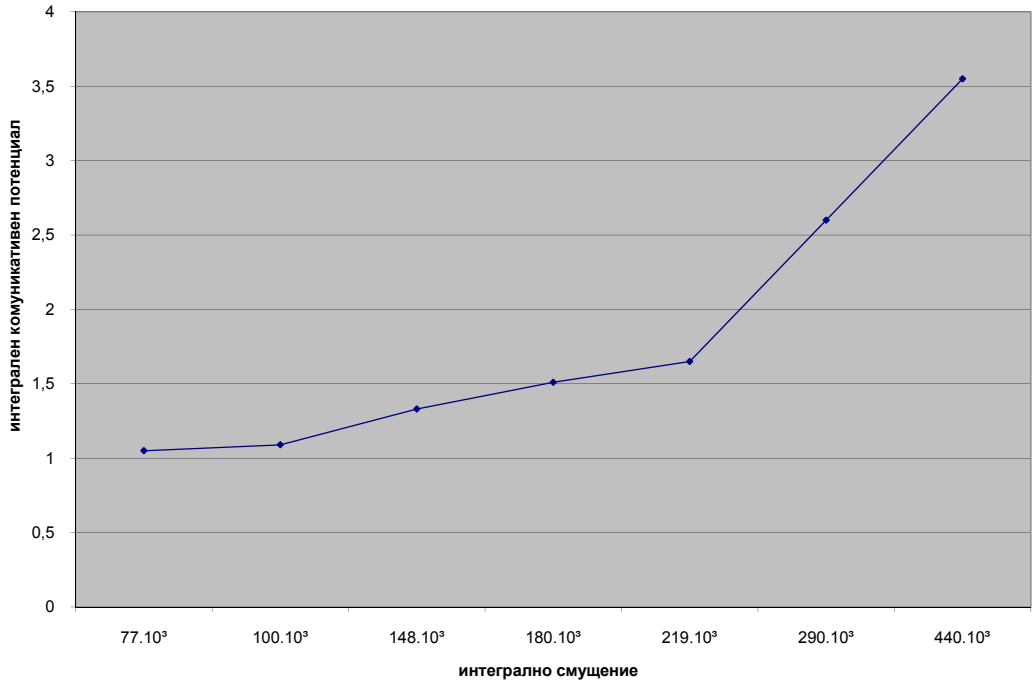
От уравнения (49) и (52) след заместване и интегриране се получава връзката между балансиращия фактор k и интегралното смущение ψ: $\frac{dk}{k} = (\lambda - 1)\frac{d\psi}{\psi}$; $\ell nk = \alpha\psi + \ell nk_o$ или

$$k = k_o e^{\alpha.\psi} = k_o e^{\alpha.p.s} \tag{53}$$

с което се показва нелинейната балансираща същност на фактора k в контактното взаимодействие на алтернативите на трибосистемата.



Фиг. 22 Зависимост на износването m от интегралното смущение ψ



Фиг. 23. Зависимост между интегралния комуникативен потенциал λ и интегралното смущение ψ

След заместване на (53) в (43) и имайки предвид различните стойности на α в отдерните диапазони на ψ се записва закона за изменение на масата при износване:

$m_i = k_i e^{\alpha_i \psi}\ p.s\ ;\ i = 1,2,...n\ ;\ \ \psi_{i-1} \le \psi \le \psi_i$

$m_1 = k_1 e^{\alpha_1 \psi}\ p.s\ ;\ 70.10^5 \le \psi \le 220.10^5\ [kg/s^2]\ ;\ \alpha_1 = 4.10^{-8}\ [s^4/kg]$

$m_2 = k_2 e^{\alpha_2}\ p.s\ ; 220.10^5 \le \psi \le 440.10^5\ [kg/s^2]\ \alpha_2 = 9.10^{-8}\ [s^4/kg]$

Стойността на k_i се определя експериментално по формулата:

$$k_i = \frac{\Delta m_i}{\psi_{i-1}} \tag{54}$$

където Δm_i е износването при много малки стойности на ψ , т.е. при $\psi_{i-1} \to 0$

При износване на два образеца с различни покрития при една и съща стойност на смущението ψ по горната методика се получава съответно:

за образец №1: $m_1 = m_1(\psi)$

и за образец №2: $m_2 = m_2(\psi)$

Относителната износоустойчивост i_{12} се определя по формулата:

$$i_{12} = \frac{m_1(\psi)}{m_2(\psi)} \tag{55}$$

За всяка отделна стойност на ψ относителната износоустойчивост i_{12} се променя, т.е.

$$i_{12} = i_{12}(\psi) \tag{56}$$

Настоящата работа е продължение на работи на авторите, в която бяха проведени предварителни експерименти на 9 вида наварени биметални покрития. Експерименталните резултати в тази работа са проведени с покритие, което има регистрирана висока износоустойчивост и представлява интерес за потребителите в тежките условия на абразивно износване в минната промишленост.

Основните приноси се свеждат до:

1. Обосновка на методика за изследване на износването на образци, включително и покрития, в условия на нестационарен режим.
2. Определяне на комуникативните потенциали λ_s, λ_p и λ в условия на нестационарен режим на износване.
3. Разкрита е нелинейната природа на балансиращия фактор k в закона за износването.
4. Определяне на закона за масовото износване в нестационарен режим чрез общия закон за контактното взаимодействие в трибологията.
5. Определяне на относителната износоустойчивост в нестационарен режим на износване във функция на интегралното смущение.

2.3. Възможности за изследване износването на тънки покрития

В много случаи на практиката се използват покрития с дебелина от порядъка на 10 ÷20 μm . Линейното износване на такива покрития, свързано с деформирането, приработването и разрушаването им поднася големи метрологични трудности. Например ако трябва да се проследи приработването на едно такова покритие, то по общия закон на трибологията би следвало линейното износване L да се представи аналитично като функция на времето t във вида:

$$\frac{dL}{L} = \eta_1 \frac{dt}{t} + \eta_2 \frac{dt}{t} + \eta_3 \frac{dt}{t},$$

където η_1, η_2, η_3 са парциалните контактни потенциали на износващото се покритие на съответните три епата на износване – приработване, стационарен режим, патология.

Задачата за изследване на износването се усложнява многократно, т.к. и без това тънкото покритие трябва да се разбие на три участъка и за всеки от тези участъци да се построи закона за износването. Всички това предполага наличие на методика с изключителна разделителна способност и възпроизводимост.

Особено актуални и перспективни в тази посока са идеите, разработени в докторската дисертация на проф. дтн Н. Манолов в лабораторията по трибология на ТУ-София, свързани с пневмо-хидравличния метод и капилярното проникване и измерване на контактни и безконтактни хлабини.

Например измерването на линейното износване от порядъка на десети от микрона би могло да се измерва с помощта на хидравличния усилвател (фиг.4) с разработването на специализирана технология и автоматизирана система записване на пряко записване на линейното износване във функция на времето t, характерни за различните тънки покрития.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По важните идеи в настоящата работа се свеждат до:

- обоснована е необходимост от нов прочит на проблемите и процесите в трибологията и в трибоквалиметрията от позициите на новата интердисциплинна парадигма, контактния подход и общия закон за контактното взаимодействие.
- обоснована е методика, по която следва да се осъществява този прочит. Методиката се основава на въвеждането и измерването на система от парциални контактни потенциали.
- принципно новото в тази работа е възможността за построяване на закона за износване повърхностни покрития с отчитане на многофакторното влияние на параметри от експлоатацията им чрез отчитане на изменението на контактните им потенциали.
- с работата се открива нова ниша в теорията, методологията и изпитанията на покрития в триботехнологиите и триботехниката.

Големият обем на работата произтича от продължителна работа по договор с НФНИ-МОН № Д002-13/2009 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комбалов, В.С. *Оценка триботехнических свойств контакирующих поверхностей*. Наука, Москва, **1983**.
2. Хенли, В.Ф. *Онодное оксидирование алюминия и его сплавов*. Металлургия, Москва, **1986**.
3. Кандева, М., Н. Христов, Н. Тончев. *Изследване на абразивната износоустойчивост на наварени биметални покрития*. Национална конференция с международно участие „**Дни на механиката**”, Варна, **2009**.
4. Kandeva, M. *The Interdisciplinary Paradigm of Tribology*. Journal of the Balkan Tribological Association, Sofia, vol. 14, № 4, **2008**, pp. 421-430,
5. Manolov, N.. *The Contact Approach*, Publ. House TEMTO, Sofia, **2007**.
6 Електроди АД Ихтиман - каталог (www.electrodes.bg)
7. Lincoln Hardfacing Product Catalog (www.lincolnelectric.com)
8. Lincoln Hardfacing Guide (www.lincolnelectric.com)
9. FLUXOFIL Cored Wires (www.gedvec.com/oerlikon/cored wires1.htm)
10. UTP Manual (August 2006)
11. Демкин, Н., Н. Дзецкев, М. Коротков. *Контактирование шероховатый поверхностей*. Киев, Наукова думка, **1972**.
12. Крагельский, И., М. Добычин, В. Комбалов. *Основы расчетов на трение и износ*. Москва, Машиностроение, **1977**.
13. Манолов, Н., М. Кандева. *Обща трибология*. С., Св. Иван Рилски, **2004**.
14. Манолов, Н., В. Диамандиев. *Модели на трибологията*. С., ТУ-София, ОТБ, **1995**.

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Доц. д-р Мара КАНДЕВА
Технически университет - София
катедра ТММ, МТФ
e-mail: kandeva@tu-sofia.bg

26th INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

65 YEARS FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY

13-16 September, 2010
Sozopol, Bulgaria

APPLICATION OF CURRENT ECOLOGICALLY SAFE FUELS FOR ENVIRONMENT PROTECTION

Slavcho IVANOV Jordanka IVANOVA Jecho KALICHIN Margarita BONEVA

Abstract: *The major directions in the modern technical science, contributing to fuel savings and, respectively, for reducing the exhaust gases release in the environment are the following: Right maintenance of the internal combustion engines (ICE) in order to avoid the unnecessary fuel consumption; Use of alternative fuels and oils of non-petroleum base; Implementation on a large scale of additives for fuels, improving the combustion processes in ICE and reducing the emissions of greenhouse gases; Large-scale implementation of antifriction and extreme-pressure additives for lubricating oils; Ensuring contemporary methods for information and training of the motor drivers- the public and private sector- in order to avoid the unnecessary journeys, combining the traveling among the different users, co-ordination of the traveling with optimum working time, etc*

Key Words: *tribology, ecology, transport, fuels.*

ПРИЛОЖЕНИЕ НА СЪВРЕМЕННИТЕ ЕКОЛОГИЧНО БЕЗОПАСНИ ГОРИВА ЗА ЗАЩИТА НА ОКОЛНАТА СРЕДА

Славчо ИВАНОВ Йорданка ИВАНОВА Жечо КАЛИЧИН Маргарита БОНЕВА

Резюме: *Основните насоки на съвременните технически науки, допринасящи за икономията на горива и съответно за намаляването на нивото на отходните газове в околната среда са следните:Правилно поддържане на двигателите с вътрешно горене (ДВГ) за да се намали излишният разход на горива;Използването на алтернативни горива и масла не основаващи се на нефтена суровина; Прилагането на голям набор от добавки за горива, увеличаващи процесите на горене в ДВГ и намаляващи емисията на газове причиняващи парников ефект; Приложението на голям набор от антифрикционни и противоизносни добавки за смазочни масла; Осигуряване на съвременни методи за обучение и тренировки на шофьорите в обществения и частния сектор за да се избягнат ненужни пътувания, комбиниране на пътуванията между различни пътници, координиране на пътуването с оптимално работно време и др.*

Ключови думи: *трибология, екология, транспорт, горива.*

1. ИКОНОМИЧНА ЕКСПЛОАТАЦИЯ НА ДВГ. УМЕЛО ПОДДЪРЖАНЕ НА ДВГ В ОПТИМАЛНО ДОБРО СЪСТОЯНИЕ [1,2]

Разходите на горива за ДВГ са зависими от много фактори като: изправността на двигателите и общото им техническо състояние; оптимален режим на работа; техническите характеристики на използваните горива (бензин, дизелово гориво, втечнени газове, природен газ и др.); външните атмосферни влияния; обучението и нивото на знания на обслужващия персонал и водачите на МПС /1/.

Основните фактори, които предизвикват преразходи на горива в автомобилния транспорт при експлоатацията му могат да се резюмират както следва:

- регистрират се преразходи на горива от 35% до 45% при движението на автомобили при използване на неикономична предавка
- при повишено износване на ДВГ в максимално допустимите норми може да се регистрира преразход от 20% - 37% на горива
- недобрата обученост на водачите на МПС води до преразход на гориво средно с 15%-20%.

Икономия на горива може да се осъществи и чрез правилно регулиране на отделните прибори, механизми и системи в ДВГ.

Следва да се обръща особено внимание на следните системи: система за подаване на гориво (горивен резервоар, горивна помпа, карбуратор); система на запалване (свещи, палец, дистрибутор, делко, реле, акумулатор и др.); колянов вал и разпределителен газов механизъм; система за охлаждане на двигателите.

Системите за запалване и самовъзпламеняване играят съществена роля за понижаване разхода на горива в ДВГ. Опитът доказва, че преразходът на гориво може да достигне до 50-80% при неизправна запалителна система. При регулиране на запалителната система с ъгъл на изпреварване запалването, близък до най-рационалния (най-изгодния) горивото изгаря в най-благоприятен режим и най-ниска детонация. [1]

При многоцилиндровите ДВГ често се забелязват дефекти в работата на запалителните свещи. Доказано е, че подобни нарушения могат да предизвикат загуби на мощност на двигателя от 15 до 30% и преразход на гориво от 20 до 47% [1]

Важно влияние върху разхода на течни горива в ДВГ оказват охладителните им системи. Така за бензиновите двигатели се приема, че оптималният топлинен режим на двигателя е 80-90 градуса С. При тези температури се осигурява оптимално изпарение на горивото (приема се, че то постъпва от резервоара на горивото при оптимална температура 15-20 гр.С, а оптималната температура на постъпващия въздух се приема, че е 35-40 гр.С).

В разработената вече Директива 2003/30 на ЕС от 08.05.2003 год./6/ проблемът за ефективността в ценообразуването на биогоривата се взема под внимание, определят се цените. на биогоривата до 2010 год. и се вземат мерки да се разкрие напълно въздействието им върху околната среда.

2. БИОГОРИВА ОТ ПЪРВА ГЕНЕРАЦИЯ

Към биогоривата от първа генерация се отнасят както течни, така и газообразни моторни горива. Биогоривата от първа генерация представляват такива химически продукти, които се добиват чрез ферментационни процеси на въглехидрати, получени от захародайни растения (цвекло, захарна тръстика) и от хидролизирани скорбяла и целулоза до хексози (глюкоза и др.), или чрез преестерификация на триглицериди (природни мазнини от растителен и животински произход) до моноестери на низши алкохоли (метанол, етанол и др.), както и на растителни масла, добити чрез пресоване или екстракция на семена.

Биогоривата от втора генерация и от следващи генерации се получават чрез термична газификация на биомасата до синтез газ и следващо производство на въглеводороди, или чрез термопиролиза, фотопиролиза, биопиролиза и други нови модерни методи за добиване на въглеводороди от биомаса.

Течните биогорива от първа генерация включват следните основни продукти:

- Биоетанол – произвежда се от биомаса (захар, скорбяла, лигноцелулоза и др), от биоразложими фракции от отпадъци. Като правило се използва като добавка към бензините или дизелови горива.

Марка Е 5 съдържа 5 % етанол и 95 % бензини.

Марка 85 съдържа 85 % етанол и 15 % бензин.

н-бутанол, изобутанол, изоамилов алкохол, органични естери. Основни предимства при използването на биоетанола като течно моторно гориво представляват неговото високо октаново число (над 106 по изследователския метод и над 85 по моторния метод). Наред с тези положителни свойства биоетанолът се отличава и с определени негативни характеристики при експлоатацията му като моторно гориво. [7].

Биометанол – представлява метанол, произведен чрез ферментация на захари или чрез пиролиза на биомаса. Биометанолът самостоятелно почти не се използва директно като добавка към бензини и дизелово гориво, т.к. се разслоява твърде лесно при попадане на вода към неговите смеси с бензин.[8].

Производството на биометанол и редукцията на CO_2 емисии, както и понижаването на други емисии в двигателите с вътрешно горене са описани подробно в [9-11].

Био-MTBE – представлява метил-трет-бутилов етер, получен от биометанол и изобутен.

Биологичната част в молекулата на био-MTBE съставлява 36 % и поради това този дериват се използва едновременно като високооктанова добавка към бензините и екологична добавка , редуцираща натрупването на CO_2 в атмосферата. Характерното за био-MTBE е, че може да се произвежда в съществуващите инсталации за MTBE в петролните рафинерии без всякакви конструктивни изменения на инсталациите.

3. ИЗПОЛЗУВАНЕ НА ДОБАВКИ С АНТИФРИКЦИОННИ СВОЙСТВА:

Добавката, която се получава в резултат на прилагането на съвременна нанотехнология, в Р. България се предлага от фирмата МОТО ГАРД. Препаратът представлява антифрикционна ресурсовъзстановяваща композиция АРФК и може да допринесе при употребата й до значително редуциране разхода на конвенционални горива особено при износени двигатели .

Като се има предвид, че в Р. България в момента се експлоатират до 90% двигатели втора употреба, за очакване е в национален мащаб да се получат съществени икономии от средства за горива и ремонти на двигателни, трансмисионни и други механизми.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Употребата на масла с подходящи вискозитетно индексни качества в транспортните средства води до получаване на съществени икономии от горива в обществото. От особено значение е използването на антифрикционни, противоизносни добавки и модификатори на триенето за постигане на икономии на горива при нови транспортни средства до 2-3 обемни %. Приложението на модификатори на триенето, получени със съвременни нанотехнологии, при износени двигатели води до получаване на икономия от горива до 6-7 %, понижаване емисиите от вредни газове, поради възстановяване на компресията в ДВГ. Тези препарати представляват резонен интерес за Р. България, където се експлоатират до 90 % употребявани автомобили.

Съвременни методи за обучаване на водачите на МПС, както и обслужващия персонал в обществения и частен транспорт , с цел постигане на икономии на горива

ЛИТЕРАТУРА

1. П. Петков, Сл. Иванов, Д. Минков, Ат. Иванов. *Химмотология на нефтените горива*. Публиш Сай-Сет-Агри ООД, София, **1995,** стр. 300-304.
2. Е.В. Шатров, В. М. Варюшин. Автомобильная промышленость, № 12, стр. 6-7, **1980** (руски).
3. RECO DRIVE, www.recodrive.en
4. Доклад на Комисията на Евр. Съюз (КОМ), 2006, 34, „Стратегия на ЕС за биогорива", Брюксел 08.02.2006, [SEK, 2006, 142]
5. Бяла книга на КЕС „Европейска политика в транспорта до 2010" КОМ (2001),370
6. Директива 2003 / 30 на ЕС от 08.05.2003 „Поощряване приложението на биогориво или други възобновими горива в транспортния сектор ABL. L 123 от 17.05.2003
7. Директива 2003/30 на ЕС от 08.05.2003, т.14, стр.3
8. Biomethanol.Categories.Documentation.Ecology
http://www.socialtext.net/brightgreen/index.egi?biomethanol
9. http://soilcarboncenter.K- state.edu/conference/Carbon2/Nakdgdnu Baltimore 05.pdf-C
10. A. Irimescu; D. Iorga; L. Mihon; R. Hentu, "Emissions model for spare ignition engines fueled with gasoline – bioethanol blends" JEPE, 1627A/07.07.09 and literature cited in , под печат
11. G. Padure; A. Irimescu; L. Calin; G. Trif-Tordai; A.E. Cioabla;I. Ketres, *Theoretical study of emissions for stationdry spark ignition engines fueled with biogas*, JEPE, 1628A/07.07.09, and literature cited in , под печат

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ

Slavcho IVANOV, Jordanka IVANOVA, Jecho KALICHIN, Margarita BONEVA
SciBulCom Ltd., PO Box 249, 1113 Sofia, Bulgaria
e-mail: scibulcom2@abv.bg