

ОБЩЕСТВО НА ТРИБОЛОЗИТЕ В БЪЛГАРИЯ
SOCIETY OF BULGARIAN TRIBOLOGISTS



ТРИБОЛОГИЧЕН ЖУРНАЛ БУЛТРИБ
TRIBOLOGICAL JOURNAL BULTRIB

Година I, брой 01 (01), 2010
Volume I, Number 01 (01) 2010

Доклади от 7^{-мата} Конференция по Трибология, 30 октомври 2009, София
Papers from the 7th Conference on Tribology, 30 october 2009, Sofia

ТЕМТО
София

Трибологичен журнал БУЛТРИБ

Доклади от 7-мата Конференция по Трибология,
30 октомври 2009, София

Съставител: д-р М. Кандева
Издателство ТЕМТО
София, 2009

ISSN: 1313-9878

СЪДЪРЖАНИЕ

1. Встъпително слово на М. Кандева, <i>председател на ОТБ</i>	07
2. <i>Н. Велинов, Е. Манова, Б. Кунев, Д. Панева, М. Попова, К. Тенчев, Т. Цончева, И. Митов.</i> Механохимичен синтез и характеристики на меден ферит	10
3. <i>З. Черкезова-Желева, Б. Кунев, М. Попова, Т. Цончева, И. Митов.</i> Механохимично изготвяне на материали на железни оксиди	15
4. <i>М. Аструкова, Ю. Симеонова, Т. Грозданова.</i> Триене при ниски температури	20
5. <i>Н. Костова, Б. Кунев, Е. Дуткова, П. Балаж.</i> Свойства на NiMo-съдържащи катализатори, нанесени върху смесени оксиди, получени по механохимичен път.	25
6. <i>Н. Костова, Б. Кунев, М. Шопска, Г. Кадинов, Е. Дуткова, П. Балаж.</i> Механохимично активиране на смесени оксиди Fe ₂ O ₃ -TiO ₂	31
7. <i>П. Милушева, Ц. Узунов, Н. Иванов.</i> Изследване повърхностните свойства на тънки слоеве от Ti и Fe-Cr-Ni сплав върху полимерни подложки.	36
8. <i>Г. Тодоров, К. Камберов, В. Пейков.</i> Изследване на фрикционния коефициент за пневматично-вакуумни механизми на ударни електроинструменти.	46
9. <i>К. Стоичков, Н. Николов.</i> Анализ и синтез на фрикционен предавателен механизъм с минимизирано плъзгане.....	54
10. <i>В. Живков, К. Стоичков,</i> Управление на кинетичен акумулатор в режим на зареждане посредством фрикционен вариатор.....	59
11. <i>Н. Христов, Н. Тончев,</i> Приложение на интервалния подход за управление дебелината на трудно обработваемо наварено покритие.	65
12. <i>С. Иванов, Н. Тончев,</i> Оптимизиране на невронни мрежи с генетични алгоритми за целите на многокритериалната оптимизация.	74
13. <i>С. Иванов.</i> Хибриден подход между генетични алгоритми и невронни мрежи при многокритериална оптимизация.....	80
14. <i>Ал. Монов, М. Кандева, Н. Тончев.</i> Геометрична оптимизация на износоустойчиви наварени покрития.	84
15. <i>Т. Пенчев, Д. Карастоянов.</i> Особенности на процеса каландриране при производство на листове от термореактивни пластмаси.....	92

16. <i>И. Пейчев</i> . Приложения на високоскоростни технологични /HVOF и Плазма/ процеси за нанасяне на износоустойчиви покрития. Защита от корозия и ерозия при електроцентрали.....	101
17. <i>М. Кандева, Д. Карастоянов</i> . Състояние и актуални въпроси на трибоквалиметрията в областта на износоустойчивите покрития.	108
18. <i>Б. Съйкова, Г. Георгиев, М. Кандева, Д. Карастоянов</i> , Нови методи за възстановяване на валове за екструдирани на фолия.....	116
19. <i>И. Узунов</i> , Аналитично определяне на адхезионната съставляща на силата на триене.	123
20. <i>Л. Василева, М. Кандева, С. Симеонова</i> . Абразивно износване на легиран сив чугун с наноструктурна метална основа.	130
21. <i>С. Симеонова</i> , Термична нанотехнология за обработване на сферографитни чугуни.	141
22. <i>М. Миланова, С. Перева, Д. Тодоровски</i> , Механохимичната обработка като етап при получаването на перовскити по зол-гел метод.	147
23. <i>Л. Генева</i> . Продуктите SX6000 и UL101 на фирмата QMI-България ООД. Реализация на модерни интердисциплинни триботехнологии.	154
24. <i>В. Пожидаева, Д. Живкович, М. Кандева</i> , Виброустойчивост на тръбопроводи.	159
25. <i>Г. Начева</i> . Съвременни тенденции в нанотрибологията.	164
26. <i>С. Янева</i> . Екологичните аспекти на велосипедния транспорт.	169
27. <i>Ю. Яворова, Б. Совил, И. Андонов, И. Никич</i> . Устойчивост и неравновесна реакция на твърд ротор, поддържан от плъзгащи лагери.....	176
28. <i>Е. Асенова</i> , Многоликата трибология.....	185
29. <i>Е. Асенова</i> , Вести от работата на Международния съвет по трибология.....	190

CONTENTS

1. Opening Speech of M. Kandeva, <i>President of SBT</i>	07
2. N. Velinov, E. Manova, B. Kunev, D. Paneva, M. Popova, K. Tenchev, T. Tsoncheva, I. Mitov. Mechanochemical Synthesis and Characterization of Copper Ferrite.....	10
3. Z. Cherkezova-Zheleva, B. Kunev, M. Popova, T. Tsoncheva, I. Mitov. Mechanochemical Preparation of Iron Oxide Materials.....	15
4. M. Astrukova, Y. Simeonova, T. Grozdanova. Friction at low temperatures.....	20
5. N. Kostova, B. Kunev, E. Dutkova, P. Balaz. Properties of NiMo-containing Catalysts Supported on Mechanochemically Prepared Alumina-Titania Supports.....	25
6. N. Kostova, B. Kunev, M. Shopska, G. Kadinov, E. Dutkova, P. Balaz, Mechanochemically activated Fe ₂ O ₃ -TiO ₂ mixed oxides.....	31
7. P. Milusheva, Ts. Uzunov, N. Ivanov. Study of surface properties of thin films of Ti and Fe-Cr-Ni alloy on polymer substrates.....	36
8. G. Todorov, K. Kamberov, V. Peykov. Analysis of friction coefficient for pneumatic mechanisms in impact power tools.....	46
9. K. Stoichkov, N. Nikolov. Analysis and synthesis of friction drive with minimization of sliding.....	54
10. V. Jivkov, K. Stoichkov. Control of kinetic accumulator in state of energy accumulation by means of frictional variator.....	59
11. N. Hristov, N. Tonchev. Application of interval approach for thickness control of hard treated cladded coating.....	65
12. S. Ivanov, N. Tonchev. Optimizing neuron nets by genetic algorithms for the purpose of multi-criteria optimization.....	74
13. S. Ivanov. Hybrid approach between genetic algorithms and neuron nets at multi-criteria optimization.....	80
14. A. Monov, M. Kandeva, N. Tonchev. Geometric optimization of wear-resistant cladded coatings.....	84
15. T. Penchev, D. Karastoyanov. Specificity of the process calandring by the production of thermo-reactive plastic sheets.....	92

16. <i>I. Peychev</i> . Applications of high-speed technological processes /HVOF and Plasma/ for the laying of wear-resistant coatings. Protection of corrosion and erosion in electric power plants.....	101
17. <i>M. Kandeve, D. Karastoyanov</i> . State and actual problems of triboqualimetry in the field of wear-resistant coatings.....	108
18. <i>B. Saykova, G. Georgiev, M. Kandeve, D. Karastoyanov</i> . New methods of regeneration of shafts for folio extrusion.	116
19. <i>I. Uzunov</i> , Analytic determination of the adhesive component of friction force.	123
20. <i>L. Vassileva, M. Kandeve, S. Simeonova</i> . Abrasive wear of alloyed grey cast iron with nano-structural metal base.....	130
21. <i>S. Simeonova</i> . Thermal nano-technology for treatment of sphere-graphitic cast irons.	141
22. <i>M. Milanova, S. Pereva D. Todorovski</i> . Mechanochemical treatment as a stage in sol-gel preparation of perovskite LaFeO_3	147
23. <i>L. Geneva</i> . The products SX6000 and UL101 of the company QMI-Bulgaria Ltd. Realization of modern interdisciplinary tribotechnology	154
24. <i>V. Pozhidaeva, D. Zhivkovich, M. Kandeve</i> . Resistance to vibration of pipelines	159
25. <i>G. Nacheva</i> . Modern tendencies in nanotribology.....	164
26. <i>S. Yaneva</i> . Ecological aspects of bicycle transport.....	169
27. <i>J. Javorova, B. Sovilj, I. Andonov, I.Nikic</i> . Stability and imbalance response of a rigid rotor supported on plain journal bearings	176
28. <i>E. Assenova</i> , Multi-Facets of tribology.....	185
29. <i>E. Assenova</i> . News from the International Tribology Council.....	190

ВСТЪПИТЕЛНО СЛОВО

*на д-р М. Кандева – председател на Обществото на
триболозите в България*

OPENING SPEECH

Dr. M. Kandeva – President of the Society of Bulgarian Tribologists

**Уважаеми триболози и гости на седмата национална конференция
“БУЛТРИБ’2009”,**

На мен се пада честта да Ви поздравя с 35-тия рожден ден на българската трибология и да Ви пожелае нови творчески успехи!

Председателството ми на Обществото на триболозите в България (ОТБ) започна практически с организирането и провеждането на „БАЛКАНТРИБ’2008”, възложено от ОТБ и Балканската трибологична асоциация (БТА) на Центъра по трибология към Техническия университет-София.

Повечето от присъстващите знаят, че това събитие беше едно успешно проведено мероприятие, което получи висока оценка от партньорите ни на Балканите и от ТУ-София.

Официално бях избрана за председател на отчетно-изборното събрание на ОТБ през октомври 2008 г. с членове на Управителния съвет проф. д-рн Славчо Иванов и доц. д-р Вяра Пожидаева.

Ще се спра накратко върху някои основни моменти от състоянието на Обществото на триболозите.

1. В ОТБ не е въведен самостоятелен счетоводен ред, а се използват услугите на ИНГА. «Бултриб» като идея се роди на територията на ИНГА с председател проф. д-рн Н. Манолов. Основната причина за липсата на легитимна финансова отчетност на ОТБ като юридическа личност се дължи на липсата на финансови средства за закупуване на касов апарат и поддържане на банкови сметки. За съжаление тази традиция продължава и на настоящата конференция с убеждението на ръководството, че този дефицит трябва да се преодолее и Обществото да извоюва своята независимост и оперативност. Това е изключително необходимо за

европеизирането и провеждането на мероприятията на ОТБ като носител на мандата на БТА.

2. Незадоволителното организирано състояние на ОТБ произтича и от незадоволителната дисциплина на членовете на Обществото, свързана с отчетността на членския внос и системността на участие в конференции, семинари и проектната дейност.

3. На фона на тези недостатъци следва да се подчертаят няколко крупни фактически постижения на ОТБ.:

Първо: Редовно издаване на балканското трибологично списание на БТА на английски език с легитимиран импакт фактор с главен редактор проф. д-хн Славчо Иванов, който се разпространява в балканските страни, в Европа, Русия и страни от Азия.

Второ: Редовно издаване на списание «Контакти» на български език с главен редактор проф. д-н Нягол Манолов, основател на ОТБ и ИНГА.

Трето: Ежегодно провеждане на конференция «Бултриб» от 2003 г. досега и издаване на сборник с доклади под редакцията на бившия председател на ОТБ ст.н.с. д-р Емилия Асенова.

Четвърто: Постоянно действащ междууниверситетски семинар «Трибология и интердисциплинност» с председател д-р М. Кандева на територията на лабораторията по трибология в ТУ-София, изпълняваща функциите на национален координационен център; работа по научно-изследователски и образователни проекти, финансирани от МОН, Световната банка и фирми. Семинарът е актуализирана форма на действие на Координационния център по трибология.

Постиженията ни в областта на инженерното образование са свързани с разработването на мрежов проект на тема «Интердисциплинен подход за подобряване на инженерното образование, по който е внедрена в редовния учебен процес на магистри дисциплината «Трибология в енергетиката», написани и издадени са учебници и дооборудвана лаборатория по трибология. През последните две години образователната дейност по трибология активно се разви във връзка с провеждане на специализирано обучение в производствените предприятия «Мини Марица Изток» и «Медет Асарел» - Панагюрище, провеждано от триболози в ТУ-София и МГУ «Св. Иван Рилски».

Кои са новите идеи на ръководството на ОТБ, ориентирани към бъдещето?

Новите идеи са ориентирани и хармонизирани с членството ни в Европейския съюз. Тези идеи представям пред Вас под формата на предложения на Управителния съвет на ОТБ за решения на настоящата конференция, които ще обсъдим на Кръглата маса.

Предложения за решения на националната конференция «Бултриб'2009»:

Първо предложение: Актуализиране на Центъра по трибология на територията на ТУ-София, което по-конкретно включва:

- актуализация на Концепцията за развитие на трибологията в България;
- актуализация на научно-методичния съвет по трибология;
- изграждане на контактна трибологична мрежа, включваща научно-изследователските звена по трибология, производствени фирми и предприятия с трибологична проблематика в страната;
- изграждане на творчески студенски клуб по трибология към центъра по трибология;
- организиране и легитимиране на Технически комитет по трибология към Български институт по стандартизация (БИС);
- актуализиране на интернет-страницата на трибологията;
- разширяване и усъвършенстване на обучението по трибология в университети и фирми.

Второ предложение: Конференцията «Бултриб» от национална ежегодна конференция да се трансформира в ежегодна конференция с международно участие.

Трето предложение: Да се разшири и активизира екипното начало по трибология в национални и европейски учебни, изследователски и технологични проекти.

Уважаеми колеги, моля да вземете отношение по тези предложения за решения на Кръглата маса на настоящата конференция.

Пожелавам ползотворна работа на конференция, много ентузиазъм и инвестиции за бъдещето на трибологията!

Благодаря Ви за вниманието!

MECHANOCHEMICAL SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF COPPER FERRITE

*N. Velinov¹, E. Manova¹, B. Kunev¹, D. Paneva¹, M. Popova², K. Tenchev¹,
T. Tsoncheva², I. Mitov¹*

¹*Institute of Catalysis, BAS, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 11, 1113 Sofia, Bulgaria*

²*Institute of Organic Chemistry with Centre of Phytochemistry, BAS, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 9, 1113 Sofia, Bulgaria*

МЕХАНОХИМИЧЕН СИНТЕЗ И ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕДЕН ФЕРИТ

*Н. Велинов¹, Е. Манова¹, Б. Кунев¹, Д. Панева¹, М. Попова², К. Тенчев¹,
Т. Цончева², И. Митов¹*

Abstract: Nanodimensional powders of cubic CuFe₂O₄ are synthesised by two-steps procedure of co-precipitation of copper and iron hydroxide carbonates, followed by mechanochemical treatment. XRD, Mössbauer spectroscopy and TPR are used for the characterization of the obtained materials. Their catalytic behaviour is tested in the reactions of oxidative dehydrogenation of cyclohexanol to cyclohexanone and methanol decomposition to hydrogen and CO. It is established that the catalytic behaviour of the samples depends not only on their initial phase composition, but in the case of reduction reaction medium, it is also affected by the concomitant ferrite phase transformations.

Key words: mechanochemical synthesis, copper ferrite, Mössbauer spectroscopy, methanol decomposition, oxidative dehydrogenation of cyclohexanol

1. Introduction

Transition metal spinel oxides are technologically important as magnetic materials, semiconductors, pigments and as effective catalysts for number of industrial processes, such as oxidative dehydration of hydrocarbons, decomposition of alcohols and hydrogen peroxide, oxidation of various compounds such as CO, H₂, CH₄ and chlorobenzene etc [1, 2]. It is well established, that depending on the preparation method, CuFe₂O₄ can crystallize either in tetragonal or cubic symmetry [3, 4]. Among the various preparation procedures, the high-energy milling solid-state method has the advantages to be easily operated and produce large amounts of nanostructured powders in a short time. Furthermore, the highly nonequilibrium nature of the milling process

allows one to prepare solids with improved and/or novel physical and chemical properties.

The aim of the present work is to investigate the possibility of CuFe_2O_4 nanodimensional powders synthesis by co-precipitation of the corresponding hydroxide carbonate followed by mechanochemical treatment. The relationship between synthesis parameters, phase composition, structural and catalytic properties of the obtained materials is studied.

2. Experimental

Iron-copper oxide powders (CuFe_2O_4) were prepared by two-steps procedure of co-precipitation and mechanochemical treatment. The starting solution of $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ was precipitated with drop-wise addition of 1 M sodium carbonate up to pH 9 at continuous stirring. The initially obtained precipitate was dried at room temperature (RT) to form precursor powder ($\text{CuFe}_2\text{-HC}$). At the second step the obtained precursor was milled using a Fritsch Planetary miller. The balls-to-powder mass ratio was 10:1. The mechanochemically treated samples are denoted by $\text{CuFe}_2\text{-MS}_x$, where $x = 1, 2, 3, 5$ is duration of treatment in hours.

The powder XRD patterns were recorded using a TUR M62 diffractometer with $\text{Co K}\alpha$ radiation. The observed patterns were cross-matched with those in the JCPDS database. The RT Mössbauer spectra were obtained with a Wissel (Wissenschaftliche Elektronik GmbH, Germany) electromechanical spectrometer working in a constant acceleration mode. A $^{57}\text{Co/Cr}$ (activity $\cong 10$ mCi) source and a $\alpha\text{-Fe}$ standard were used. The experimentally obtained spectra were fitted to mathematical processing according to the least squares method. Temperature-programmed reduction (TPR) of the samples was carried out in the measurement cell of a differential scanning calorimeter (DSC-111, SETARAM) directly connected to a gas chromatograph (GC).

The catalytic methanol decomposition experiments were carried out in a flow reactor with argon as a carrier gas and methanol partial pressure -1.57 kPa. On-line gas chromatographic analysis was performed on apparatus equipped with flame ionization and thermoconductivity detectors, on a PLOT Q column, using an absolute calibration method. The catalytic experiments of oxidative dehydrogenation of cyclohexanol were done at atmospheric pressure using a fixed-bed flow reactor and air as carrier gas. On-line analysis of the reaction products was performed using HP-GC with a 30 m HP-35 capillary column.

3. Results and Discussion

XRD patterns of the obtained materials are presented in Fig. 1A. Well defined reflections of CuFe_2O_4 (S.G.: Fd-3m, No. 227, $a = 8.39\text{\AA}$) are registered even after one hour of milling and the process of crystallization continues with the increase of milling time. The average crystallites size and the degree of microstrain of the studied copper ferrites were determined from the experimental

XRD profiles by using the Williamson–Hall equation [5]. The degree of microstrain decreases from 10.31×10^{-3} to 5.64×10^{-3} with increasing the duration of treatment from 1 to 5 hours. The average crystallite size of the obtained ferrite nanoparticles varies between 7-10 nm depending on the duration of the milling procedure. A second crystalline phase of $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ is present in longer milled samples as well.

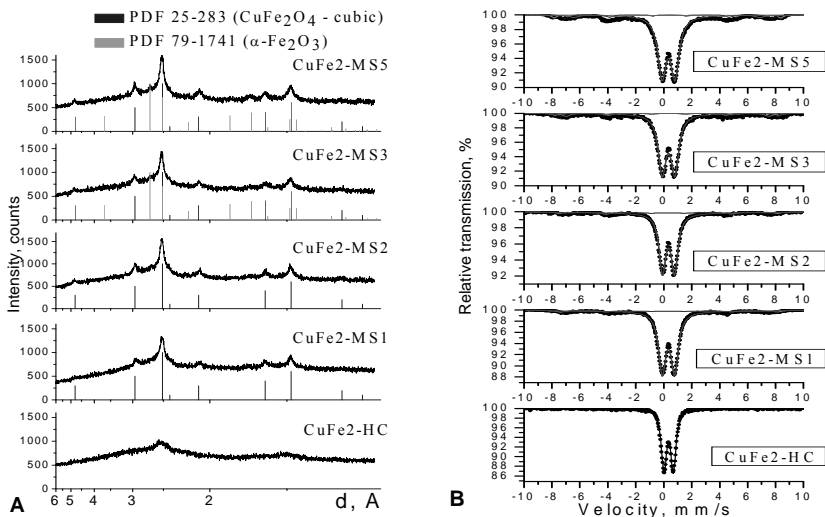


Figure 1. XRD patterns (A) and RT Mössbauer spectra (B) of the investigated samples.

RT Mössbauer spectra of the samples are presented in Figure 1B. The CuFe₂-HC sample exhibits a quadrupole doublet with parameters, indicating that the precursor is paramagnetic and that the iron is in the trivalent state. The mechanochemically synthesised samples show spectra consisting of a central doublet, with relative weight (G) from 80 to 91 %, in relation to time of samples treatment, and sextet components corresponding to $\text{Fe}^{3+}_{\text{octa}}$ and $\text{Fe}^{3+}_{\text{tetra}}$ in copper ferrite lattice. A contribution from $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ is evidenced in the spectra of CuFe₂-MS3 and CuFe₂-MS5 materials, which is in accordance with XRD data.

The TPR profiles of all mechanochemically synthesized samples consist of two main peaks (not shown). The first sharp peak appearing at 490-500 K can be ascribed to the reductions of CuFe₂O₄ to metallic Cu and Fe₂O₃, and subsequent reduction from Fe₂O₃ to Fe₃O₄ [6]. The high-temperature peak with maximum at about 800 K is probably due to the reduction of Fe₃O₄ to Fe.

Data from catalytic behaviour of the samples in oxidative dehydrogenation of cyclohexanol to cyclohexanone and methanol decomposition to CO and hydrogen are presented in Fig. 2 and Fig. 3, respectively.

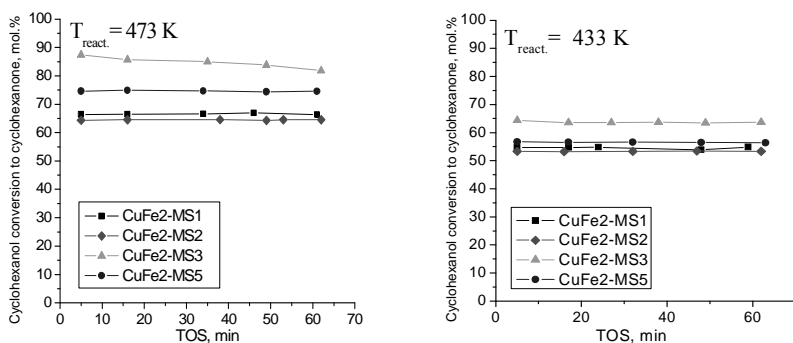


Figure 2. Cyclohexanol dehydrogenation vs. time on stream over the studied samples.

The conversion of cyclohexanol to cyclohexanone is registered even below 473 K and the highest catalytic activity and selectivity is achieved for the CuFe2-MS3 (Fig. 2). CO₂ and high-molecular-weight residues are the main obtained by-products during the conversion. The formation of the latter could be considered as the main reason of deactivation of the samples at higher temperatures, the effect being more pronounced for CuFe2-MS3 sample.

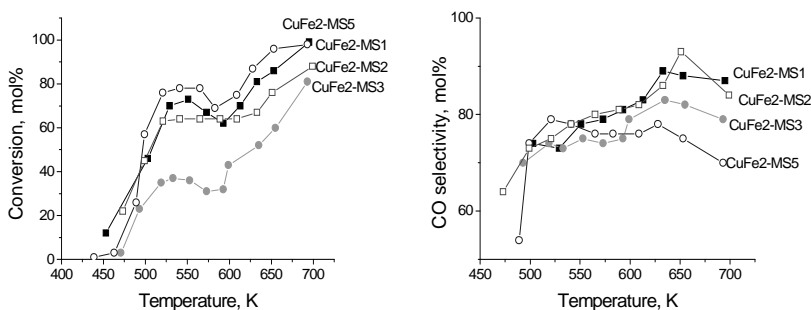


Figure 3. Methanol conversion and CO selectivity vs. temperature for various CuFe₂O₄ materials.

At the same time, all materials exhibit significant catalytic activity in methanol decomposition with a high selectivity to CO and hydrogen (Fig. 3) just above 500-550 K. Methane (1-13%), CO₂ (up to 16%) and negligible amounts of dimethyl ether and C₂-C₃-hydrocarbons (up to 1-2 %) are also observed as by-products as well. Better catalytic activity and selectivity to CO and hydrogen is registered for the sample, obtained at shorter mechanochemical treatment, where homogeneous phase

composition of highly dispersed CuFe_2O_4 nanoparticles is found (see XRD and Mössbauer data). We should stress at the complex character of the conversion curves as well, which are characterized with a maximum at about 550K and further increase in the conversion above 600K. This behavior could be ascribed to some phase transformations with the catalyst by the influence of the reduction reaction medium (see TPR data). This assumption is confirmed by the Mössbauer spectra of the used in the catalytic test samples, where magnetite and iron carbide in different ratio are also found.

4. Conclusions

It was demonstrated that the method of co-precipitation, followed by the high-energy ball milling results in the formation of nanocrystalline copper ferrites with cubic crystal structure. The phase composition and reduction properties of the obtained materials exhibit a strong dependence on the milling duration. The preparation of highly active and selective catalysts is facilitated by the decrease of mechanochemical treatment duration. The catalytic behaviour of the samples is affected not only on their initial state, but depending on the catalytic test, on the influence of the reaction medium as well. Significant phase transformations with the appearance of magnetite and iron carbide occur under reduction reaction medium, which realizes during the methanol decomposition.

Acknowledgments

Financial support of the National Science Fund of Bulgaria through projects X-1504/05, ДО 02-295/2009 and Rila4-412 (ДО 02-29/03.12.2008) is acknowledged.

References

1. E. Manova, D. Paneva, B. Kunev, Cl. Estournès, E. Rivière, K. Tenchev, A. Léaustic and I. Mitov, *Journal of Alloys and Compounds*, **485** (2009) 356-361.
2. E. Manova, T. Tsoncheva, Cl. Estournès, D. Paneva, K. Tenchev, I. Mitov, L. Petrov, *Applied Catalysis A: General*, **300** (2006) 170-180.
3. M. Estrella, L. Barrio, G. Zhou, X. Wang, Q. Wang, W. Wen, J. C. Hanson, A. I. Frenkel, and J. A. Rodriguez, *J. Phys. Chem. C* **113** (2009) 14411–14417.
4. K. J. Kima, J. H. Lee, S. H. Lee, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **279** (2004) 173–177.
5. G.K. Williamson and W.H. Hall, *Acta Metallurgica*, **1** (1953) 22–31.
6. K. Faungnawakij, R. Kikuchi, T. Fukunaga, K. Eguchi, *Catalysis Today*, **138** (2008) 157–161.

MECHANOCHEMICAL PREPARATION OF IRON OXIDE MATERIALS

Z. Cherkezova-Zheleva, B. Kunev, M. Popova, T. Tsoncheva, I. Mitov

¹ *Institute of Catalysis, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria*

² *Institute of Organic Chemistry with Centre of Phytochemistry, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria*

МЕХАНОХИМИЧНО ИЗГОТВЯНЕ НА МАТЕРИАЛИ НА ЖЕЛЕЗНИ ОКСИДИ

З. Черкезова-Желева, Б. Кунев, М. Попова, Т. Цончев, И. Митов

Abstract: Mechanochemical activation is an attractive technique for synthesizing inorganic solids and for producing nanosized particles. In the course of this investigation the appropriate preparation conditions of layered double hydroxides synthesis using mechanochemical method were studied. The second step of study was to find the optimal conditions of thermal treatment of so-obtained precursors for preparation of nano-sized ferrite materials. As a result $MgFe_2O_4$ and Fe_3O_4 samples with nano-metric size were prepared by heating of the obtained hydroxide chloride precursors. The phase composition and dispersity of the synthesized samples were studied by a number of methods. The prepared materials were tested as catalysts in total toluene oxidation.

INTRODUCTION

Spinel ferrites of the type MFe_2O_4 (M is a divalent metal cation) are currently key materials for advancements in electronics, magnetic storage, ferrofluid technology, catalysis and many bioinspired applications (as drugs carriers for magnetically guided drug delivery and as contrast agents in magnetic resonance imaging) [1]. Conventional ceramic processing of ferrites requires a number of stages, including homogenization of the powder precursors, compaction of the reactants, and finally prolonged heat treatment at considerably elevated temperatures. One goal of modern ferrite research and development is to find simpler processing schemes that do not rely upon high temperature treatments for inducing solid-state reactions [2].

Mechanochemical activation (MCA) is an attractive technique for synthesizing inorganic solids, since in addition for producing nanometer grain size particles it can induce chemical and structural transformations in the as-prepared compounds [2]. In this article, we report on the two-step synthesis of

$M^{2+}_xFe^{3+}_{3-x}O_4$ ($M^{2+}=Mg^{2+}, Fe^{2+}$) nanoparticles via mechanochemical synthesis of precursor materials at room temperature and their short-time calcination at 623K.

EXPERIMENTAL

The initial compounds used for the synthesis of iron double layered hydroxide chloride precursors - $[M_{(x-1)^{2+}Fe_x^{3+}(OH)_2}]^xCl^-_x \cdot mH_2O$ ($M^{2+}=Mg^{2+}, Fe^{2+}$), were magnesium hydroxide $Mg(OH)_2$ (freshly prepared) and analytically pure iron chloride $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ or mixture of stoichiometric quantities $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ and $FeCl_2 \cdot 4H_2O$, respectively.

Mechanochemical activation of the mixture was lead in high energy planetary type PM 100, Retsch, Germany. Steel grinding bowl and ten grinding balls made of steel were used.

Mg-ferrite ($MgFe_2O_4$) nanoparticles were produced by calcination of as-prepared layered double hydroxide (LDH) precursor - $Mg_6Fe_2(OH)_{16}Cl_2 \cdot 4H_2O$, iron-magnesium hydroxy chloride was thermally treated for 4 h in air at annealing temperature 623 K in "Eurotherm" furnace, England. The second precursor salt was heated in inert atmosphere (N_2) to avoid oxidation.

X-ray diffraction (XRD) patterns of samples were recorded with a TUR M62 apparatus with PC management and data accumulation, using HZG-4 goniometer and CoK_{α} radiation. JCPDS database (Powder Diffraction Files, Joint Committee on Powder Diffraction Standards, Philadelphia PA, USA, 1997) was used for the phase identification.

Moessbauer analysis was made using apparatus Wissenschaftliche Elektronik GmbH, working with a constant acceleration mode; $^{57}Co/Cr$ source, α -Fe standard. The parameters of hyperfine interactions of Moessbauer spectral components were determined by computer fitting: isomer shift (IS), quadrupole splitting (QS), hyperfine effective field (H_{eff}), as well as line widths (FW) and component relative weights (G).

IR spectroscopy - IR and far-IR spectra were recorded with a Nikolette IR spectrophotometer in KBr pellets within wavelength range 250-650-4000 cm^{-1} .

Toluene oxidation was studied at atmospheric pressure using a fixed-bed flow reactor, air as a carrier gas and $p_{toluene} = 0.9$ kPa.

RESULTS AND DISCUSSION

The optimal LDH synthesis is of great importance for material science and catalyst preparation [3, 4]. The investigation of optimal preparation conditions of studied LDH compounds includes a change of large number of MCA parameters. In order to modify the milling energy and intensity milling time, ball to powder ratio, triboreactors, etc were varied. So the choice of great value of ratio (ball load mass) to mass of activated mixture (30:1) should ensure a high value of activation energy, i.e. high energy acceleration. As it is known, tribochemical activation accelerates a chemical reaction due to the "pumping" of excess energy into reagents in the form of structural defects. This leads to a decrease in the effective activation energy for chemical reaction. In addition, the milling process also gives rise to the fragmentation

of matter and formation of a reactive interface (smearing one reagent on the surface of another at contact sites). During this activation, the newly formed structures and composites undergo eventual comminution, leading to the formation of smaller new ones with a more complicated inner structure that also contains reaction products. A gradual decrease in the particle size of reagents favors more and more the mass transport of reagents. In addition, mechanoactivation is accompanied by heating of the milled material and mill walls. The reasons for this are the heat release from the chemical reaction, as well as that from dissipation of mechanical energy.

Interlayer distance in LDH depends on the type of anion and it increases, depending on the used salt from chloride, to nitrate and further to sulfate one [5]. In order to obtain small interlayer distance we use chloride salt. The interlayer distance is 7.73 Å for chloride modification [5].

The mixtures of stoichiometric quantities of initial compounds ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and $\text{Mg}(\text{OH})_2$ or $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, respectively) were milled. Activation time was varied also within a wide range. The obtained data indicate that the 140 min high-energy mechanochemical activation of these mixtures at already presented experimental conditions leads to the formation of layered double hydroxide chlorides. X-ray diffraction pattern of the as-prepared samples are presented on Fig. 1-a and 2-a. It can be seen a complete disappearance of initial compounds reflections and presence of diffraction lines of prepared compound only - iron-magnesium hydroxide chloride or iron hydroxide chloride, respectively (PDF 20-0500) [5]. The new LDH structure has broad and low intensive reflections in both cases. The line shape broadening of patterns is typical for mechanochemically synthesized samples, indicating low crystallinity degree and high dispersion of the sample. Structural changes of the as-prepared LDH material that occur during thermal treatment were studied by DTA-TG method. It provides a great deal of information about the appropriate calcination temperature for thermal treatment of the as-prepared material [6]. According to these data the precursors were heated for 4 h at 623 K in order to obtain studied ferrite materials. XRD pattern of calcination product on Fig. 1-b represents a pattern of $\text{Mg}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$ phase (PDF 80-0073). FWHM are taken from X-ray peaks to estimate the particle size. Its determination has been carried out using Scherrer equation [7]. The calculated average crystal size value of 13 nm shows that synthesized ferrite powder consists of nanocrystalline particles. The lattice strain of material is $9 \cdot 10^{-3}$. Fig. 2-b shows XRD pattern of the obtained product in the case of heating of iron hydroxide chloride precursor for 4h at 623K in N_2 media. It represents the presence of diffraction lines of non-stoichiometric phase of $\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ (PDF 19-0629). The calculated values are 35 nm for the mean crystal size and $5 \cdot 10^{-3}$ for material lattice microstrain parameter. Therefore the crystallites of synthesized ferrite powder have nano-dimensional size.

Moessbauer study of the samples confirmed the obtained X-ray diffraction results. Moessbauer spectra of the samples were registered at each step of the mechanochemical treatment, as well as after heating. Part of them is shown on Fig. 3 and 4. Fig. 3-a and 4-a show the Moessbauer spectra of the mechanochemically prepared iron hydroxide chloride precursors. Two

paramagnetic doublets are obtained. The calculated parameter values of these components could be attributed to iron cations in the hydrotalcite lattice. These values are in agreement with those reported by the other authors [5, 8].

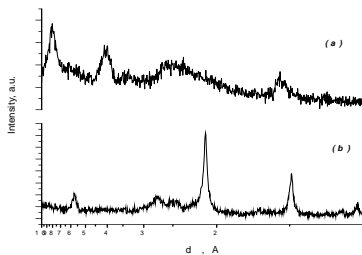


Figure 1. XRD of: (a)- iron-magnesium hydroxide chloride prepared by MCA; (b)- nano-sized MgFe_2O_4 .

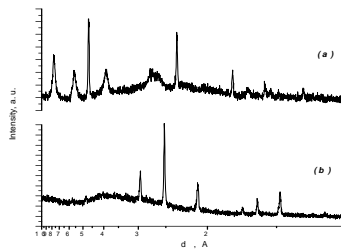


Figure 2. XRD of: (a)- iron hydroxide chloride prepared by MCA; (b)- nano-sized Fe_3O_4 .

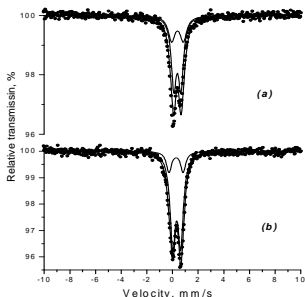


Figure 3. Mössbauer spectra of: (a)- iron-magnesium hydroxide chloride prepared by MCA; (b)- nano-sized $\text{Mg}_x\text{Fe}_{2-x}\text{O}_4$

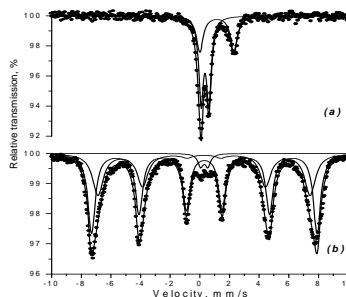


Figure 4. Mössbauer spectra of: (a)- iron hydroxide chloride prepared by MCA; (b)- nano-sized $\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$

Mössbauer spectra of the heated precursor materials (Fig. 3-b and 4-b) include superposition of doublet lines (in the case of magnesium ferrite preparation) or doublet and sextet part (in the case of magnetite synthesis). The optimal fit of these spectra and the calculated hyperfine parameters can be assigned to spinel preparation. In both cases (Fig. 3-b and 4-b) the doublet components show the synthesis of ultradisperse ferrite particles ($D < 10 \text{ nm}$) with superparamagnetic (SPM) behaviour. They represent the contributions of the core and the shell (surface layers) of the small ferrite particles. In the second case (Fig. 4-b) the sextet type of spectrum with lower values of hyperfine effective field ($H_{\text{eff}}=47,3\text{T}$ for tetrahedrally coordinated iron ions and $H_{\text{eff}}=44,5\text{T}$ for octahedrally coordinated ones) show the preparation of highly dispersed ferrite particles ($D < 50 \text{ nm}$) [8].

The obtained IR spectra (not shown) also indicate the mechanochemical preparation of LHD precursors, as well as the synthesis of ferrite materials after

heating. They also show the lack of carbonates in the obtained samples. The last one is of great importance, because the preservation of sample carbonization is difficult when the co-precipitation method of synthesis was used.

The obtained data clearly show synthesis of nano-sized ferrite materials which are active in toluene oxidation (not shown). The nanosized Fe_3O_4 possesses higher catalytic activity. Therefore the chosen mechanochemical preparation of precursor materials significantly changes the dispersity of materials in comparison with obviously small values of thermally synthesized ferrites. In the course of the milling process, mechanical energy accumulates in the form of defects in the activated material. The energy stores in a long-lived defects, which are based on changes in dislocation density, surface area increase and partial amorphization of activated material. So, the stored energy lead to changes in dispersity, extent of amorphization, crystallite size decrease and increase of lattice strain in activated material. We can conclude that the method of preparation has great influence on the textural characteristic and the crystallinity of the obtained samples, as well as on their catalytic behaviour.

CONCLUSION

Mechanochemical activation of the initial salts shows a new way to synthesise the studied LDH compounds. The easy LDHs synthesis provides the possibility to use as-prepared precursors for the preparation of ferrite materials $\text{M}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$ ($\text{M}^{2+}=\text{Mg}^{2+}, \text{Fe}^{2+}$). The chosen preparation conditions influence on the material size, their physico-chemical and catalytic properties.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful for the financial support of the National Science Fund of Bulgarian through the Project DO 02-295/2008.

REFERENCES

- [1] W. Meng, F. Li, D. G. Evans, X. Duan, J. Mater. Sci. Lett., **39** (2004) 4655.
- [2] I. Bergmann, V. Šepelák, K.D. Becker, Solid State Ionics, **177** (2006) 1865.
- [3] M. Gabrovska, R. Edreva-Kardjieva, V. Idakiev, B. Kunev, Bul. Chem. Commun., **34** (3/4) (2002) 395.
- [4] M. Gabrovska, N. Drăgan, R. Edreva-Kardjieva, D. Crisan, Nanosci.&Nanotechnol., Issue 5, E. Balabanova and I. Dragieva (Eds.), Heron Press Sci. Ser, Sofia, Bulgaria (2005) 133.
- [5] M. A. Aramendia, V. Borau, C. Jimenez, J. M. Marinas, J. R. Ruiz, F. J. Urbano, J. Solid State Chemistry **168** (2002) 156.
- [6] Z. Cherkezova-Zheleva, D. Paneva, E. Manova, B. Kunev, V. Petkova, I. Mitov, J. Balkan Tribol. Assoc., **14** (4), 508 (2008).
- [7] U. Schwertmann and R. Cornell, Iron Oxides in the Laboratory, (Weinheim, New York-Basel-Cambridge, 1991).
- [8] J. Sanches-Valente, J. M. Millett, F. Figueras, L. Fournes, Hyp. Int., **131**, 43 (2000).

ТРИЕНЕ ПРИ НИСКИ ТЕМПЕРАТУРИ

Меди Аструкова, Юлика Симеонова, Тинка Грозданова
Институт за космически изследвания – София 1000, ул. Московска, 6
Българска академия на науките
E-mail: medi@bas.bg

FRICITION AT LOW TEMPERATURES

Medi Astrukova, Yulika Simeonova, Tinka Grozdanova
Space Research Institute – Sofia 1000, 6 Moskovska str.
Bulgarian Academy of Sciences
E-mail: medi@bas.bg

Abstract: Researches and tests of new experimental alloy systems of Fe-Ni-Al at low temperatures are shown in the article. Conclusions are made for a method of reaching high flexibility and strength at the same time at 77 K temperature of the alloy systems.

Keywords: friction, alloy, flexibility, strength

Въведение

Известно е, че при силно охлаждане на материалите тяхната твърдост и крехкост нараства. В металите възникват квантови ефекти, значително променящи физико-механичните им свойства, които са пряко свързани със структурата. При някои метали (желязо, хром, молибден и др.) настъпва увеличаване на крехкостта, което води към явлението «студена трошливост», присъщо на стоманите, съдържащи тези елементи. Докато други метали - мед, алуминий, никел, титан, берилий и техните сплави запазват своята якост дори при силното охлаждане.

Проблемите на триене и съответно износване на лагерни възли, шарнири, направляващи, уплътнители и други фрикционни елементи, както и цели повърхности на корпуси, работещи при температури близки до -200 °С в Космоса или в наземни условия, продължават да са предмет на изследване [1]. Характерно за триенето при охлаждане е, че поради нарастващата твърдост, фактическата площ на контакта намалява и коефициентът на триене се понижава. Този ефект на практика се наблюдава до температури 100 – 70 К.

Особености и някои примери на «студеното» триене

При триенето с температури 10-12 К във вакуум 2.10^{-10} Тор (характерен за повърхността на Луната) тефлонът върху стоманената повърхност се пренася във вид на отделни парчета.

При триенето в течен водород или азот, защитни окисни слоеве върху метална повърхност не се образуват, което води към интензивно износване.

При триенето в течен кислород окислението на металите е толкова интензивно, че води до възникване на силна корозия.

Известна е способността на редица метали и сплави при силното охлаждане да преминават в състояние на свърхпроводимост, при което електрическото им съпротивление изчезва. Какво влияние оказва това състояние при триене е изследвано при двойка от два едноименни метали при Ткр. $> 4,2$ К, потопена във вана с течен хелий [2]. Изследвани са в тази вана и трибо-двойки от мед и молибден (необладаващи свърхпроводимост). При тях коефициентът на триене монотонно нараства до единица в резултат на износването на окисните слоеве. При двойка от чист ниобий (Ткр. $> 9,2$ К) триенето в началото постепенно нараства, след това остава постоянно и изведнаж коефициентът на триене спада под 0,2. Анализът на възникналия тънък повърхностен слой показва преход от кристалната решетка към аморфно състояние, притежаващо смазочно действие. Допуска се, че свърхпроводимостното състояние довежда до аморфизация на ниобия. По този начин криогенната технология показва на триболозите път към «безизносно» триене. Аморфизиран метален слой може да се получи и по други начини, например чрез въздействие с мощен лазерен лъч и следваща бърза закалка на метала. Не по-малко интересни са опитите с полупроводници при триене в течен хелий, способни в двойка с метали да образуват сложни трибоструктури с ценни инженерно-физически свойства. С една дума може с увереност да се каже, че перспективните изследвания на «студеното» триене предстоят.

В областта на космическото материалознание се провеждат редица изследвания за създаване на материали, подходящи за работа при ниски температури.

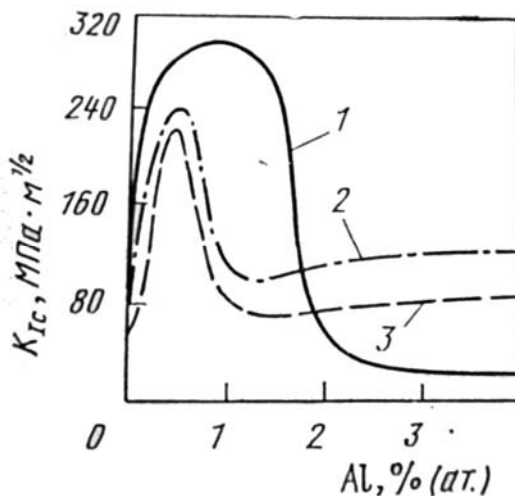
Свойства на нови пластични и издръжливи сплави при ниски температури

Стоманите, легирани с Ni, често се използват при ниски температури благодарение на тяхната изключително висока еластичност. Например, стомана 304 с 8% Ni, се характеризира с висока степен на еластичност на разрушение при ниски температури и относително ниска якост. Стомана от серията 200, легирана с 18% Ni, притежава много висока якост при ниски температури, но понижена еластичност. Аналогично стоманата с 9% Ni се характеризира с добра еластичност и средна якост при ниски температури,

като в същото време стоманата с 9% Ni и 4% Co има по-висока якост, но съществено влошена еластичност при същите температури.

Целта на проведено изследване [3] е да се разработи сплав на желязна основа, в която високата еластичност при ниските температури да се съчетае с висока якост. И по-точно, новата сплав да има еластичност не по-малка от 220 МПа·м^{1/2} при граница на еластичност не по-малка от 1,4 ГПа при 77К (температурата на течния азот).

Един от начините за достигане на висока еластичност при сплавите на желязна основа при ниски температури, е свързана с понижаване концентрацията на примесите въглерод, кислород и азот, които увеличават крехкостта. Това понижаване на примесите се постига с въвеждане на химически активни адсорбиращи елементи, които се свързват с тези примеси. Изпробвани са активните метали от системата Fe – 12Ni, като Al, La, Nb, Si, Ta, Ti, V, Zr. Предварителните изследвания показват, че Al, Nb, Ti и V са най-ефективно повишаващи еластичността и якостта на опитния образец и по-специално алуминия.



Фиг.1. Влияние на процентното съдържание на Al върху еластичността на сплав Fe – 12Ni – Al при 77 К

На Фиг.1 е показано влиянието на добавката алуминий на еластичността на сплав Fe – 12Ni при ниски температури. Представени са три криви и характеризират материал, отгрят в продължение на 2 часа при температури 823 К – крива 1; 958 К – крива 2 и 1093 К – крива 3. Максимална еластичност се достига при концентрация на алуминия 0,5% при температура 823 К и се свързва с отделянето на примесите. При по-нататъшните изследвания за оптимално се избира съдържанието 0,5% Al.

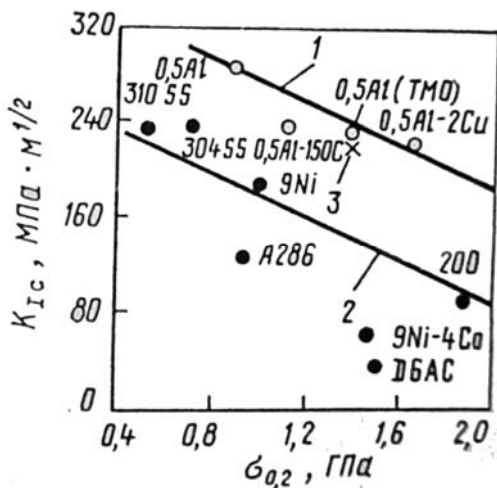
При криви 2 и 3 се вижда рязко спадане на еластичността в сплав Fe – 12Ni – Al, отгрята при 958 К и 1093 К.

И така изследванията показват, че е възможно съчетаване на висока еластичност и якост в системата Fe – 12Ni – 0,5Al при 77 К. Това е достигнато чрез оптимизация на съдържанието на Ni и Al с цел осигуряването на висока еластичност с максимална стойност $310 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Такава висока стойност има сплавта съдържаща $\approx 0,01\% \text{C}$, закалявана при 823 К за образуване на микроструктури основно от мартенсит и ферит.

Повишаването на якостта на сплавта Fe – 12Ni – 0,5Al се достига по три начина:

- чрез въвеждане на добавка от въглерод,
- чрез термомеханична обработка
- чрез дисперсно отделяне на медта при втвърдяване.

Правено е сравнение между изследваните опитни сплави и промишлените стомани за криогенно предназначение. Фиг.2 илюстрира това сравнение:



Фиг.2. Сравнение на опитни сплави Fe – 12Ni с промишлени стомани по отношение еластичност и якост при 77 К

Графика 1 представлява сплав Fe – 12Ni – 0,5Al, а графика – 2 съответно промишлена стомана. Вижда се, че еластичността се намалява при увеличаването на якостта както при експерименталните така и при промишлените стомани, **но при якост на нивото на стомана серия 200, сплавта Fe – 12Ni – 0,5Al уякчена с мед има 2 пъти по-висока еластичност. И още, при еластичност на нивото на неръждавеща стомана 304, новата сплав притежава 2 пъти по-висока якост.**

В заключение може да се обобщи:

1. С оптимално съдържание на Ni и Al съответно 12% и 0,5%, се осигурява изключително висока еластичност на разрушение и средно ниво на якост при 77К.

2. Сплавта Fe - 12Ni - 0,5Al, допълнително оякчена чрез стареене с отделяне на дисперсни частици, богати на мед, притежава пределно ниво на еластичност 1,4 ГПа и еластичност на разрушение 220 МПа.м^{1/2}.

3. Термо-механичната обработка и добавката на С в количество 0,015% е ефективен способ за допълнително оякчаване на сплавта при запазване на висока еластичност.

Литература

1. Е. Кемурджиан, Н. Громов и др., Автоматическите станции для изучения поверхностного покрова Луны, М. Машиностроение, 1976.

2. А. А. Силин, Трение и мы, Изд. Квант, вып 57, Москва, "Наука", 1987.

3. J. R. Stephens, W. R. Witzke., Properties of plastically and hardly alloys on iron based at low temperature, NASA – Lewis Research Center, Klivland, Ohayo, USA, in literary "Metallurgy", Moscow 1983.

Properties of NiMo-containing catalysts supported on mechanochemically prepared Al₂O₃-TiO₂ mixed oxides

N.G. Kostova¹, B. Kunev¹, E. Dutkova², P. Balaz²

¹Institute of Catalysis, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria,

E-mail: nkostova@ic.bas.bg

²Institute of Geotechnics, Slovak Academy of Sciences, 043 53 Kosice, Slovakia

Свойства на NiMo-съдържащи катализатори, нанесени върху смесени оксиди получени по механохимичен път

Н.Г. Костова¹, Б. Кунев¹, Е. Дуткова², П. Балаж²

¹Институт по катализ, Българска академия на науките, 1113 София,

България, E-mail: nkostova@ic.bas.bg

²Институт по геотехника, Словацка академия на науките,
043 53, Кошице, Словакия

Abstract: A serie of mixed oxide supporys consistingof alumina with different wt.% of TiO₂ was prepared by tribochemical synthesis by dry and wet milling in vibrational high-energy mill. The catalysts containing 12 wt.% Mo and 1wt.% Ni were prepared by impregnation with appropriate amounts of 12-molybdophosphoric heteropoly acid or its nickel salt on the calcined support. The surface areas of the supports and the catalysts were measured by nitrogen adsorption method. All Mo- and NiMo-containing catalysts have surface areas less than the supports due to the blocking of some pores. The structures of the samples have been investigated by powder X-ray diffraction. The results showed that the molybdenum is well dispersed in all over the supports. The sulfided catalysts were tested in the thiophene hydrodesulfurization. The results showed an activity variation as a function of support composition.

Keywords: mechanochemistry, ball mill, mixed oxide, support, catalyst

1. Introduction

The environmental regulation pressure is being increased to reduce precursors of pollution contaminants sulphur, nitrogen and aromatics in fuels to lower level. It has been widely recognized that for deep removal of these contaminants by hydroprocessing. Research must be more oriented to the catalyst developments, rather of the process conditions. Hydrodesulfurization (HDS) of refinery streams is carried out with catalysts supported on Al₂O₃ consist of Mo

or W promoted with Co or Ni. In addition, extensive research work has been performed with other supports. Titanium oxide is a more efficient support due to its capacity to interact with molybdenum [1]. The handicap is its small surface area and the poor thermal stability of anatase phase. The composite supports including binary oxides of SiO₂ or TiO₂ modified Al₂O₃ showed promising properties in catalytic processes [2]. The favourable reducibility and sulfurability of TiO₂-Al₂O₃ binary oxides made them facilitate to the redox processes of active Mo-phases [3, 4].

Mechanochemistry is an attractive synthesis method that received great attention in recent years [5, 6]. Mechanochemical synthesis is a rapidly developing technology capable of producing a wide range of dispersion strengthened energetic, nanocrystalline and other advanced materials [6]. High-energy mechanochemical synthesis is a solid state powder processing route which involves repeated welding, fracturing and rewelding of powder particles in high-energy ball mill. Wet grinding is performed in aqueous environment and has some advantages over dry grinding, such as the higher energy efficiency, lower magnitude of excess enthalpy and the elimination of dust formation [7].

The aim of this work is to prepare of the TiO₂-Al₂O₃ mixed oxides. The effect of the amount of Ti in mixed oxide on the textural, structural and catalytic properties of molybdenum supported on alumina-titania mixed oxides is reported.

2. Experimental

A series of Al₂O₃-TiO₂ mixed oxides with variable amounts of TiO₂ have been prepared. Anatase with specific surface are 50 m²g⁻¹ and γ -Al₂O₃ (specific surface area 200 m²g⁻¹) were used as starting materials. The mixed oxides were synthesized using a laboratory planetary mill Pulverisette (Fritsch, Germany). The mill was run at planet carrier rotation speed 300 min⁻¹ for milling time of 1 h and was operated at ambient temperature and free access of air. Both container and ball were of stainless steel. The balls to powder weight ratio was 10:1. Relatively slow milling speed was selected to reduce the possible adverse effects of very rapid grinding on the crystallinity of the samples. The mechanochemically synthesized mixed oxides were denoted as Al₂O₃-TiO₂-x, where x represented the TiO₂ content in the samples.

The Mo- and NiMo-containing catalysts supported on the mechanochemically prepared TiO₂-Al₂O₃ mixed oxides were synthesized by the incipient wetness impregnation method using aqueous solutions of 12-molybdophosphoric heteropoly acid (HPMo) and its nickel salt (NiPMo). The catalysts were dried at 383 K for 4 h and calcined at 623 K for 2 h and contain 8 wt. % Mo and 1 wt. % Ni.

The textural properties of prepared samples were studied by N₂ physisorption at 77 K. Specific surface areas and pore volume were obtained with a Gemini 2360 sorption apparatus (Micrometritics, USA).

The phase and structural transformations were monitored by X-ray diffraction (XRD). Powder XRD patterns of the samples were registered at room temperature with a TUR M62 diffractometer using Co-K α radiation equipped with a computer-controlled HZG-4 goniometer. The identification of the phases was carried out using the powder diffraction file of the international centre for diffraction data.

Experiments of temperature-programmed reduction (TPR) were carried out on the apparatus described earlier [8]. A H $_2$ +N $_2$ mixture (10 mol% of H $_2$) was used to reduce samples at a flow rate of 17 ml min $^{-1}$. The temperature was increased up to 1100 K at a rate of 20 K min $^{-1}$.

The thiophene conversion of the catalysts was measured in a fixed-bed reactor at atmospheric pressure. Prior to each reaction test, the catalysts were presulfided with a 10 % H $_2$ S-H $_2$ mixture at 623 K for 1 h. Residual hydrogen sulphide was flushed from the catalyst surface with argon before start-up of the reaction. A thiophene/hydrogen mixture was passed into reactor at 623 K. The outlet steam was analyzed for unreacted thiophene and product gases by gas chromatography using two columns.

3. Results and discussion

The typical textural properties of mechanochemically prepared TiO $_2$ -Al $_2$ O $_3$ -x mixed oxide supports are presented in Table 1.

Table 1. Textural properties of the mechanochemically prepared supports

Support	S _{BET} (m 2 g $^{-1}$)	V _t (cm 3 g $^{-1}$)
TiO $_2$ +Al $_2$ O $_3$ - 1	190	0.75
TiO $_2$ +Al $_2$ O $_3$ -2	185	0.75
TiO $_2$ +Al $_2$ O $_3$ - 10	170	0.75
TiO $_2$ +Al $_2$ O $_3$ - 30	150	0.74

Table 2. Textural properties of the catalysts

Catalyst	S _{BET} (m 2 g $^{-1}$)	V _t (cm 3 g $^{-1}$)
NiMo/TiO $_2$ +Al $_2$ O $_3$ 1	170	0.56
NiMo/TiO $_2$ +Al $_2$ O $_3$ -2	162	0.56
NiMo/TiO $_2$ +Al $_2$ O $_3$ -10	145	0.54
NiMo/TiO $_2$ +Al $_2$ O $_3$ -30	135	0.53

The data in Table 1 show that the specific surface areas (S_{BET}) of TiO $_2$ -Al $_2$ O $_3$ -x mixed oxide supports decrease with increasing of TiO $_2$ contents, since titania was usually a substance with a lower surface area and total pore volume (V_t). However, all of these surface areas still keep at high levels, which are favourable for providing a suitable site for the high and uniform dispersion of active components of nickel and molybdenum.

The pore volumes of the mechanochemically prepared TiO $_2$ -Al $_2$ O $_3$ -x mixed oxide are similar. This indicates that the lower TiO $_2$ content doesn't affect the configurations of prepared mixed oxides.

Supported phases impregnation affected to some extent textural properties of the mechanochemically prepared mixed oxide supports (Table 2). Surface areas and pore volumes loss after impregnation suggesting partial pore-plugging in

samples. The specific surface areas of the catalysts (Table 2) decrease with the increasing in TiO₂ content due to the low surface area and pore volume of started titania.

XRD patterns of mechanochemically prepared TiO₂-Al₂O₃ mixed oxides with different TiO₂ content are showed in the Figures 1 and 2.

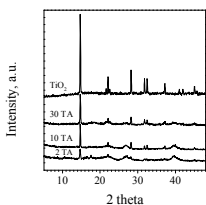


Figure 1. Powder X-ray diffraction of the supports

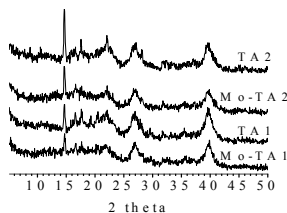


Figure 2. XRD pattern of the catalysts and corresponding supports

The XRD patterns indicate that all of these mixed oxides show the similar types of spectra, and the existed species on the composites are mostly anatase TiO₂ species at the high TiO₂ content. When the TiO₂ loadings are 1 and 2 wt. %, the low intense TiO₂ signals and the characteristic peaks of alumina are presented (Figure 2). XRD pattern of the mixed oxide samples are shown in Fig. 1. X-ray diffraction data indicated that in titania rich regions anatase is observed and in γ -Al₂O₃ rich region of mixed oxide presented anatase as well as γ -Al₂O₃ peaks are noticed.

Fig. 2 shows the XRD patterns of the NiMo/TiO₂-Al₂O₃ catalysts with different TiO₂ contents and their corresponding supports. There is no evidence for XRD for any crystalline phases of molybdena indicating that the metal active components over catalyst surfaces are highly dispersed or the cluster of active phase is less than 3 nm (Fig. 2).

TPR profiles of the Mo- and NiMo-containing catalysts are presented in Fig. 3 and indicate two stages of reduction. The results were carried out in the temperature range of 300 to 1100 K.

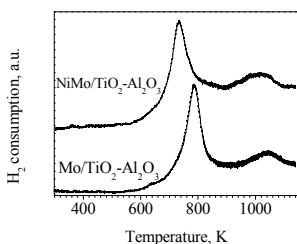


Fig. 3. TPR profiles of Mo/TiO₂-Al₂O₃ and NiMo/TiO₂-Al₂O₃ catalysts

The first peak at 790 K in the TPR pattern of sample Mo/TiO₂-Al₂O₃ has been attributed to the reduction of Mo⁶⁺ to Mo⁴⁺ of polymeric structures. The second peak is associated with a further progress in the reduction of Mo species of the first peak, together with the partial reduction of the tetrahedrally coordinated Mo⁶⁺ species, which are much harder to reduce.

A shift is observed in the peak maxima towards lower temperatures (from 790 to 735 K for the first peak and from 1045 to 1015 K for second one) in the TPR profile of the to the titania and titania–alumina supports (Figure 3) does NiMo/TiO₂-Al₂O₃ 30 sample This is an indication that the nickel is a reduction promoter of the molybdenum in the catalyst synthesized with mechanochemically prepared TiO₂-Al₂O₃ support.

These octahedral Ni²⁺ bands could be associated to Ni-Mo cluster with a close interaction. There for in our case , interactions between Ni and Mo species are more important that those between Ni and support. It is also known that titania weakens the interactions between the active metal and TiO₂-Al₂O₃ support [4]. The differences between the peak intensities implied that the NiMo/TiO₂-Al₂O₃ catalysts formed more octahedral molybdenic species than Mo/TiO₂-Al₂O₃ catalyst. That is the reason why the formed catalysts were more active in thiophene HDS than the latter. And this assumption could be confirmed by the following HDS results.

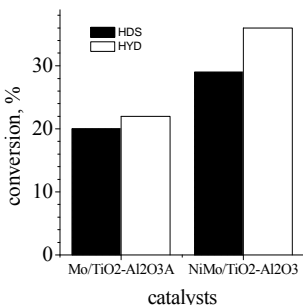


Figure 4. HDS and HYD catalytic activities of the Mo/TiO₂-Al₂O₃ and the NiMo/TiO₂-Al₂O₃ catalysts

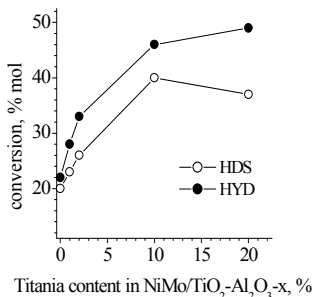


Figure 5. Effect of titania content in their HDS and HYD activities

To analyze the influence of TiO₂ content on the activity of the catalysts supported on mechanochemically prepared titania-alumina mixed oxides, we tested the catalysts in the thiophene hydrodesulfurization. In the Figure 5 is compared the thiophene hydrodesulfurization (HDS) and hydrogenation (HYD) activities of the Mo/TiO₂-Al₂O₃ and NiMo/TiO₂-Al₂O₃ catalysts. Nickel introduced simultaneously with Mo as Ni salt of 12-molybdophosphoric heteropoly acid showed promoting effect (Figure 5) on the HDS activity.

It can be found from the Figure 6 that the HDS efficiencies of NiMo-containing catalysts increase with the TiO₂ content increasing and reach a maximum value at 10 wt.% TiO₂, which may be attributed to the higher reducibility of molybdenum on the TiO₂-Al₂O₃ -10 support. But with further increase TiO₂ content to 20 wt. %, the HDS efficiencies reduce due to the accumulation of TiO₂ crystal. It showed be pointed out that the more addition of

titania (20 wt. %) to alumina improved the hydrogenation (HYD) activity (Figure 6). TPR data have shown lower reduction temperature for the NiMo/TiO₂-Al₂O₃ catalysts in comparison with the Mo/TiO₂-Al₂O₃ catalyst. It is known that the reduced phase is more easily sulfided and than it leads to higher HDS and HYD activities.

4. Conclusion

In this paper, TiO₂-Al₂O₃ supports prepared by mechanochemically method showed the high specific surface areas. The physicochemical properties of NiMo/TiO₂-Al₂O₃ and Mo/TiO₂-Al₂O₃ catalysts and their supports were characterized by XRD and UV-vis DRS techniques. The analysing results showed that the presence of TiO₂ species could adjust the interaction between support and active metal and impelled the higher reducibility of the Mo. HDS efficiencies of NiMo/TiO₂-Al₂O₃ catalysts possesses the higher activity of thiophene hydrodesulfurization than that of NiMo/Al₂O₃ catalyst.

References

1. M. Breyse, J. L. Portefaix, M. Vrinat, *Catal. Today*, Vol. 10, No.4, 489-505 (1991).
2. A. Duan, G. Wan, Z. Zhao, C. Xu, Y. Zheng, Y.G. Zhang, T. Dou, X. Bao, K. Chung, *Catal. Today*, Vol. 119, No. 1-4, 13-18 (2007).
3. A.A. Cecilio, S.H. Pulcinelli, C.V. Santilli, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* Vol. 31, No. 1-3, 87-93 (2004).
4. J.R. Grzechowiak, I. Wereszczako-Zielinski, K. Mrozinska, *Catal. Today*, Vol. 119, No. 1-4, 23-30 (2007).
5. D.D. Radev, V. Blaskov, D. Klissurski, I. Mitov, A. Toneva, *J. Alloys Compounds*, Vol. 256, No. 1, 108-111 (1997).
6. Peter Balaz, *Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering*, Springer, 2008.
7. C. Frances, C. Laguerie, B. Mazzarotta, T. Veccia, *Chem. Eng. J.*, Vol. 63, No. 1, 141-147 (1996).
8. N.G. Kostova, A.A. Spojakina, K. Jiratova, O. Solcova, L.D. Dimitrov, L.A. Petrov, *Catal. Today*, Vol. 65, No 3-4, 217-223 (2001).

Mechanochemically activated Fe₂O₃-TiO₂ mixed oxides

*N.G. Kostova¹, B. Kunev¹, M. Shopka¹, G. Kadinov¹,
E. Dutkova², P. Balaz²*

¹*Institute of Catalysis, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria,
E-mail: nkostova@ic.bas.bg*

²*Institute of Geotechnics, Slovak Academy of Sciences, 043 53 Kosice, Slovakia*

Механохимично активиране на смесени оксиди Fe₂O₃-TiO₂

*Н.Г. Костова¹, Б. Кунев¹, М. Шопска¹, Г. Кадинов¹,
Е. Дуткова², П. Балаж²*

¹*Институт по катализ, Българска академия на науките, 1113 София,
България, E-mail: nkostova@ic.bas.bg*

²*Институт по геотехника, Словацка академия на науките,
043 53, Кошице, Словакия*

Abstract: *A serie of Fe₂O₃-TiO₂ mixed oxides was prepared by mechanical activation in high-energy ball mill. The effect of milling conditions on the properties of synthesized mixed oxides was studied. XRD and FTIRS were used for characterization of the activated powders. Changes of the crystal structure, phase composition, structural disorders and decrease in the particle size, resulting from the mechanical treatment were registered*

Keywords: *mechanochemistry, ball milling, Fe₂O₃-TiO₂ mixed oxides.*

1. Introduction

There is a great academic and technological interest in materials like hematite (α -Fe₂O₃) milled with different metals and oxides [1, 2]. These materials present numerous potential applications, mainly in electronics, metallurgy and catalysis [1, 3]. The formation of mixed oxides using the conventional solid-state reaction between simple oxides proceeds slowly and requires prolonged exposure at considerably elevated temperatures. The structural changes induced in pure TiO₂ and pure and doped ZrO₂ systems by high-energy dry ball milling process have been published recently [4-5]. A large number of structural defects formed during the milling, store energy in the material and are capable of driving the structural transformation. Hofmann et al. [6] report that the main transformation of α -Fe₂O₃ to defect Fe_{3-x}O₄ takes place by rupture of the oxide surface layers.

This leads to release of oxygen and reduction. In the present study, we report the results of preparation of $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ mixed oxides by high-energy ball milling process and study of the effect of milling time, milling velocity and milling media.

2. Experimental

Several $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$ samples ($x = 0.5$ and 0.75) were mechano-chemically prepared. Mechanical milling was performed in a Fritsch planetary mill (Pulverisette type 6), with vial and balls made of WC hard-metal material. A mass of 6 g of powder in one charge was prepared from pure rutile type TiO_2 and hematite powders. Three powders were milled in argon without any additives (dry ball milling) and one in presence of isopropyl alcohol (IPA), under closed milling conditions. The surface areas and pore volumes of the samples were measured by nitrogen adsorption-desorption at 77 K in Gemini 2360 sorption apparatus. Infrared spectra were collected by Nicolet 6700 FTIR spectrophotometer (Thermo Electron Corporation, USA). The method of dilution of the studied sample in KBr at concentration 0.5% was used. The spectra were taken in $250\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ region at 0.4 cm^{-1} resolution and 50 scans. The structure and phase composition of the samples were determined by powder X-ray diffraction (XRD) using TUR M62 diffractometer with $\text{CoK}\alpha$ radiation. The identification of registered phases was done according to JCPDS database.

3. Results and discussion

The milling condition and typical textural properties of initial Fe_2O_3 , TiO_2 and mechanochemically activated $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ mixtures are presented in Table 1.

Table 1 Milling condition and textural properties of the samples.

No	Sample	x	Milling media	Rotation speed, rpm	Milling time, min	$S_{\text{BET}}, \text{m}^2\text{g}^{-1}$	Pore volume, cm^3g^{-1}
1	$(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$	1.00	-	-	-	3.0	0.002
2	$(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$	0.00	-	-	-	12.6	0.009
3	$(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$	0.50	Ar	400	20	18.0	0.013
4	$(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$	0.50	Ar+IPA	400	20	12.7	0.009
5	$(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$	0.50	Ar	200	120	17.5	0.012
6	$(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$	0.75	Ar	400	20	12.5	0.009

The surface area and pore volume of the samples with $x = 0.50$ after dry milling increase with 50% in comparison with that of initial rutile. Sample 4 milled with isopropyl alcohol and sample 6 with higher iron content exhibited the same surface area as the pure rutile.

The planetary milling realised at conditions of high energy transfer and long milling periods could result in undesirable agglomeration of the finely dispersed

particles. The BET surface measurement of the sample prepared at lower rotation speed but at longer milling time (sample 5) shows comparable area and pore volume as in the case of mechanochemical activation by high energy transfer (sample 3). Despite the long milling time the internal surface of aggregates remains accessible to the molecules of inert gas.

FT-IR spectra of the initial rutile and hematite and the mechanochemically activated $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$ mixtures in the region $400\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ are shown in Fig. 1a. The hematite is characterised by strong bands at 540 and 470 cm^{-1} and shoulder at about 600 cm^{-1} [7]. TiO_2 is characterized by the band at 420 cm^{-1} and by a broad region of strong absorption composed of overlapping bands at about 570 and 660 cm^{-1} , similar to the rutile data reported in refs. [8, 9].

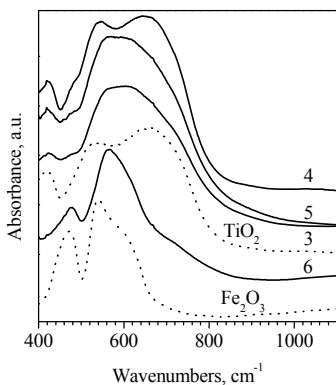


Fig. 1. a. Mid-FTIR spectra of pure Fe_2O_3 , TiO_2 and mechanochemically activated Fe_2O_3 - TiO_2 mixtures (see Table 1).

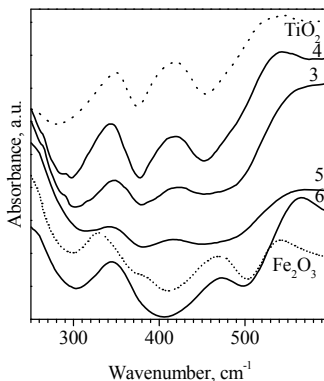


Fig. 1. b. Far-FTIR spectra of the mechanochemically activated $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$ samples (see Table 1).

FTIR spectra of TiO_2 , Fe_2O_3 and mechanochemically activated $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$ mixtures in the far infrared region are shown in Fig. 1b. The absorption bands at 330 , 470 and 540 cm^{-1} in the spectra of pure hematite are mainly associated with the Fe–O vibrations. Band shift to higher wavenumbers of the 330 - and 540 cm^{-1} -bands is seen after mechanochemical activation of sample 6 that implies structural changes in the hematite. The higher is the surface area obtained after the treatment the bigger is this shift and better seen is the change in the relative intensity of these bands. Comparing the changes in surface area and in the spectra of activated samples 3–6 with those of the initial oxides, we can suggest that the hematite component is more susceptible to the milling process.

Fig. 2 displays XRD patterns of the investigated samples. Pure TiO_2 was characterized by rutile phase (JCPDS File No. 21-1276) and Fe_2O_3 was characterised by hematite phase (JCPDS 33-0664). The diffraction patterns of

all mechanochemically activated $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$ samples No. 3–6 exhibit lower intensity and broader lines than those of non-activated samples, due to a decrease in size of both the hematite and rutile particles by the intensive milling. The diffractogram of $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_{0.5}(\text{TiO}_2)_{0.5}$ milled in a polar organic media (isopropyl alcohol, sample 4) compared to those of pure TiO_2 and Fe_2O_3 samples shows less changes in the characteristic lines. Obviously, the presence of organic media restricts the energy transfer between the powders and the material of triboreactor. The fresh surface produced during the milling is reactive with respect to the adsorption of polar molecules thus decreasing the extent of particles destruction and the fracture stress.

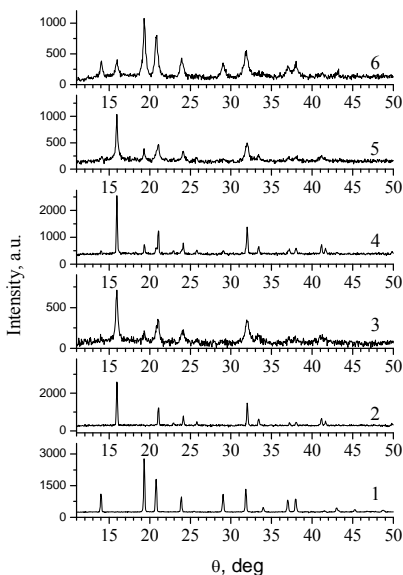


Fig. 2. Diffraction patterns of initial TiO_2 and Fe_2O_3 and mechanochemically prepared mixed oxides $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$ (see Table 1).

The decreased intensity of diffraction peaks in the patterns of mechanochemically activated $(\text{Fe}_2\text{O}_3)_x(\text{TiO}_2)_{1-x}$ samples implies the formation of amorphous materials. XRD results are in conformity with those of IRS that the milling process leads to severe destruction of the hematite particles. The respective lines are of low intensity. Broadening of XRD lines could also result from plastic deformation. The long-lived defects are preferentially accumulated in the near surface layer [10].

Addition of ferric oxide into the rutile matrix leads to the formation of mixed oxide phase and probably causes a competitive electronic interaction between

both metals in mixed oxide structure thus influencing the dispersion of Ti^{3+}/Ti^{4+} and Fe^{2+}/Fe^{3+} pairs.

High-energy dry-milling is an efficient processing method when used at room temperature [11]. Our results confirm that it induces a structural change in the Fe_2O_3 - TiO_2 crystalline powder mixtures. The products are samples with high surface area in comparison with the initial oxides.

Acknowledgments:

The authors thank the National Science Fund at the Bulgarian Ministry of Education, Youth and Science (project DO 02-295/2008) and the Slovak Grant Agency VEGA (grant 2/0035/08) for the financial support.

References

- [1] S. Bhagwat, S. Joshi, S.B. Ogale, G. Marest, A. Benyagoub, N. Mancoffre, F. Thimon, *J. Appl. Phys.* **79** (1996) 4141.
- [2] J. Ding, P.G. McCormic, R. Street, *J. Magn. Magn. Mater.*, **171** (1997) 309.
- [3] A. Bid, A. Banerjee, S. Kumar, S.K. Pradhan, U. De, D. Banerjee, *J. Alloys Compd.* **326** (2001) 292.
- [4] A. Sekulic, K. Furic, M. Stbicar, *J. Molec. Struct.*, **410-411** (1997) 275.
- [5] M. Stubicar, N. Stubicar, A. Sekulic, K. Furic, D. Krumes, K. Coric, in: T. Filetin (Ed.) Proc. 1st Int. Conf. Development, Testing and Application of Materials, Croatian Society for Materials and Tribology, Zagreb, 1996, p. 151.
- [6] M. Hofmann, S.J. Campbell, W.A. Kaczmarek, S. Welzel, *J. Alloys Compd.* **348** (2003) 278.
- [7] H. Kamduri, S. Nasrazadani, *Corrosion Sci.* **50** (2008) 2493.
- [8] B. Pal, M. Sharon, G. Nogami, *Mater. Chem. Phys.* **59** (1999) 254.
- [9] J.A. Navio, G. Colon, M. Macias, C. Real, M.I. Litter, *Appl. Catal. A: General* **177** (1999) 111.
- [10] K. Tkacova, *Mechanical Activation of Minerals*, Elsevier, Amsterdam, 1989.
- [11] P. Baláž, *Mechanochemistry in Nanoscience and Minerals Engineering*, Springer, Berlin Heidelberg, 2008.

Изследване повърхностните свойства на тънки слоеве от *Ti* и *Fe-Cr-Ni* сплав върху полимерни подложки

Полина Милушева¹, Цанко Узунов², Николай Иванов³

1- Университет „Проф. д-р Асен Златаров” Бургас;

2- Технически университет – София;

3- Николай Иванов - Институт по електроника - БАН - София.

Study of surface properties of thin films of *Ti* and *Fe-Cr-Ni* alloy on polymer substrates

Polina Milusheva, Tsanko Uzunov, Nikolay Ivanov

Abstract: A base layer of the polymeric material *Polipom POM* has been coated with *Ti* and *Fe-Cr-Ni* alloy using vacuum deposition. The technological regimes of cleaning the base and the deposition of the metal film have been established. The microhardness of the layers has been measured; the morphology of the coatings has been examined. The results of the tests that have been carried out are graphically represented and conclusions are made.

Keywords: polymers, *Ti*, *Fe-Cr-Ni*, microhardness, cathode sputtering, thin layers.

1. Увод

Правилният избор на материалите и рационалното конструиране на елементите (детайлите) на машиностроителните конструкции са важен етап в цикъла изследване – внедряване, от който зависят постигането на високи технико-икономически показатели и експлоатационната надеждност на детайлите. Пестеливото използване на суровините и материалите с високо качество и голяма надеждност на крайния продукт може да се реализира само чрез прилагането на най-нови технологии и постижения. Едно от решенията на този проблем е използването на полимерни материали, върху които е нанесен тънък слой от даден метал. [1, 2]

Обект на настоящата работа е получаване чрез магнетронно-йонно разпръскване и изследване на повърхностните свойства на *Ti* и *Fe-Cr-Ni* покрития, отложени върху полимерния материал *Polipom POM*.

2. Избор на полимерна подложка и материали за покритие.

За целите на изследването като подложка е избран полимерът *Polipom POM* (полиацетал), производство на фирмата POLIMERSAN

POLIMER - KIMYA SAN. Ve TIC. LTD. STI – Turkey, производител на инженерни пластмаси. В табл.1 са посочени някои от характеристиките на материала [3, 4]

Таблица 1 Характеристики на Polipom POM

№	Показател	Метод	Мерна единица	Стойност
1	Плътност	DIN 53 479	g/cm ³	1,41
2	Водопоглъщаемост (във въздух при 23 ⁰ C и 50% влажност)	DIN 53 495	%	0,2
Механични свойства				
3	Якост на опън	DIN 53 455	MPa	65
4	Ударна якост по Charpy	DIN 53 453	kJ/m ²	Нечуплив
5	Твърдост по Rockwell	2039-2		M84
Термични свойства				
6	Работен температурен интервал		°C	От -30 до +100
7	Кратковременна работна температура		°C	+ 140
8	Възпламеняемост	UL 94		HB
9	Коефициент на топлопроводност	DIN 52 612	W/(K.m)	0,31
10	Коефициент на линейно разширение	DIN 53 752	10 ⁻⁵ .K ⁻¹	10
Електрични свойства				
11	Диелектрична якост	DIN 53 481	KV/mm	70
12	Специфично обемно съпротивление	DIN 53 482	□.cm	>10 ¹⁴
13	Повърхностно съпротивление	DIN 53 482	□	>10 ¹³

За материали за металните покрития са избрани *Стомана X18H9T* и *Титан*, чиито механични свойства са показани в табл. 2. [2, 5, 6]

Таблица 2 Механични свойства на материалите X18H9T и Ti

Марка материал	Якост на опън	Граница на провлачване	Относително удължение	Твърдост HRC
	MPa	MPa	%	
Стомана X18H9T	490	206	40	55
Титан Ti	434	183	45	51

3. Получаване на покритията от *Ti* и *Cr-Ni* сплав марка *X18H9T*.

3.1. Подготовка на подложките

За да се получи покритие с определени експлоатационни характеристики, подложките са почистени предварително в следната последователност:

- механично почистване;

- химично почистване;
- почистване в тлеещ разряд преди нанасяне на покритието – извършва се във вакуумната камера, където ще бъде нанесено металното покритие, непосредствено преди неговото получаване. [7, 8, 9]

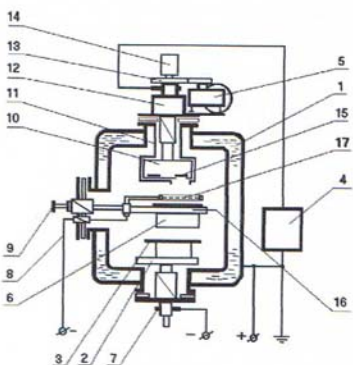
Данните на процеса „катодно почистване” са обобщени в *таблица 3*.

Таблица 3 Параметри на катодното почистване на подложка от Polipom POM

№	Параметър	Означение	Стойност
1	Стойност на работното налягане	$p_{кв}, Pa$	6
2	Напрежение на разряда	$U_{кв}, V$	1200
3	Ток на разряда	$I_{кв}, A$	0.15
4	Време на почистване	$t_{кв}, min$	6

3.2. Работна инсталация

Отлагането на *Ti* и *Fe-Cr-Ni* покрития върху полимерния материал *Polipom POM*, се извършва в камерата на вакуумна инсталация ТИТАН 22, в лаборатория „Физични технологии” - ИЕ на БАН – гр. Сливен.



Фиг. 1 Принципна схема и общ вид на вакуумната инсталация ТИТАН 22

1 – камера водоохлаждаема; 2 – въртяща маса; 3 – маса надстроечна; 4 – захранващ токоизточник; 5 – двигател-редукторна група; 6 – подгреваема маса; 7 – токовод; 8 – куплунг за подаване на потенциал; 9 – ел. захранване на масата; 10 – въртящ магнетрон; 11 – кожух; 12 – опорен възел; 13 – зъбна предавка; 14 – воден разпределител на охлаждането; 15 – мишени; 16 – термoeлемент; 17 – ускоряваща решетка-катод.

Металните слоеве са нанасяни по метода „постояннотоково магнетронно разпрашване” в среда от инертен газ аргон Ar с чистота 99,999 % при наличните възможности на използваната инсталация. Принципното устройство на вакуумната инсталация е показано схематично на *фиг. 1*.

3.3. Режим на получаване и отлагане на покритията

Режимите, при които са получени металните покрития са посочени в табл. 4 за *Стомана X18H9T* и в табл. 5 за *Ti*.

Таблица 4 Параметри на процеса на нанасяне на слоя от *X18H9T*

№	Параметър	Означение	Стойност
1	Работно налягане	p, Pa	0.07
2	Напрежение на разряда	U_p, V	500
3	Ток на разряда	I_p, A	0.8
4	Разстояние мишена - подложка	H, mm	160
5	Време за нанасяне	t_p, min	40

Таблица 5 Параметри на процеса на нанасяне на слоя от *Ti*

№	Параметър	Означение	Стойност
1	Работно налягане	p, Pa	0.09
2	Напрежение на разряда	U_p, V	450
3	Ток на разряда	I_p, A	0.8
4	Разстояние мишена- подложка	H, mm	160
5	Време за нанасяне	t_p, min	40

Дебелината на получаваните покрития – 0,6 μm .

4. Основни експлоатационни характеристики. Методи за определяне и експериментални резултати.

4.1. Изследване твърдостта на системата покритие и подложка.

Твърдостта на тънките слоеве се определя чрез измерване на микро-твърдост, с помощта на нанотестери със или без компютърно управление.

В настоящата работа микро-твърдостта е измерена по метода на Викерс. За целта е използван нанотестер с компютърно управление FISHERSCOPE® H100 (Германия).

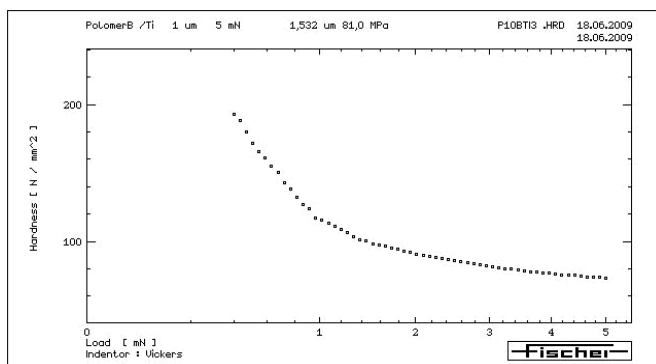
Поради това, че подложката е полимерна е избрана натоварващата сила при измерването $F = 5 mN$. За всеки образец са направени по 6 измервания в различни точки от повърхността. Измерена е твърдостта на образца от страната на покритието и от обратната страна, т.е. от страната без покритие. Взети са средните стойности от извършените шест измервания на всеки образец. Освен твърдостта HV, MPa , при измерването се отчитат стойностите на модула на еластичност E^*, GPa и енергията на пластична деформация $W_p, \%$.

Получените резултати са представени в табл. 8.

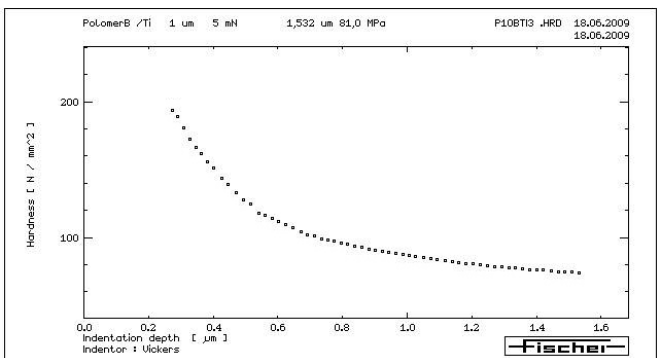
Таблица 8. Стойности, получени при измерване на микротвърдостта на покритието

Обект на измерване	Твърдост HV, MPa	Дълбочина на проникване на индентора h, μm	Модул на еластичност E*, GPa	Пълна енергия W_{total} , GPa	Енергия на пластична деформация W_p , %	Наговарваща сила F, mN
Страна без покритие	38	6,8	1,19	5,66	82,04	5
Страна с покритие Ti	59,3	1,4	1,92	2,94	64,75	5
Страна с Покритие X18H9T	44,35	1,55	1,60	2,83	61,19	5

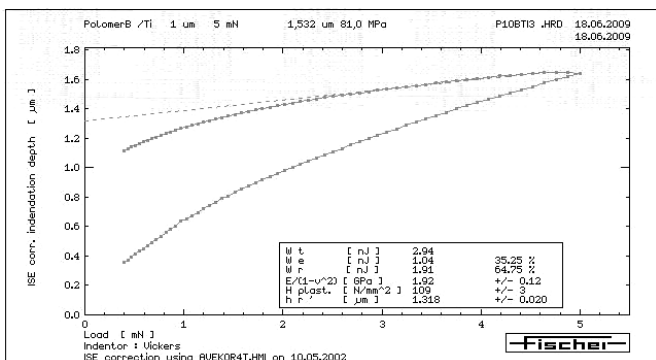
Резултатите от измерването на микротвърдостта за покритие от Ti, нанесено върху подложка от Poliprom POM са показани на фиг. 4, 5 и 6.



Фиг. 4 Зависимост на микротвърдостта HV от натоварването за покритие от Ti

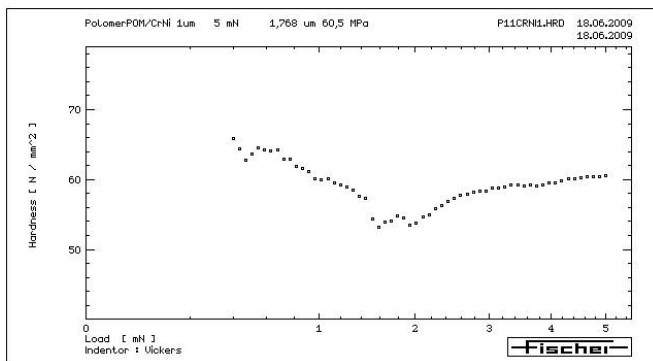


Фиг. 5 Зависимост на микротвърдостта HV от дълбочината на проникване на индентора за покритие от Ti

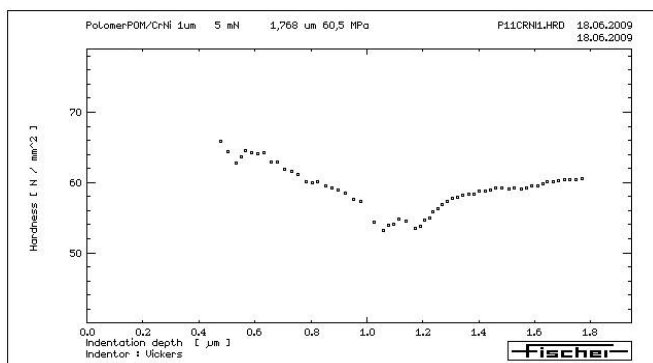


Фиг. 6 Пълна енергия и енергия на пластична деформация за покритие от Ti

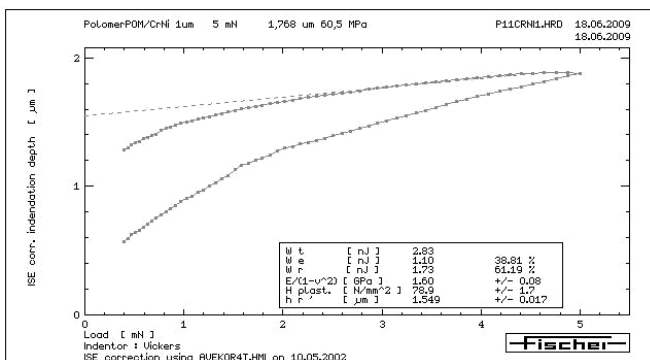
На фиг. 7, 8 и 9 са показани резултатите от измерването на микротвърдостта за покритие от X18H9T, нанесено върху подложка от Poliprom POM.



Фиг. 7 Зависимост на микротвърдостта HV от натоварването за покритие от X18H9T

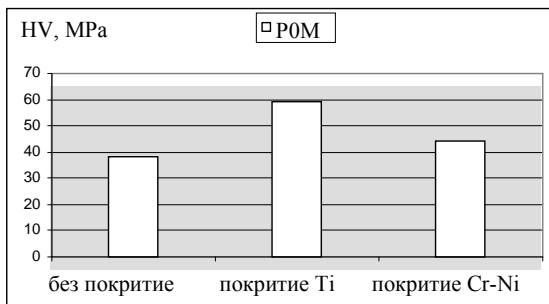


Фиг. 8 Зависимост на микротвърдостта HV от дълбочината на проникване на индентора за покритие от X18H9T



Фиг. 9 Пълна енергия и енергия на пластична деформация за покритие от X18H9T

Резултатите от получените стойности за микротвърдостта на покрития от Ti и X18H9T върху Polipom POM, сравнени с микротвърдостта на полимерния материал, са показани на фиг. 10.



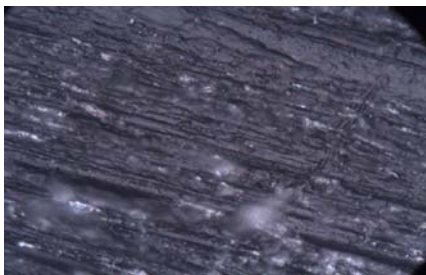
Фиг. 10 Стойности на микротвърдостта HV, MPa

4.2. Изследване морфологията на направените покрития.

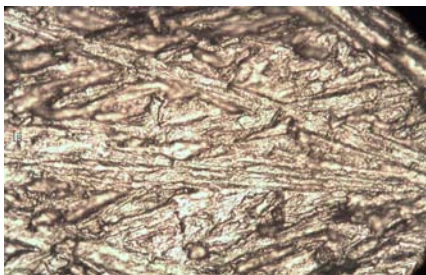
С помощта на металографски микроскоп NICON ОПТИНОТ HFX-DX и дигитален цифров фотоапарат NICON CNIO при увеличение x400, е заснета морфологията на металните покрития от хром-никелова сплав X18H9T и Ti, нанесени върху двустранно полираните образци от полимера Polipom POM.

За сравнение на фиг. 11 е представена заснетата морфологията на полираната страна на полимера без покритие. На фиг. 12 е представена заснетата морфологията на покритие от X18H9T.

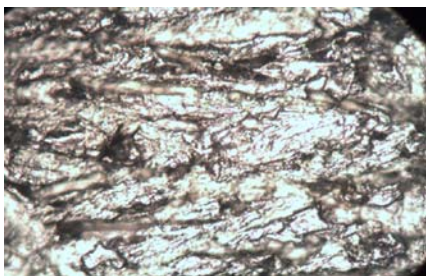
На фиг. 13 е представена заснетата морфологията на покритие от Ti.



Фиг. 11 Морфология на Poliprot POM - страна без покритие



Фиг. 12 Морфология на XI8H9T покритие, нанесено върху Poliprot POM



Фиг. 13 Морфология на покритие от Ti, нанесено върху Poliprot POM

5. Дискусия на резултатите и изводи.

От измерванията на микротвърдост могат да се направят следните изводи:

- При изследване на микротвърдостта на полимери възникват определени затруднения, тъй като за да е точно и коректно измерването, трябва индентора на микротвърдомера да попада в централната зона на зърната, а не в междузърнените пространства;
- И при двата вида покрития се получават стойности на микротвърдостта, по-големи от твърдостта на полимера;

Изследваната морфология показва:

- За да се гарантира по-добра равномерност при нанасянето на слоя е необходимо допълнително ротационно движение на образеца, който да позволи по-добро фронтално излагане на границите на зърната на падащия и кондензиращ метален паров поток;
- Покритието на подложка от полиацетал *фиг. 12* и *фиг. 13* е с характерна влакнесто-зърнеста структура при наличие както на много едри така и на голямо количество дребни зърна;
- Покритието от *Cr-Ni* сплав *фиг. 12* равномерно е покрило зърната, но в зоните на преходите между зърната покритието изтънява, а в някои по-дълбоки кратери, почти липсва;
- Покритието от титан върху полиацетал *фиг. 13* има зърнеста структура; Покритието е предимно равномерно.

Литература и интернет:

1. http://agl.groupbg.com/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=27&lang=bg
2. Костов Константин и др., Избор на материали и якостно оразмеряване в машиностроенето, Техника, София, 1988.
3. Инженерни пластмаси с индустриално приложение, Фирмен каталог на „Явор Г”ООД – Пловдив
4. <http://polimersan.support.com.tr/anamenuler.asp>
5. http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5%D1%80%D1%8A%D0%B6%D0%B4%D0%B0%D0%B5%D0%BC%D0%B0_%D1%81%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%BD%D0%B0
6. [http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD_\(%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82\)](http://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B8%D1%82%D0%B0%D0%BD_(%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82))
7. Липин Ю.В., А.В. Рогачев, В.В. Харитонов, Вакуумная металлизация полимерных материалов, Химия, Л., 1987.
8. Липин Ю.В., С.Л. Меерсон, Л.С. Мякишева и др., Металлизация полимерных пленок в вакууме, Обзор, Рига, ЛатНИИТИ, 1974.
9. Липин Ю.В., С.Л. Меерсон, Л.С. Мякишева и др., Подготовка поверхности полимерных пленок перед вакуумной металлизацией, Обзор, Рига, ЛатНИИТИ, 1980.

За контакти:

инж. Полина Илиева Милушева – Мандаджиева

Университет „Проф. д-р Асен Златаров”; гр.Бургас 8010 бул. ”Проф.Я.Якимов”1;
тел. 056/858-265; e-mail: pmilusheva@abv.bg

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ФРИКЦИОННИЯ КОЕФИЦИЕНТ ЗА ПНЕВМАТИЧНО-ВАКУУМНИ МЕХАНИЗМИ НА УДАРНИ ЕЛЕКТРОИНСТРУМЕНТИ

доц. д-р Г. Тодоров - Технически университет – София, София 1797, бул. „Климент Охридски” No8, тел. +359 2 965 2574, e-mail: gdt@tu-sofia.bg
маг. инж. К. Камберов - Технически университет – София, София 1797, бул. „Климент Охридски” No8, тел. +359 2 965 2574, e-mail: kamberov@3clab.com

маг. инж. В. Пейков - Спарки Елтос АД, Ловеч 5500, ул. „Кубрат” No9, тел. +359 68 686 364, e-mail: velichko.peykov.se@sparkygroup.com

Analysis of friction coefficient for pneumatic mechanisms in impact power tools

G. Todorov, K. Kamberov, V. Peykov

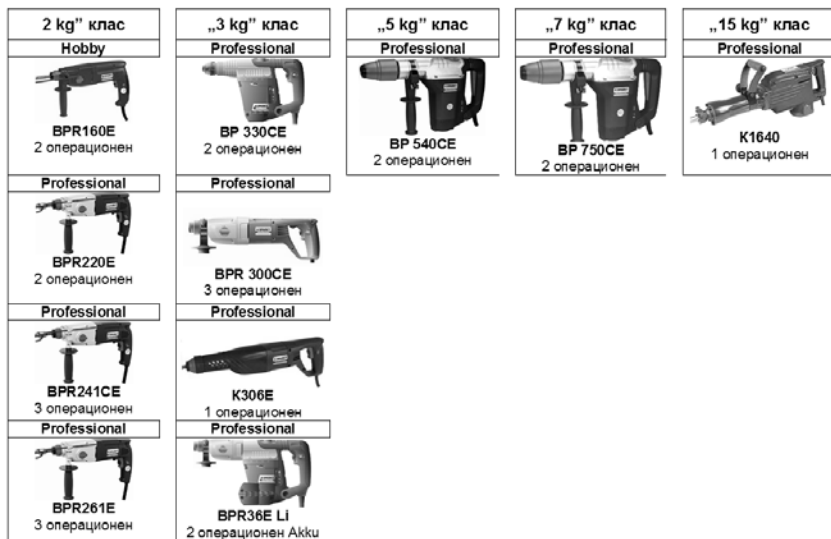
Abstract: This study aims to analyze the impact of friction coefficient in pneumatic impact mechanisms for impact power tools (demolition hammers and rotary hammers) on their performance, modeled using virtual prototype. It is focused especially on different factors influence over friction coefficient between the cylinder and the ram's seal component. Experimental results are obtained by measurements of friction forces at different environment conditions (temperature) and different lubricants (type and quantity). This allows to select optimal lubricant and results in a basis for detailed specification of friction coefficient in different environments. This data is suitable for further virtual prototyping of pneumatic impact mechanism designs.

Key words: percussive mechanism, friction, power tools, demolition hammer, rotary hammer

УВОД

Ударните (къртачи) и ударно-пробивните (перфоратори) електроинструменти са широко разпространени в строителството и при ремонтни дейности. Предлаганите ударни електроинструменти са в широка гама с разнообразни параметри и предназначение. Включват машини от 2 до 15кг и по-големи (фиг.1) с енергия генерирана от ударните механизми на машините от 1.5 до 40J.

В повече от 95% от тях генерирането на удара става посредством пневматично-вакуумни ударни механизми, които се явяват основен компонент на този тип машини. За постигане на широкия обхват енергия на удара е необходимо да се реализират голям набор от ударни механизми с диаметри на пневматичните камери от 16mm до 35mm.



Фиг.1 – Гама ударни и ударно-пробивни машини с пневматично-вакуумни ударни механизми

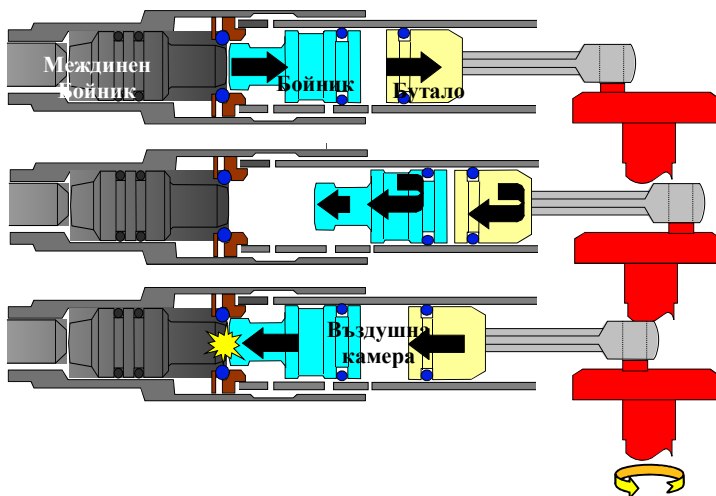
Задвижването на ударните електроинструменти се осъществява от електродвигател, който посредством зъбни предавки и механизъм за преобразуване на въртеливото движение във възвратно-постъпателно задвижва пневматично-вакуумният ударен механизъм. Елементите, чрез които се осъществява генерирането на удара са бутало, бойник, междинен бойник и въздушната камера между буталото и бойника, която може да бъде разглеждана също като нелинейна пружина. Схематично механизъмът е показан на фигура 2 по-долу.

При прехода празен ход – работен режим буталото при движението си назад създава вакуум във въздушната камера, вследствие на който бойника преодолява силите на триене с цилиндъра и се ускорява назад. След преминаване на задна мъртва точка на буталото, бойника продължава да се движи назад с нарастващо ускорение до смяна на посоката на движение, при което се достига максимална компресия. При достигане на максимална скорост напред бойника отдава енергията си на междинния бойник. При

съприкосновение на двата бойника се получава отскок, който спомага за нормалното функциониране на механизма в установен режим.

Основните параметри на ударните механизми дефинирани в предходни проучвания [1], [2] са:

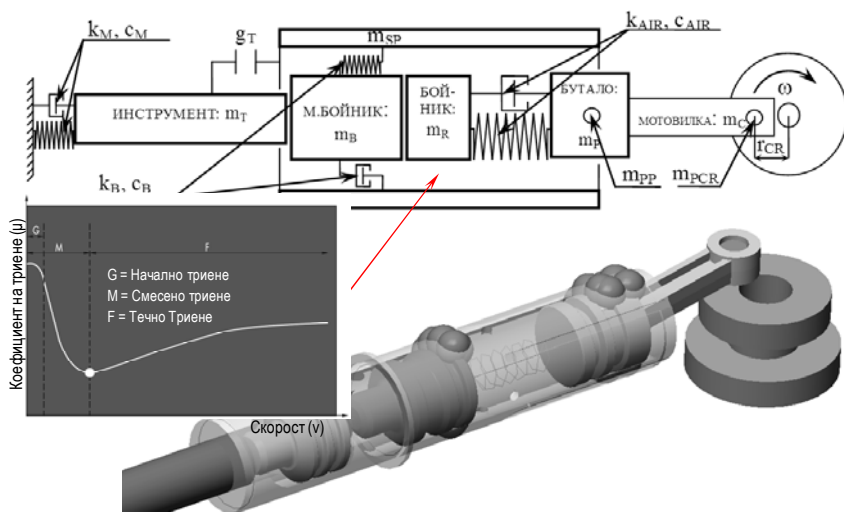
- Геометрия на бойника и междинния бойник
- Въздушна междина
- Компенсиращ отвор: диаметър и позиция
- Сила на триене на бойника във вретеното
- Отскок на бойника
- Енергия на удара, маса на бойника, скорост на удара
- Отдадена мощност на бойника
- Вибрации породени от ударния механизъм



Фиг.2 – Принцип на действие на ударния механизъм

ИЗЧИСЛИТЕЛЕН МОДЕЛ НА ПНЕВМАТИЧНО-ВАКУУМНИЯТ МЕХАНИЗЪМ. ОТЧИТАНЕ НА ТРИЕНЕТО

Проектирането на този тип механизми – основа за постигане работните параметри на машината – се осъществява на основата изчислителни модели, които се верифицират с практически опити с опитни образци. Тези модели целят да се моделира динамичното поведение на механизма, като се отчетат всички характерни параметри, като маси на компонентите, еластичност и триене във връзките, характеристика на задвижването, еластичност на ударите, характеристика на заменящата нелинейна пружина и др. Принципна схема на този модел е показана на фигура 3 по-долу.



Фиг.3 – Изчислителен модел на ударния механизъм

Показаният модел съдържа компоненти с нелинейни характеристики и динамично поведение. Допълнително, както беше упоменато по-горе, работата на механизма включва и някои преходни процеси, чието моделиране чрез изчислителните модели е затруднено. Друг аспект при съставянето на изчислителния модел са различните условия на околната среда, което допълнително усложнява задачата. Поведението на ударния механизъм при отрицателни температури (до загряване на машината) значително се отличава от това при нормална температура. Това се дължи на повишения коефициент на триене при покой, върху който влияят много на брой фактори. Силата на триене на бойника във вретеното е особено важен параметър, който оказва влияние на работата на механизма. За устойчива работа на механизма и постигане на максимална енергия на удара [2] е необходимо силата на триене да бъде относително постоянна във времето независимо от натоварването, износването и температурата. Също така, тъй като бойника затваря въздушната междина, играеща ролята на нелинейна пружина, е важно нейното уплътнение.

За да се оптимизира преходния режим на ударните механизми при ниски температури, е необходимо да се изясни трибологичния модел на механизма.

Факторите влияещи на фрикционния коефициент на двойката бойник / вретено от ударния механизъм следва да бъдат дефинирани, да се определят най-важните от тях, които да бъдат детайлно разгледани и изследвани.

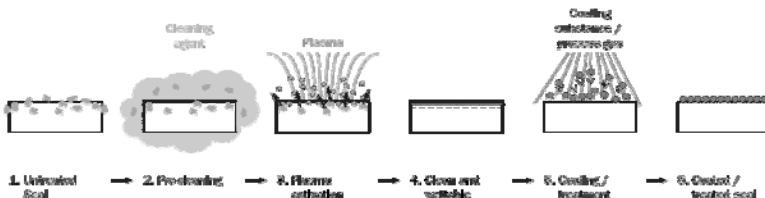
Като най-важни фактори са определени:

- смазката;

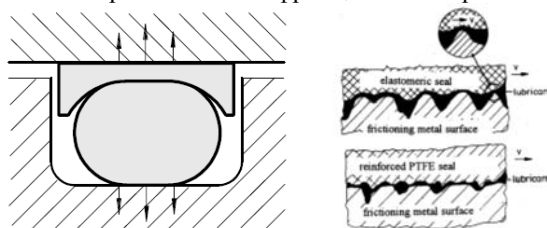
- материала (покритието) на уплътнителния пръстен на бойника;
- състоянието на повърхнината на вретеното и бойника.

Влиянието им върху поведението на прехода празен ход – работен режим при ниски температури на експлоатация е най-голямо. Оптимизирането им относително запазвайки себестойността на електроинструментите води до значителни промени в поведението на ударните механизми.

- *Качества на смазката* – относително постоянен вискозитет независимо от температурата. Да създава устойчив маслен филм между уплътнението и вретеното.
- *материал (покритието) на уплътнителния пръстен:*
 - О-пръстени от NBR (Nitrile butadiene rubber) каучук – ниска износоустойчивост и температуроустойчивост;
 - О-пръстени от FKM (Fluorocarbon) каучук;
 - О-пръстени с антифрикционно покритие – използват се за подобряване динамичните фрикционните свойства (фиг. 4а);



А/ О-пръстени с антифрикционно покритие



Б/ Уплътнение от О-пръстен и PTFE пръстен

Фиг.4 – Материали и покритие на уплътнителни пръстени

- О-пръстени с импрегнация от графит, молибденов дисулфид, PTFE и др.;
- Използване на NBR О-пръстени в комбинация с пръстен от PTFE (polytetrafluoroethylene) -фигура 4б;
- *радиален натяг на уплътнителния пръстен* – за пневматични динамично натоварени уплътнения (2-6% от напречното сечение);
- *твърдост на уплътнителния пръстен* – 70-90 Шор А в зависимост от налягането, качеството на повърхнината на вретеното и канала за пръстена.

- *начин на обмазване на контактните повърхнини* – при наличие на необмазани зони се получава сухо триене което води до значително повишаване на силата на триене и дебалансиране работата на механизма. Обмазването трябва да става равномерно по всички повърхнини.
- *състояние на контактните повърхнини на вретеното* – финалната обработка да бъде с пластична деформация (roller burishing); $R_{\max} \leq 4\mu\text{m}$; $R_p / R_z < 0.5$; $T_p (25\% R_{\max}) = 50 \dots 70\%$



Фиг.5 – Състояние на контактните повърхнини

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ОПРЕДЕЛЯНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА СМАЗВАЩИЯТ МАТЕРИАЛ СПОРЕД РАБОТНИТЕ УСЛОВИЯ

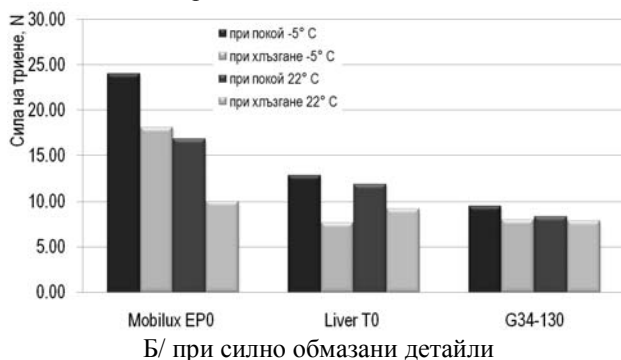
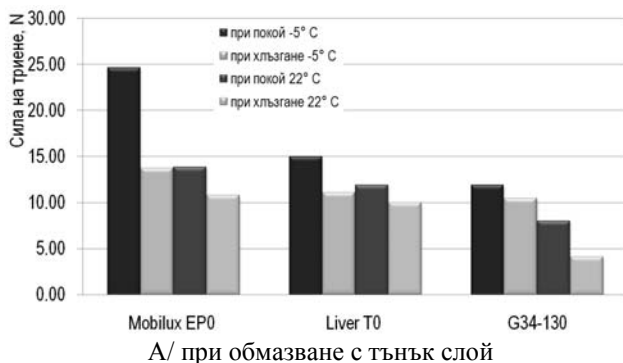
Голяма част от разгледаните по-горе параметри на съединението бойник / вретено са изследвани и съществуват множество източници на информация. Конкретният случай обаче има някои специфики, които не намират точно обяснение в наличната литература. По-специално това се отнася до параметрите на смазката при различни екстремни условия на експлоатация на механизма.

Реализирано е изследване на пневматично-вакуумен ударен механизъм на къртач К306Е, като целта е да се определи именно поведението му при различни видове смазка, при различни работни температури.

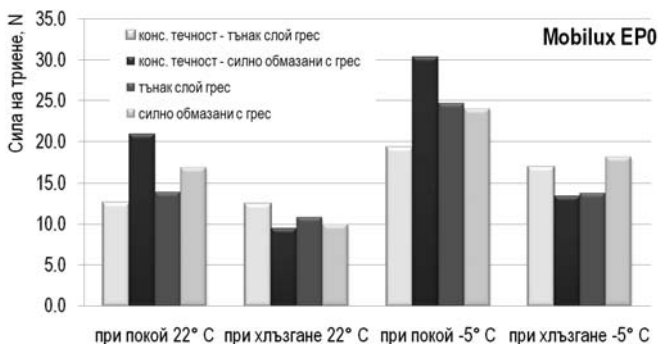
Проведено е измерване на силата на триене на бойника (с монтиран на него уплътнителен О-пръстен) във вретеното при вариране на следните параметри:

- използвана грес: Mobilux EP0 (Mobil), Ливер T0 (Верила) и G34-130 (Kluber);
- Степен на обмазване на детайлите с грес;
- Температура на възела: -5°C и $22-25^{\circ}\text{C}$
- Наличие на предварително нанесена консервационна течност по вретеното и бойника.

Резултатите от проведените изследвания са обобщени и графично показани на фигура 6 по-долу. Детайлно е изследвана стандартно ползваната в производството грес на Mobil – Mobilux EP0 (фигура 7).



Фиг.6 - Влияние на използваната грес



Фиг.7 - Влияние степента на обмазване и наличие на предварително нанесена консервационна течност при използване на грес Mobilux EP0 (Mobil)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализирани са факторите влияещи върху трикционния коефициент, като е и проведено експериментално определяне параметрите на смазващия материал при различни експлоатационни условия.

Резултатите от проведените експерименти бяха приложени в образци за практическа оценка. Приетите мерки за намаляване на коефициента на триене доведоха до значително подобряване работата на ударния механизъм при отрицателни температури. Прекият резултат е избор на подходящ смазочен материал, а именно греста на Kluber G34-130.

След обработка получените данни от експерименталните изследвания ще бъдат отразени в изчислителния модел с цел симулиране на преходните процеси и оптимизиране работата на ударните механизми при различни условия.

Това изследване е осъществено във връзка и с помощта на проект Д002 – 11/05 на Фонд «Научни Изследвания» на МОН.

ЛИТЕРАТУРА

1. доц. д-р Г. Тодоров, инж. В. Пейков, Анализ на ударни механизми за ръчни ударни и ударно-пробивни електроинструменти., Созопол: 25 Юбилейна научна конференция МТФ, 2007
2. Ряшенцев, Н. П., П. М. Алабужев, Н. И. Никишин, Е. М. Тимошенко, Н. М. Батуев, Ручные электрические машины ударного действия, Недра, Москва, 1970
3. доц. д-р Г. Тодоров, инж. К. Камберов, инж. 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. Sándor BISZTRAY-BALKU, Tribology of elastomeric and composite reciprocating hydraulic seals, Periodica polytechnica ser. mech. eng. vol. 43, No. 1, pp. 63–80 (1999)
5. Al-Ghathian, 1Faisal M. M. and 2Tarawneh, Muafag S., Friction Forces in O-ring Sealing, American Journal of Applied Sciences 2 (3): 626-632, 2005 ISSN 1546-9239
6. Roger Muncaster, A-Level Physics, 4th ed. [Stanley Thornes (Publishers) Ltd, 1995] 34.
7. E. Soos, T. Goda, “Numerical Analysis of Sliding Friction Behavior of Rubber.” Materials Science Forum Vols. 537–537 (2007) pp615-622. 9 Dec. 2008
8. A.K. van der Vegt, From Polymers to Plastics (DUP Blue Print, 2002) 141.
9. Dae Kyun Baek, M.M. Khonsari, Friction and Wear of Rubber Coating in Fretting (Elsevier B.V., 2004)
10. Lindner et al, Experimental and Analytical Investigation of Rubber Friction

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ НА ФРИКЦИОНЕН ПРЕДАВАТЕЛЕН МЕХАНИЗЪМ С МИНИМИЗИРАНО ПЛЪЗГАНЕ

Костадин Стоичков, Николай Николов

ANLYSIS AND SYNTHESIS FRICTION DRIVE WITH MINIMIZATION OF SLIDING

Kostadin Stoichkov, Nikolai Nikolov

Abstract: *In this work is make synthesis and analysis of friction drive with minimization sliding. Definitions are circumstances for minimization sliding between frictions surfaces, received are equations the contours of working surfaces as for as to be contented circumstances for minimization sliding. Variable changing ratio realize by means rolling at not through sliding working surfaces.*

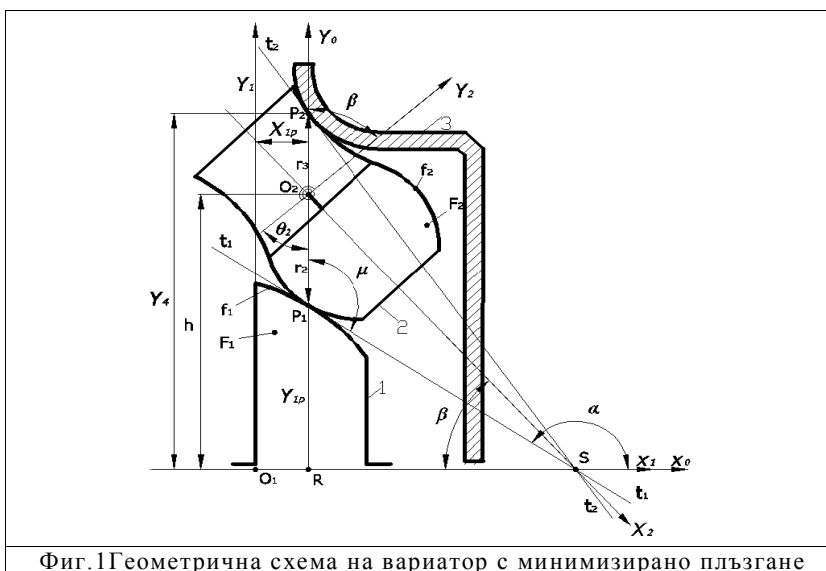
Key words: *C.V.T, frictions surfaces, minimization sliding, working surfaces*

1. Въведение

Досега съществуващите схеми на фрикционни механизми се определяха като механизми пренасящи малки въртящи моменти поради ниския коефициент на триене (μ) на използваните за фрикционни двойки материали (за стомана-стомана $\mu = 0,1 \div 0,12$). С развитието на технологиите в областта на машиностроителните материали вече могат да бъдат осигурени материали с $\mu = 0,5 \div 0,6$ и повече, които притежават и необходимите якостни свойства. Като един недостатък на фрикционните предавки може да се посочи геометричното плъзгане [3], отрицателният ефект, от което се увеличава с увеличаване коефициента на триене. Друг съществен недостатък се явява това, че при необходимост от относително преместване на звената по време на работа това се осъществява чрез плъзгането на една работна повърхнина върху друга, за което е необходима сила по-голяма от тази, която предава движението. С цел избягване на тези недостатъци е синтезиран фрикционен вариатор с минимизирано плъзгане.

2. Устройство и принцип на действие на фрикционен предавателен механизъм с минимизирано плъзгане.

Фрикционният механизъм с минимизирано плъзгане (фиг.1) се състои от звената 1, 2 и 3 наречени условно входящо, междинно и изходящо. Движението се предава посредством силите на триене от зв.1 към зв.2. в точката на контакт P_1 и от зв.2 към зв.3 в P_2 . Звената 1 и 2 имат възможност за линейно преместване по направление на оста x_0 , а звеното 2 за завъртане около точката O_2 . Изменението на относителното положение на звената се постига чрез завъртане на 2 около т. O_2 и преместване на 1 и 3 по направление на оста O_1x_1 .



Фиг.1 Геометрична схема на вариатор с минимизирано плъзгане

Работните повърхнини (F_1, F_2, F_2', F_3) са получени чрез въртене на контурите (f_1, f_2, f_2', f_3) около съответните им ротационни оси.

1. За нулиране (на практика минимизация) на геометричното плъзгане е необходимо тангентите t_1 и t_2 в точките на контакта P_1 и P_2 да се пресичат в пресечната точка (S) на осите на ротация x_1 и x_2 .

2. Взаимното преместване при изменение на предавателното отношение да се извършва чрез обтъркаване, а не чрез плъзгане на работните повърхнини.

3. Синтез на работните повърхнини.

От условието за минимално геометрично плъзгане следва съществуването на триъгълниците ΔRSP_1 и ΔRSO_2 . Изразявайки дължината RS от двата триъгълника и приравнявайки двете уравнения се стига до израза

$$(3.1.) \quad \frac{RP_1}{\operatorname{tg}(\pi - \alpha)} = \frac{RO_2}{\operatorname{tg}\beta},$$

и, имайки предвид, че $RP_1 = y_1$, $RO_2 = h$, $\beta = -\theta_2$, $\alpha = \frac{3}{2}\pi - \mu$, след елементарни преобразувания се стига до

$$(3.2.) \quad h = y_1 \operatorname{tg}\theta_2 \operatorname{tg}\mu.$$

Ъгълът μ е ъгъл между радиус векторът r_2 и допирателната $t_{1,2}$ следователно в сила е

$$(3.3.) \quad \operatorname{tg}\mu_2 = \frac{r_2}{dr_2/d\theta_2}.$$

Също така второто от наложените условия се реализира когато f_1 и f_2 са контури от центроидна предавка от, чиито свойства следва

$$(3.4.) \quad y_1 = h - r_2$$

и след заместване на (3.3) и (3.4) в (3.2) се получава

$$(3.5.) \quad h - r_2(\theta_2) [h - r_2(\theta_2)] \operatorname{tg}\theta_2 \cdot \frac{dr_2}{d\theta_2} = 0,$$

което е диференциално уравнение с решение от вида $r_2 = r_2(\theta_2)$.

Решението на (3.5) при начално условие $r_2(0) = R_2$ е

$$(3.6.) \quad r_2 = \frac{h}{\left(\frac{h}{R_2} - 1\right) \cos\theta_2 + 1}$$

Изразът (3.6) е уравнение на образуващата на ротационната повърхнина F_2 . При така дефинирана образуваща се гарантира, че тангентата t_{12} винаги минава през точката на пресичане на ротационните оси x_1 и x_2 .

Условието за обтъркаване на контурите f_1 и f_2 се изпълнява като за намереният контур f_2 с уравнение $r_2 = r_2(\theta_2, h, R_2)$ се намери съответната спрегната центроида.

От теорията на центроидите е известно, че при зададен контур(f_2)- $r_2 = r_2(\theta_2)$ и междуосево разстояние h на центроидна предавка, която в случая преобразува ротацията на зв.2 в трансляция на зв.1, уравненията дефиниращи f_1 са:

$$(3.7) \quad x_1 = \int_0^{\theta_2} r_2(\theta_2) d\theta_2$$

$$(3.8) \quad y_1 = h - r_2(\theta_2).$$

Имайки предвид (3.6), (3.7), (3.8) може да се запише

$$(3.9) \quad x_1 = \int_0^{\theta_2} \frac{h}{\left(\frac{h}{R_2} - 1\right) \cos \theta_2 + 1} d\theta_2 = 2hR_2 \frac{\arctg h \frac{(2R_2 - h) \tan \frac{\theta_2}{2}}{\sqrt{h(2R_2 - h)}}}{\sqrt{h(2R_2 - h)}}$$

$$(3.10) \quad y_1 = h - \frac{h}{\left(\frac{h}{R_2} - 1\right) \cos \theta_2 + 1} \dots$$

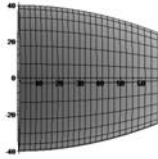
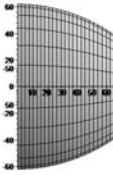
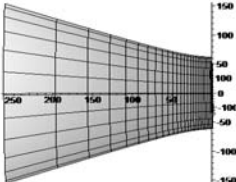

Изразите (3.9) и (3.10) са параметричните уравнения на търсеният контур f_1 . Уравненията задаващи образуващите контури (f_2, f_3) получават по аналогичен начин, разглеждайки триъгълниците ΔRSO_2 , ΔRSP_2 и свойствата на центроидите при вътрешно зацепване. Въпросните уравнения в параметричен вид са:

$$(3.11) \quad r_2' = \frac{h}{\left(\frac{h}{R_2} + 1\right) \cos \theta_2 - 1}$$

$$(3.12) \quad x_3 = 2hR_2 \frac{\arctg h \frac{(h + 2R_2) \operatorname{tg} \frac{\theta_2}{2}}{\sqrt{h(h + 2R_2)}}}{\sqrt{h(h + 2R_2)}};$$

$$(3.13) \quad y_3 = h - \frac{h}{\left(\frac{h}{R_2} + 1\right) \cos \theta_2 - 1}.$$

Повърхнините (F_1, F_2, F_2', F_3) са показани на фигури 2, 3, 4, 5.

	
<p>Фиг.2. Повърхнина F_1</p>	<p>Фиг.3. Повърхнина F_2</p>
	
<p>Фиг.4. Повърхнина F_2'</p>	<p>Фиг.5. Повърхнина F_3</p>

Получените резултати дават възможност за прилагане на съвременни материали с високи коефициенти на триене във фрикционните механизми .

4. Благодарности

Изследванията, отразени в настоящата статия, са частично финансирани по договор №091НИИ059-05/2009 с НИС при ТУ-София и 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 рекупериране на енергия между НИС при ТУ-София и ФОНД “НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ”, МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА на РБ

ЛИТЕРАТУРА

Леонов А., Дубровский А. Механические бесступенчатые передачи. Москва, Машиностроение 1984.,

Пронин Б., Клиноременные и фрикционные передачи и вариаторы. Машгиз , Москва 1980

УПРАВЛЕНИЕ НА КИНЕТИЧЕН АКУМУЛАТОР В РЕЖИМ ЗАРЕЖДАНЕ, ПОСРЕДСТВОМ ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР

Венелин Живков, Костадин Стоичков

CONTROL OF KINETIC ENERGY SYSTEM IN STATE ACCUMULATE ENERGY

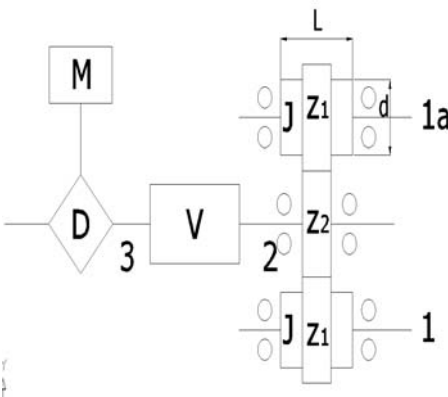
Venelin Jivkov, Kostadin Stoichkov

Abstract: *Made is analysis of the work of kinetic energy system in state accumulate energy. Find is the low for motion in this case. Find the relation for control of the system through friction continuously variable transmittion.*

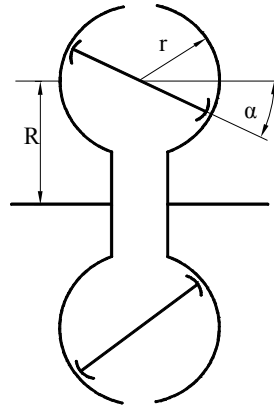
Key words: *kinetic energy system, continuously variable transmittion*

1. Въведение

В работата [4] „докладвана на „Дни на механиката във Варна” септември 2009 г. е направен анализ на машинен агрегат с кинематичен акумулатор на енергия. Разгледан е случай при, който агрегатът е в режим на празен ход и неговата принципна схема е тази дадена на фиг.1. поместена и в горепосочената работа. На схемата са означени както следва 1 и 1а-ротори (маховици) с масов инерционен момент J , z_1, z_2 -зъбни колела, 2-входящ вал на фрикционният вариатор, V-фрикционен вариатор, М-двигател, 3- изходящ вал на фрикционният вариатор, D-диференциален механизъм съгласуващ работата на двигателя и кинетичният акумулатор на енергия. Фрикционният вариатор е от тороиден тип и е изпълнен по схемата от фиг.2.



Фиг.1.Принципна схема на машинен агрегат с кинетичен акумулатор на енергия.



Фиг.2.Схема на тороиден фрикционен вариатор

2. Анализ на движението в режим зареждане на кинетичният акумулатор.

Уравнението, описващо движението на вал 2 в режим зареждане на кинетичният акумулатор има вида:

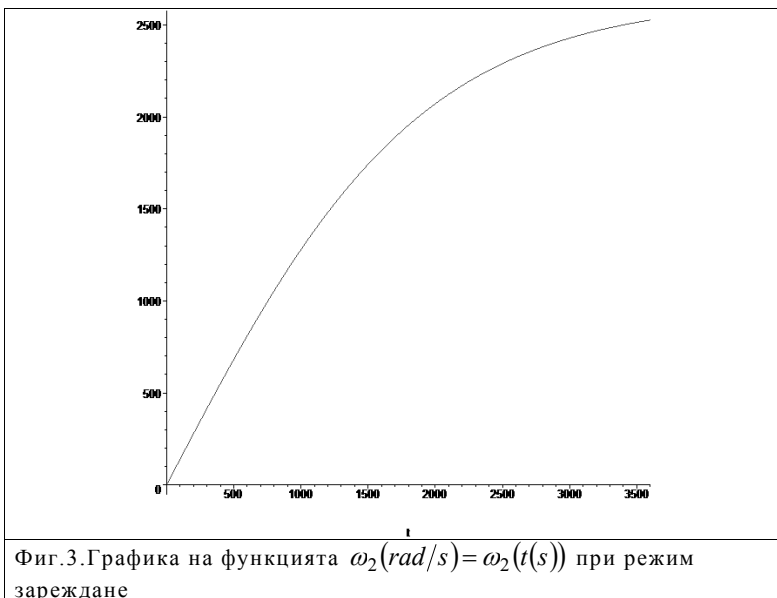
$$(2.1) \quad J_r \frac{d\omega_2}{dt} = M_D - \left(M_{r.l} + 2k\omega_1^2 \frac{z_2}{z_1} \right).$$

При $M_D = const$ и $z_2 = z_1$ решението на (2.1) спрямо ω_2 е:

$$(2.2) \quad \omega_2(t) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\operatorname{tgh} \left(\frac{t \sqrt{(M_D - M_{r.l}) k \sqrt{2}}}{J_r} \right) \sqrt{(M_D - M_{r.l}) k \sqrt{2}}}{k},$$

като при $M_D = const$ от условието за стационарен режим се определя максималната ъглова скорост която може да достигне маховика .

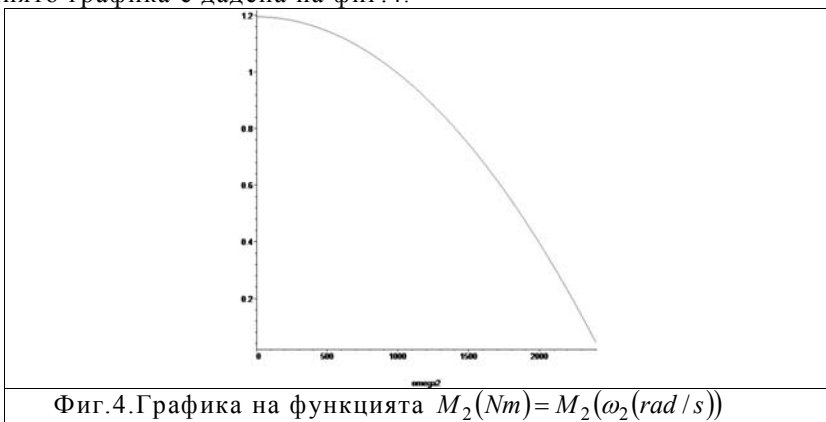
Стойностите на параметрите участващи в (2.1) и (2.2) са както следва: двигателен момент - $M_D = 1,4 [Nm]$, приведен момент на триене в лагерите - $M_{r.l} = 0,205 [Nm]$, коефициент на аеродинамично съпротивление - $k = 1.10^{-7} [Nm/s^2]$, масов инерционен момент на маховика - $J_r = 1 kg.m^2$. При така определените стойности може да бъде получена функцията (фиг.3) $\omega_2 = \omega_2(t)$.



Въртящият момент M_2 на входящият вал на вариатора се определя от изразът

$$(2.1) \quad M_2 = J_r \cdot \varepsilon_2 = J_r \frac{d\omega_2}{dt} .$$

Функцията $\omega_2 = \omega_2(t)$ е позната, така че след съответните замествания се получава явният вид на зависимостта $M_2 = M_2(\omega_2)$, чиято графика е дадена на фиг.4.



3. Управление на вариатора по постоянна скорост на изходящият вал, при зареждане на кинетичния акумулатор.

За подържане постоянна скорост ($\omega_3 const$) на изходящият вал необходимо е предавателната функция на вариатора i_{v32} да удовлетворява равенството

$$(3.1) \quad i_{v32} = \frac{\omega_3 const}{\omega_2}.$$

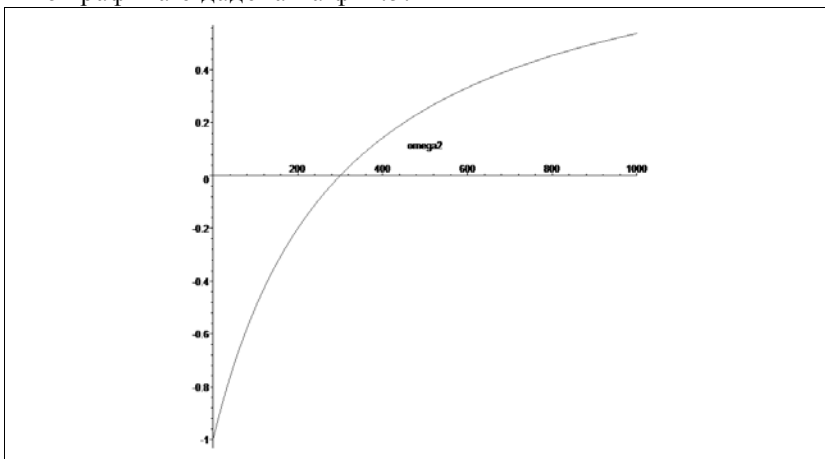
Предавателната функция на тороиден вариатор (фиг. 2) се дава от израза

$$(3.2) \quad i_{v32}(\alpha) = \frac{R_{cp} - r \sin \alpha}{R_{cp} + r \sin \alpha}$$

така, че след приравняване на десните страни на (3.1) и (3.2) и изразяване на α се получава функцията

$$(3.3) \quad \alpha(\omega_2) = \arcsin \frac{R(\omega_2 - \omega_3)}{r(\omega_2 + \omega_3)},$$

чиято графика е дадена на фиг.5.



Фиг.5.Графика на функцията $\alpha(rad) = \alpha(\omega_2(rad/s))$ при управление по постоянна ъглова скорост на изходящият вал на вариатора в режим зареждане. постоянна ъглова скорост на изходящият вал на вариатора в режим зареждане.

4. Управление на вариатора на постоянен момент ($M_3 = const.$) на изходящият вал на вариатора.

Връзката между момента на изхода на вариатора и параметърът α , чиято стойност определя предавателната функция на вариатора има вида

$$(4.1) \quad \frac{R_{cp} - r \sin \alpha}{R_{cp} + r \sin \alpha} = \frac{M_2(\omega_2)}{M_3}$$

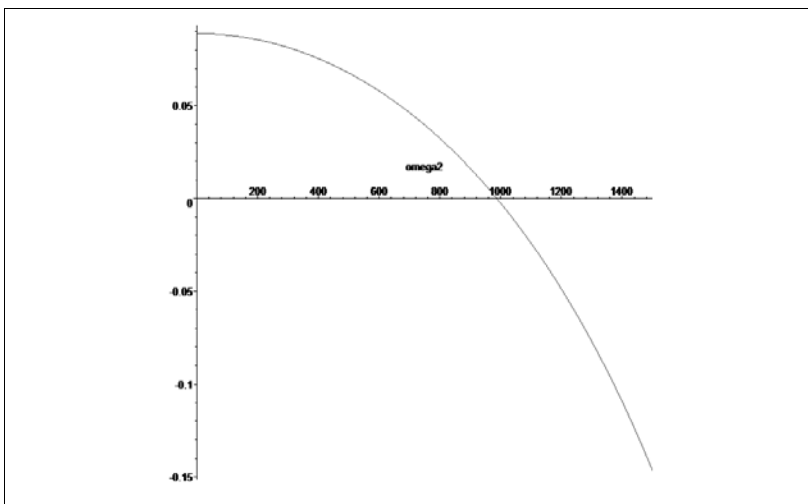
от, където се изразява α и се стига до изразът

$$(4.2) \quad \alpha(M_2) = \arcsin \frac{R(M_2 - M_3)}{r(M_2 + M_3)}.$$

Познатата от т.2 функция $M_2 = M_2(\omega_2)$ се замества в дясната страна на (4.2) и се получава зависимостта

$$(4.3) \quad \alpha(\omega_2) = \arcsin \frac{R \left[(M_{Д} - M_{r.l}) \left(1 - \frac{2k\omega_2^2}{M_{Д} - M_{r.l}} \right) - M_3 \right]}{r \left[(M_{Д} - M_{r.l}) \left(1 - \frac{2k\omega_2^2}{M_{Д} - M_{r.l}} \right) + M_3 \right]},$$

чиито графичен вид е даден на фиг.6.



Фиг.6.Графика на функцията $\alpha(rad) = \alpha(\omega_2(rad/s))$ при управление по постоянен момент на изходящият вал на вариатора в режим зареждане.

5. Изводи и заключения.

За разгледаната във въведението принципна схема (фиг.1) е намерен закона за движение $\omega_2 = \omega_2(t)$ на изходящият вал на кинетичния акумулатор на енергия в процеса на зареждане, както и връзката между ъгловата скорост ω_2 и въртящият момент M_2 . Изведени са зависимостите между изменението на ъгълът α посредством, който се променя предавателното отношение на вариатора, и ω_2 такива, че да се поддържат постоянна скорост или постоянен момент на изхода на вариатора с цел работа на агрегата в оптимален режим.

За реализиране на двата режима на работа при зареждане на кинетичния акумулатор с енергия, управлението на вариатора по така предложената схема е наложително наличието на обратна връзка по скорост.

6. Благодарности

Изследванията, отразени в настоящата статия, са частично финансирани по договор №091НИ059-05/2009 с НИС при ТУ-София и 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 рекуперирани на енергия между НИС при ТУ-София и ФОНД “НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ”, МИНИСТЕРСТВО НА ОБРАЗОВАНИЕТО И НАУКАТА на РБ.

Литература

1. ATZ autotechnology, october 2008, volume 8., Pullen K., Ellis C. "The Vehicle as Kinetic Energy System".
2. Механика на машините, №39, кн.1, 2002., Живков В., ст. "Новата роля на маховика".
3. Кинетическите накопителни енергии. Дж. Джента.
4. Механика на машините, 2009, Живков В, Стоичков К., ст. "Управление на кинетичен акумулатор посредством фрикционен вариатор".

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ИНТЕРВАЛНИЯ ПОДХОД ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ДЕБЕЛИНАТА НА ТРУДНО ОБРАБОТВАЕМО НАВАРЕНО ПОКРИТИЕ

Николай Христов
НИИТ ЕООД - София

Николай Тончев
ВТУ "Т. Каблешков" - София

Application of interval approach for thickness control of hard treated cladded coating

N. Hristov, N. Kamberov

***Abstract.** The announcement aims at delivering the specifics of the interval approach and also to apply the one to determine a technological mode guaranteeing a good quality of the welded surface. The approach is developed via a problem for analysis and a problem for a multicriteria optimization which are applied to using electrode materials – LMN 420 and Fluxofil 58 which include examination of the influence of the welding mode parameters over the volume of the following mechanical processing. After defining the multicriteria problem with determined regressional dependencies about the materials recommended modes are obtained ensuring a good quality of the welded surface.*

1 Въведение

Намаляването на разхода на резервни части, а от там и стойността на ремонта и поддържането на техниката може да се достигне с увеличаване обема на възстановяваните детайли и повишаване качеството им посредством усъвършенствани технологии.

Изследванията се концентрират върху материалите и технологиите за наваряване с цел постигане на технологии, гарантиращи (обезпечавачи) висок експлоатационен ресурс.

Възстановяването чрез електродъгово наваряване осигурява:

- висок експлоатационен ресурс на детайлите за комплекса от свойства, който те трябва да притежават;

- съхранение на определен обем на труд и енергия и материал в детайла, подлежащ на наваряване;

- относително ниска себестойност на процеса и незначителната енергоемкост и материалоемкост на възстановителните процеси в сравнение с процесите на добиване, преработване и обработване на материалите;

- възможност за прилагане на възстановяване на износените детайли в широки мащаби с осигуряване на значителен икономически и екологичен ефект;
- съкращаване на броят на технологичните операции при наваряване в сравнение с изработването на нови детайли около 5 пъти;
- намаляване на капиталните вложения за възстановяване на детайли със средно повече от 4 пъти от тези за производството на нови резервни части;
- намаляват се разходите за енергия – до 10 пъти, а за материали – 20 пъти;
- значително е по-малка стойността на възстановените детайли е от 2 до 20 пъти по-ниска от стойността на ново-изработените детайли.
- придобиване на специфични свойства на повърхността на нови детайли.

В жизнения цикъл на изделието избраната за изследване технология напълно възстановява геометричната форма и механични свойства на детайлите, вследствие на което износените детайли започват цикъла отново от фаза производство.

По горната обосновка за актуалността номинира на челна позиция разглежданият проблем по отношение на споразумението от Копенхаген за намаляване на емисиите с 25-40% до 2020г. и 80% до 2050г. Чрез подобни на предлаганата технология средства ще се постигнат строгите ограничения в парниковите емисии. Тези ограничения за първи път би трябвало да обхванат и развиващите се държави.

Интервалният подход за целите на наваряването е приложен в [1].

В него са определени технологични режими, обезпечаващи минимална последваща механична обработка за два вида електродни материали. Анализът е извършван само по отношение на коефициента на обемна механична обработка K_m , без да се взема под внимание дебелина на наварения слой δ , която е важен технологичен параметър. Двата параметъра K_m и δ за свързани по между си чрез режима на наваряване и стойността на K_m е необходима да бъде известна предварително за окончателната дебелина на покритието.

От изследвания посочени в [2 - 3] са показани значителни стойности на механичните показатели на направените покрития, които са труднообработваеми. Това подсилва актуалността на въвеждането на коефициента K_m и прави подходът с управлението на дебелината необходим.

Целта на изследването е да приложи интервалния подход в областта на наваряването за управление на дебелината на покритието с отчитане обемът на механичната обработка, като определи технологични режими, отговарящи на относително висока производителност и минимален обем на механична обработка.

2. Методика на изследването

Дефиниране на задачата за изследване

Изменението на управляващите параметри е посочено в таблица 1

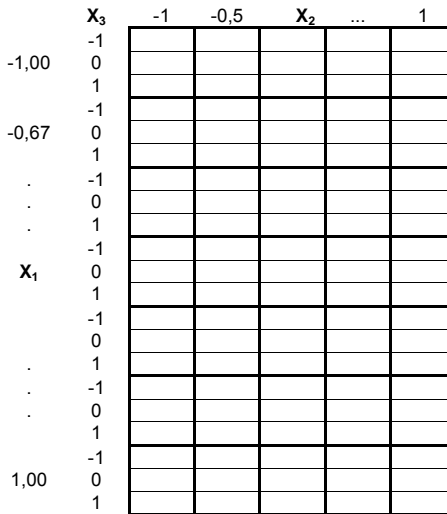
Таблица 1 Управляващи параметри

	Управляващи параметри		
	(X ₁) Ток [A]	(X ₂) Напрежение [V]	(X ₃) Стъпка [mm]
Долна граница (-1)	150	19	2
Основно ниво (0)	180	21	3
Горна граница (+1)	210	23	4
Стъпка на изменение	30	2	1

Изпълнен е определен план на експеримента и се извждат адекватни регресионни модели, определящи изследваните величини.

2.1. Задача за анализ.

2.1.1. Сканира се поотделно всяка от изследваните величини. Сканирането се осъществява в интервала [-1;1] с определена стъпка. Изследва се четиримерно пространство, образувано от трите параметъра на вариране (на изследване) и изменението на изследваната величина. Предлага се следния начин за дискретизация на I, U, s.



Фиг. 1 Схема на дискретизация на три стойности на параметъра X₃.

Определените стойности на изследваната величина образуват съответен масив (YM) при съответната (зададената) дискретизация. Решава се оптимизационната задача за определяне на YM max и YM min.

2.1.2. Трансформират се стойностите на определената изследвана величина в равномерно процентно разпределение. Трансформацията се осъществява чрез уравнението: $Y\% = (YM - YM\ min) / (YM\ max - YM\ min) \cdot 100$

2.1.3. Задачата за анализ се осъществява чрез цветово ранжиране на дискретизираните клетки от дифиниционната област. С инструментът лупи (малка и голяма) може да се обходи цялата изследвана област. Интервалите на отделните цветове на самото ранжиране насочват лицето, взимащо решение (ЛВР) към предпочитаните стойности на изследваната величина. Избраната стойност се определя като равномерно процентно разпределение. За нея могат да се определят реалната стойност на изследваната величина в съответната дименсия и конкретната комбинация на факторите от технологичния режим.

2.2. Задача за многокритериална оптимизация.

Тази задача се трансформира в едноцелева, като се създава се обобщена функция, съдържаща по определена подредба информация за изследваните целеви функции (критерии).

В резултат на приложената изчислителна процедура се определя ефективно недоминирано решение, което е и решение на многокритериалната задача.

Пресмятанията се осъществяват със стойностите от равномерното процентно разпределение.

2.2.2 Чрез интервалния подход се задават рангове в съответната обобщена функция. отново чрез подходящо оцветяване, свързано с определен интервал се подпомага ЛВР да избере съответна стойност, свързана с определените му предпочитания.

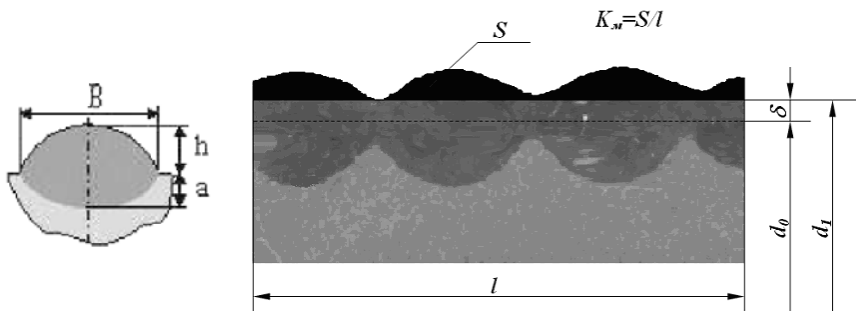
3. Приложение на интервалния подход в областта на наваряването.

Подходът е развит чрез задача за анализ и задача за многокритериална оптимизация, които са приложени при използването на електродните материали – LMN 420 и Fluxofil 58 и е разгледано влиянието на параметрите на режима на наваряване върху дебелината на наварения слой и обема от последваща механична обработка.

Дифинирането на многокритериалната задача включва извеждане на критериите в зависимост от параметрите на режима и определяне компромисът на желаните стойности от тези критерии

Експерименталното изследване се състои в определяне на геометричните параметри на наварения /възстановения/ слой:

- широчина на единичен шев b ;
- височина на единичен шева h ;
- дебелина на наварения слой δ ;
- коефициент на обемна механична обработка K_m



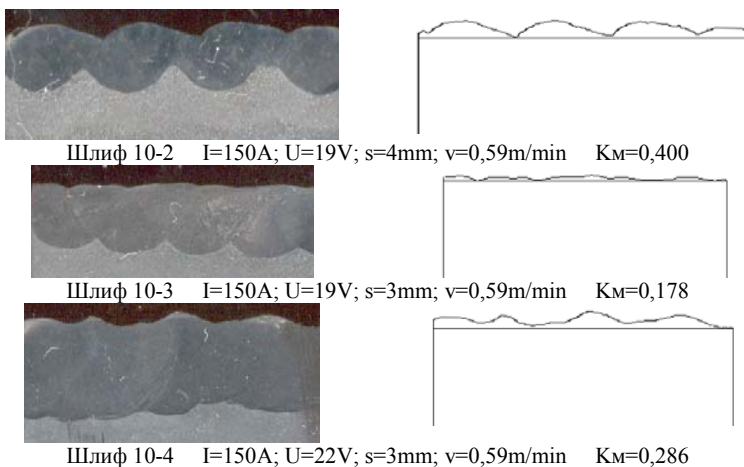
Фиг. 2. Геометрични параметри на единичен шев и на наварена повърхнина.

Изследването се извършва в два етапа:

- провеждане на планиран експеримент на единични шевове с входящи параметри – скорост на наваряване, големина на тока и напрежение на дъгата

- провеждане на планиран експеримент с фиксирана скорост с входящи параметри – големина на тока, напрежение на дъгата и стъпка на препокриване

Управляващите фактори от табл. 1 оказват влияние върху геометричните характеристики на повърхността. Високите механични показатели, получавани чрез използваните тръбни телове значително затрудняват последващата механична обработка на повърхността. На фиг. 4 е показана геометрията на повърхността на наварения слой при различни режими на наваряване.



Фиг. 4

Мислено прекараната равнина под най-ниската падина, успоредна на централното сечение определя обема на механична обработка, който се отчита чрез коефициента на обемна механична обработка K_M . Както се вижда от допълнителната обработка на фигурите (показана в дясно) този обем е значително различен и е възможно да бъде оптимизиран.

Максималният коефициент K_M отговаря на максимален обем на механична обработка, и следователно за предпочитане са технологични режими, намаляващи K_M .

Прилагането на интервалният подход води до определянето на режими осигуряващи относително висока производителност, като съчетават максимални стойности на дебелината на наварения слой и минимален обем на механична обработка

Изследването е проведено за електродните материали като следва:

- плътен тел LNM 420FM (фирма LINKOLN), с химичен състав C-0.45%; Mn-0.4%; Si-3%; Cr-9.5%.

- тръбен тел Fluxofil 58 (фирма OERLIKON), с химичен състав C-0.5%; Mn-1.5%; Si-0.5%; Cr-5.41%; Mo-0.64%

Изследването включва изработване на макрошлифове за всеки един от проведените режими. Шлифове се заснемат при еднакво увеличение, след което снимката се обработва дигитално за да се получи изображение съответстващо на профила на наварената повърхност, служещо за определяне на коефициента K_M .

След проведен планиран планиран експеримент и проведено металографско изследване за различните електродни материали се получиха следните регресионни модели за дебелината на наварения слой δ и коефициента на обемна механична обработка K_M :

За LNM 420 FM:

$$\delta(I,U,s)=3,008+0,522X_1-0,136X_2-0,9X_3-0,024X_1^2-0,334X_1.X_2-0,107X_1.X_3-0,165X_2^2-0,034X_2.X_3+0,049X_3^2$$

$$\min \delta=1,389(-1; -1; 1) \quad \max \delta=4,833(1; -1; -1)$$

$$K_M(I,U,s)=0,269-0,023X_1+0,029X_2-0,042X_3+0,067X_1.X_2+0,027X_2.X_3+0,081X_3^2 \quad \min K_M=0,15 (1; -1; 0) \quad \max K_M=0,48 (-1; -1; -1)$$

За FLUXOFIL 58:

$$\delta(I,U,s)=1,514+0,11X_1+0,055X_2-0,419X_3+0,136X_1.X_2-0,137X_2.X_3+0,282X_3^2$$

$$\min \delta= 1,049(-1; 1; 1) \quad \max \delta= 2,653(1; 1; -1)$$

$$K_M(I,U,s)=0,392+0,0089X_1-0,05X_2+0,097X_3-0,055X_2^2-0,102X_2.X_3+0,063X_3^2$$

$$\min K_M=0,2421 (-1; -1; -1) \quad \max K_M=0,6579 (1; -1; 1)$$

Получените резултати за δ^0 и $(1-K_M^0)$ за описания подход - песимистичен филтър, за двата вида електроден материал са показани на фиг. 5 и 6

За резултати от многокритериалната оптимизация е изведена обобщена функция $F=MAX(100-\delta^0;K_M^0)$

l	sU	-1	-0,5	0	0,5	1
-1,00	-1	55.92	48.96	44.40	42.23	42.45
-1,00	0	79.38	72.92	68.84	67.17	67.89
-1,00	1	100.00	94.03	90.45	89.26	90.48
-0,67	-1	46.22	40.87	37.92	37.37	39.21
-0,67	0	70.71	65.86	63.40	63.34	65.68
-0,67	1	92.36	88.01	86.04	86.48	89.31
-0,33	-1	36.66	32.93	31.60	32.66	36.12
-0,33	0	62.20	58.96	58.12	59.68	63.63
-0,33	1	84.88	82.14	81.79	83.84	88.29
0,00	-1	27.26	25.15	25.44	28.11	33.19
0,00	0	53.83	52.21	52.99	56.16	61.73
0,00	1	77.56	76.43	77.70	81.37	87.43
0,33	-1	18.02	17.53	19.43	23.72	30.41
0,33	0	45.63	45.62	48.02	52.80	59.99
0,33	1	70.38	70.87	73.76	79.04	86.72
0,67	-1	8.93	10.05	13.57	19.48	27.79
0,67	0	37.57	39.19	43.20	49.60	58.40
0,67	1	63.37	65.47	69.98	76.88	86.17
1,00	-1	0.00	2.74	7.87	15.40	25.32
1,00	0	29.67	32.91	38.53	46.55	56.97
1,00	1	56.50	60.23	66.35	74.86	85.77

(100-δ%) ≤10%	10% < (100-δ%) ≤33%	(100-δ%) >33%
---------------	---------------------	---------------

LNM 420 FM

l	sU	-1	-0,5	0	0,5	1
-1,00	-1	37.66	35.91	34.16	32.42	30.67
-1,00	0	72.82	75.34	77.87	80.39	82.92
-1,00	1	72.82	79.61	86.41	93.20	100.00
-0,67	-1	38.20	35.04	31.88	28.72	25.56
-0,67	0	73.36	74.47	75.58	76.69	77.81
-0,67	1	73.36	78.74	84.12	89.51	94.89
-0,33	-1	38.74	34.16	29.59	25.02	20.45
-0,33	0	73.90	73.60	73.30	72.99	72.69
-0,33	1	73.90	77.87	81.84	85.81	89.78
0,00	-1	39.28	33.29	27.31	21.32	15.34
0,00	0	74.44	72.72	71.01	69.30	67.58
0,00	1	74.44	77.00	79.55	82.11	84.66
0,33	-1	39.82	32.42	25.02	17.62	10.22
0,33	0	74.98	71.85	68.72	65.60	62.47
0,33	1	74.98	76.12	77.27	78.41	79.55
0,67	-1	40.36	31.55	22.73	13.92	5.11
0,67	0	75.52	70.98	66.44	61.90	57.36
0,67	1	75.52	75.25	74.98	74.71	74.44
1,00	-1	40.90	30.67	20.45	10.22	0.00
1,00	0	76.06	70.11	64.15	58.20	52.24
1,00	1	76.06	74.38	72.69	71.01	69.33

(100-δ%) ≤10%	10% < (100-δ%) ≤27%	(100-δ%) >27%
---------------	---------------------	---------------

FLUXOFIL 58

Фиг. 5

l	sU	-1	-0,5	0	0,5	1
-1,00	-1	55.92	48.96	44.40	42.23	42.45
-1,00	0	79.38	72.92	68.84	67.17	67.89
-1,00	1	100.00	94.03	90.45	89.26	90.48
-0,67	-1	46.22	40.87	37.92	37.37	39.21
-0,67	0	70.71	65.86	63.40	63.34	65.68
-0,67	1	92.36	88.01	86.04	86.48	89.31
-0,33	-1	36.66	32.93	31.60	32.66	36.12
-0,33	0	62.20	58.96	58.12	59.68	63.63
-0,33	1	84.88	82.14	81.79	83.84	88.29
0,00	-1	27.26	25.15	25.44	28.11	33.19
0,00	0	53.83	52.21	52.99	56.16	61.73
0,00	1	77.56	76.43	77.70	81.37	87.43
0,33	-1	18.02	17.53	19.43	23.72	30.41
0,33	0	45.63	45.62	48.02	52.80	59.99
0,33	1	70.38	70.87	73.76	79.04	86.72
0,67	-1	8.93	10.05	13.57	19.48	27.79
0,67	0	37.57	39.19	43.20	49.60	58.40
0,67	1	63.37	65.47	69.98	76.88	86.17
1,00	-1	0.00	2.74	7.87	15.40	25.32
1,00	0	29.67	32.91	38.53	46.55	56.97
1,00	1	56.50	60.23	66.35	74.86	85.77

K _M % ≤10%	10% < K _M % ≤33%	K _M % >33%
-----------------------	-----------------------------	-----------------------

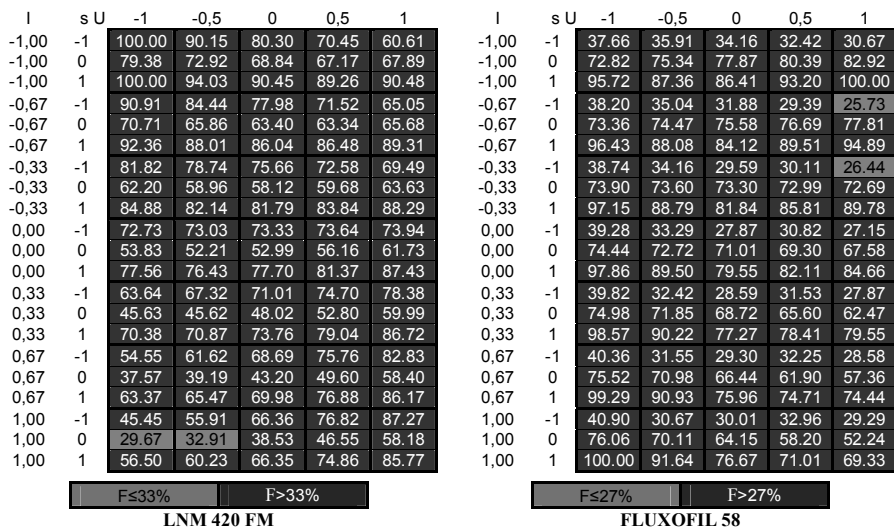
LNM 420 FM

l	sU	-1	-0,5	0	0,5	1
-1,00	-1	37.66	35.91	34.16	32.42	30.67
-1,00	0	72.82	75.34	77.87	80.39	82.92
-1,00	1	72.82	79.61	86.41	93.20	100.00
-0,67	-1	38.20	35.04	31.88	28.72	25.56
-0,67	0	73.36	74.47	75.58	76.69	77.81
-0,67	1	73.36	78.74	84.12	89.51	94.89
-0,33	-1	38.74	34.16	29.59	25.02	20.45
-0,33	0	73.90	73.60	73.30	72.99	72.69
-0,33	1	73.90	77.87	81.84	85.81	89.78
0,00	-1	39.28	33.29	27.31	21.32	15.34
0,00	0	74.44	72.72	71.01	69.30	67.58
0,00	1	74.44	77.00	79.55	82.11	84.66
0,33	-1	39.82	32.42	25.02	17.62	10.22
0,33	0	74.98	71.85	68.72	65.60	62.47
0,33	1	74.98	76.12	77.27	78.41	79.55
0,67	-1	40.36	31.55	22.73	13.92	5.11
0,67	0	75.52	70.98	66.44	61.90	57.36
0,67	1	75.52	75.25	74.98	74.71	74.44
1,00	-1	40.90	30.67	20.45	10.22	0.00
1,00	0	76.06	70.11	64.15	58.20	52.24
1,00	1	76.06	74.38	72.69	71.01	69.33

K _M % ≤10%	10% < K _M % ≤27%	K _M % >27%
-----------------------	-----------------------------	-----------------------

FLUXOFIL 58

Фиг. 6



Фиг. 7

Резултатите от многокритериалната оптимизация за LNM 420 FM ($K_M\% < 33\%$; $\delta\% > 67\%$) и за FLUXOFIL 58 ($K_M\% < 27\%$; $\delta\% > 73\%$) са показани на фиг.7, а конкретните режими – в табл. 2.

Таблица 2. Решения свързващи относително минималните стойности на K_M и относително максимални стойности на δ с управляващите процеса фактори

	X1	I [A]	X2	U [V]	X3	s [mm]	$K_M\%$	K_M	$\delta\%$	δ [mm]
LNM 420 FM	1	210	-1	19	0	3	0	0,150	70,33	3,81
	1	210	-0,5	20	0	3	14,55	0,198	67,09	3,70
FLUXOFIL 58	-0,67	160	1	23	-1	2	25,73	0,349	74,44	2,24
	-0,33	170	1	23	-1	2	26,44	0,352	79,55	2,33

Аналогичен подход е приложен за решаване на задачата за режими, съчетаващи минимална дебелина на наварения слой с минимална механична обработка ($\min\delta$, $\min K_M$). Получените резултати от многокритериалната оптимизация до 33% за LNM 420 FM и до 23% за FLUXOFIL 58 са дадени в табл. 3.

Таблица 3. Решения свързващи относително минималните стойности на K_M и относително минималните стойности на δ с управляващите процеса фактори

	X1	I [A]	X2	U [V]	X3	s [mm]	$K_M\%$	K_M	$\delta\%$	δ [mm]
LNM 420 FM	-1	150	1	23	0	3	31,52	0,254	32,11	2,50
	0	180	-1	19	1	4	30,91	0,252	22,44	2,16
	0,33	190	-1	19	1	4	21,82	0,222	29,62	2,41
FLUXOFIL 58	-1	150	1	23	0	3	8,66	0,278	17,08	1,32
	-1	150	1	23	1	4	22,61	0,336	0	1,05
	-0,67	160	1	23	0	3	9,37	0,281	22,19	1,41

4. Заключение

Дефинираният интервален подход е успешно приложен в областта на наваряването за определянето на технологични режими едновременно управляващи дебелината на покритието при минимизиране обема на механична обработка. Проведеното изследване е доказателство за различното поведение на изследваните материали по отношение на технологичните режими, формиращи покритието. Тръбният електроден материал FLUXOFIL 58, които реализира по-трудно обработваеми наварени покрития осигурява по-малка стойност на дебелината на покритието и по-голям обем механична обработка в сравнение с LNM 420 FM.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Н. Христов, Н. Тончев.** Интервален подход и прилагането му за решаване на задачи от областта на наваряването. Journal "Fundamental sciences and applications" Vol. 14(2) 2009 TECHSYS 2009
2. **Н. Тончев, Н. Христов,** Относно управлението на процеса наваряване за постигане на слоеве с определена геометрия и свойства "Механика, транспорт комуникации" Бр. 3 2009г., XIX международна научна конференция "Транспорт 2009"
3. **Н. Тончев, Р. Лазарова, М. Кандева, Н. Христов,** Металографски и механични изследвания на наварени слоеве със специфични свойства. Journal "Fundamental sciences and applications" Vol. 15 2009 Amtech '09 Plovdiv

ОПТИМИЗИРАНЕ НА НЕВРОННИ МРЕЖИ С ГЕНЕТИЧНИ АЛГОРИТМИ ЗА ЦЕЛИТЕ НА МНОГОКРИТЕРИАЛНАТА ОПТИМИЗАЦИЯ

С. Иванов Н. Тончев

ВТУ "Т. Каблешков"

stefan_ivanov@hotmail.com, tontchev@vtu.bg

OPTIMIZING NEURON NETS BY GENETIC ALGORITHMS FOR PURPOSE OF MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION

S. Ivanov

N. Tonchev

***Abstract:** Artificial neural networks (ANN) and genetic algorithms (GA) are two research areas that were subject to a steadily growing interest during the past years. Both models are inspired by nature, but whereas ANN concerned with learning of an individual, GA deal with a population's adaptations to a changing environment. ANN have some limitations. One of them is associated with ANN training. Another is related to selecting an optimal topology (architecture) for ANN.*

This paper focuses on how GA can be used to assist ANN optimization (design and training) for the purposes of multicriteria optimization. GA are applied to solving the following tasks: 1) to the learning of weights of ANN; 2) to the determination of optimal topology of ANN.

***Key words:** Artificial neural networks (ANN), genetic algorithms (GA), multi-criteria optimization.*

1. Въведение

Изкуствените невронни мрежи (ИНМ) [1] се използват широко за решаване на разнообразни задачи в много приложни области. Изключително полезна възможност [2,3] е приложението им за оптимизация на комплекса от свойства при синтеза на нови материали и определянето количеството и състава на отделните компоненти и параметрите на обработката. Това е основен клас задачи от областта на материалознанието, който е валиден за обработката на всички сплави. Размерността на задачата зависи

от броя на компонентите и параметрите на обработване и резултата от изследванията са свързани с конкретна оптимизация.

Повечето от приложенията използват прави (feedforward) ИНМ и алгоритъм за обучение с обратно разпространение (АООР). Има голямо разнообразие на АООР и други обучаващи алгоритми. При решаването на различни задачи, включително задачите за многокритериална оптимизация (МКО), всички тези алгоритми обучават само теглата на връзките между невроните и поставят изискването ИНМ да бъде с предварително определена архитектура, брой на слоевете, брой на невроните във всеки слой, връзките между отделните неврони, теглата на тези връзки.

2. Състояние на проблема

Използването на ИНМ за решаване на различни проблеми се ограничава от проблемите, свързани с обучението на ИНМ. Често използваният АООР, базиращ се на градиентно методи, въпреки математическата му обоснованост, има сериозен недостатък: той не може да гарантира оптимално решение. В реални приложения АООР често засяда в локален минимум на функцията на грешката (ФГ) и е неспособен да открие глобален минимум при многомодална и/или недиференцируема ФГ. Като резултат ИНМ е с неоптимални тегла на връзките и е неспособна да открие желаното решение на проблема.

Друга трудност е свързана с избор на оптимална архитектура на ИНМ. Броят на елементите от входния слой се определя от размерността на входните данни, в случая на МКО – от параметрите на оптимизационната задача. Броят на елементите от изходния слой се определя, в случая на МКО – от броя на критериите за оптималност. Броят и размерите на скритите слоеве се определят интуитивно, по метода на “пробите и грешките”, прилагане на евристични методи, т.е. да се определи оптимална за дадената задача архитектура е по-скоро изкуство, а не инженеринг.

ГА [4] са ефективна техника на оптимизация както на теглата, така и на архитектурата на ИНМ.

3. Оптимизиране на теглата и архитектурата на ИНМ с генетични алгоритми

Генетичните алгоритми могат да бъдат приложени за следните задачи:

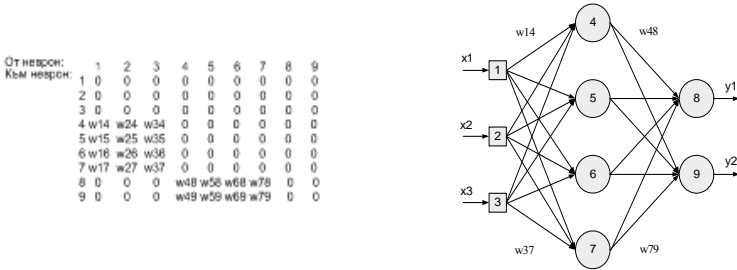
- оптимизиране на теглата на ИНМ [5 - 7],
- оптимизиране на архитектурата на ИНМ [8 -9],
- едновременно определяне на оптималните архитектура и тегла на ИНМ [10].

Разгледани са първите две задачи.

3.1. Оптимизиране на теглата на ИНМ

За да използваме ГА първо трябва да представим проблемната област като хромозома. Нека да намерим оптимално множество от тегла на многослойната права ИНМ, показана на Фиг.1.

Пример с представената на фиг.1 архитектура е посочен в [11], където е дефинирана задача от областта на наваряването за определянето на технологични режими, обезпечаващи минимална последваща механична обработка.



От неврон:	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Към неврон:	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	w14	w24	w34	0	0	0	0	0
	5	w15	w25	w35	0	0	0	0	0
	6	w16	w26	w36	0	0	0	0	0
	7	w17	w27	w37	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	w48	w58	w68	w78	0
	9	0	0	0	w49	w59	w69	w79	0

Хромозома

w14	w24	w34	w15	w25	w35	w16	w26	w36	w17	w27	w37	w48	w58	w68	w78	w49	w59	w69	w79
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Фиг.1 Множество от тегла на многослойната права ИНМ

Чрез прилагането на тук посочения подход е възможно да се определят режими, гарантиращи относително ниски стойности на коефициента на обемна механична обработка за, изследваните в [11] два електродни материала. Определените режими ще са оптимални по отношение качеството на наварената повърхност.

Началните тегла на ИНМ се избират случайно в малък интервал, например Множеството от теглата може да се представи като квадратна матрица, в която всяко реално число съответства на теглото на връзката между два неврона, а 0 означава, че няма връзка между съответните два неврона. Общо има 20 тегловни връзки между невроните на Фиг.1. Всеки ред от матрицата представлява група от тегла на връзките към даден неврон и се асоциира с един ген [5]. Тъй като една хромозома е колекция от гени, множеството от групи от тегла може да се представи с 6-генна хромозома, където всеки ген съответства на група от тегловни връзки в ИНМ.

Втора стъпка е дефиниране на оценяваща функция ОФ (fitness function). ОФ е реципрочната стойност на сумата от квадратите на грешките, дефинирана с уравнение (1),

$$E = \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^N (y_i(p) - z_i(p))^2 \quad (1)$$

където N е броят на изходите (критериите при МКО), P – броят на обучаващите образци, $y_i(p)$ и $z_i(p)$ са действителният и желаният изходи за образец p и изход i.

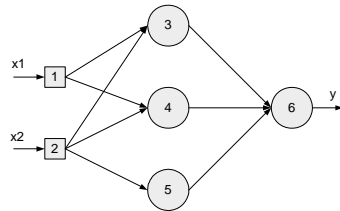
Третата стъпка е дефиниране на генетичните операции: кръстосване (crossover) и мутация (mutation). Операция кръстосване взема две, случайно избрани, родителски хромозоми и създава хромозома наследник с гени от двамата родители.

Четвъртата стъпка е прилагане на ГА, след като сме дефинирали размера на популацията, т.е. броят на ИНМ с различни тегла, вероятностите за кръстосване и мутация, броят на генерациите.

При решаване на задачата за оптимизиране на теглата на ИНМ се предполага, че архитектурата на ИНМ е предварително определена и ГА се използва само за оптимизиране на теглата на дадена ИНМ. Архитектурата на ИНМ (т.е. броят на невроните и техните взаимни връзки) обаче често определя успеха или неуспеха на едно приложение. ГА алгоритми могат да решат задачата за автоматично определяне на архитектурата на ИНМ за дадено приложение.

3.2. Оптимизиране на архитектурата на ИНМ

От неврон:	1	2	3	4	5	6
Към неврон:	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	3	1	1	0	0	0
	4	1	0	0	0	0
	5	0	1	0	0	0
	6	0	1	1	1	0



0 0 0 0 00 0 0 0 0 00 1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 00 0 1 0 0 0 00 1 1 1 1 0

Хромозома

Фиг.2. Матрица на връзките на ИНМ и хромозомата

Основната идея е да се извърши генетично търсене с помощта на ГА в популацията на възможни архитектури [8,9]. За прилагане на ГА архитектурата на ИНМ се кодира в хромозома. На Фиг. 2 са показани ИНМ, квадратната матрица на връзките на ИНМ и хромозомата, получена по метода на директното кодиране. Всеки елемент от матрицата дефинира типа на връзката от един неврон (колона) към друг (ред), където 0 означава липсата на връзка, а 1 – наличието на връзка, теглото на която може да бъде

променяно чрез обучение. Недостатък на директното кодиране е, че може да бъде прилагано само за прави ИНМ с фиксиран брой неврони.

ГА е следният:

1. Избира се размера на популацията на хромозоми, вероятностите за кръстосване и мутация, определя се броят на циклите на обучение.
2. Дефинира се ОФ (fitness) на хромозомите.
3. Генерира се по случаен начин една първоначална популация от хромозоми.
4. Декодира се всяка една хромозома в ИНМ. Тъй като ИНМ тук са ограничени само до прави ИНМ, игнорират се всички обратни връзки. Установяват се случайни първоначални тегла на ИНМ. ИНМ се обучава с множеството от учебни примери за определен брой цикли. Определя се ОФ на ИНМ.
5. Повтаря се стъпка 4 до разглеждане на всички членове на популацията.
6. Избира се двойка хромозоми за съчетаване с вероятност, пропорционална на техните ОФ.
7. Създава се потомство – двойка хромозоми, чрез прилагане на кръстосване и мутация.
8. Хромозомите – потомци се поставят в нова популация.
9. Повтаря се стъпка 6 до изравняване размера на новата популация хромозоми с размера на старата популация хромозоми. След изравняването на размерите се заменя старата популация от хромозоми – родители с новата популация хромозоми – потомци.
10. Връщаме се към стъпка 4 и повтаряме процеса до достигане предварително зададения брой на цикли на обучение.

4. Заключение

Разгледани са въпросите за използване на ГА за оптимизиране на теглата на връзките между невроните в една ИНМ, както и оптимизиране на архитектурата на ИНМ, за целите на МКО. ГА са една многообещаваща алтернатива на АООР при оптимизация на теглата на връзките на ИНМ, както и метода на “пробите и грешките” и евристичните методи при определяне на архитектурата на ИНМ.

Предложеният подход може да разшири приложението си в областта на наваряването чрез внедряване на оптимизационна процедура управляваща дебелината на наварения слой и обема на механичната обработка в зависимост от технологичните параметри, управляващи процеса на наваряване. След тестването му от областта на наваряване е възможно да се премине към задачите за синтез на материали, изключително важен клас задачи от областта на наваряването.

Литература

1. Haykin, S., *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. Second Edition, Prentice Hall, 1999.
2. Malinov S., W. Sha J.J. McKeown Modeling the correlation between processing parameters and properties in titanium using neural network. *Computational Materials Science* 21 (2001) 375–394.
3. Malinov S., W. Sha Software products for modelling and simulation in materials science *Computational Materials Science* 28 (2003) 179–198.
4. Haupt R., S. Haupt, *Practical Genetic Algorithms*, John Wiley & Sons, Second Edition, 2004.
5. Montana, D.J. and Davis, L., Training feedforward networks using genetic algorithms, *Proceedings of the 11th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Morgan Kaufman, San Mateo, CA, 1989, pp. 762-767.
6. Whitley, D. and Hanson, T., Optimizing neural networks using faster, more accurate genetic search, *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*, J.D. Schaffer, ed., Morgan Kaufman, San Mateo, CA, 1989, pp. 391-396.
7. Ichikawa, Y. and Sawa, T., Neural network application for direct feedback controllers, *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1992, 3(2), 224-231.
8. Miller, G.F., Todd, P.M. and Hedge, S.U., Designing neural networks using genetic algorithms, *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*, J.D. Schaffer, ed., Morgan Kaufman, San Mateo, CA, 1989, pp. 379-384.
9. Schaffer, J.D., Whitley, D. and Eshelman, L.J., Combinations of genetic algorithms and neural networks: a survey of the state of the art, *Proceedings of the International Workshop on Combinations of Genetic Algorithms and Neural Networks*, COGANN-92, D. Whitley and J.D. Schaffer, eds, IEEE Computer Society Press, Baltimore, MD, 1992, pp. 1-37.
10. Yao, X. and Liu, Y., Ensemble structure of evolutionary artificial neural networks, in *Proc. Of the 1996 IEEE Int'l Conf. on Evolutionary Computation (ICEC'96)*, Nagoya, Japan, pp.659-664, IEEE Press, New York, NY 10017-2394, 1996.
11. Христов Н., Н. Тончев, Интервален подход и прилагането му за решаване на задачи от областта на наваряването. *Journal of Technical University Sofia – “Fundamental Sciences and Applications”*, vol.14, 2009, pp. 209-214.

ХИБРИДЕН ПОДХОД МЕЖДУ ГЕНЕТИЧНИ АЛГОРИТМИ И НЕВРОННИ МРЕЖИ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛНА ОПТИМИЗАЦИЯ

С. Иванов

ВТУ "Т. Каблешков"

stefan_ivanov@hotmail.com

HYBRID APPROACH BETWEEN GENETIC ALGORITHMS AND NEURON NETS AT MULTI-CRITERIA OPTIMIZATION

S. Ivanov

***Abstract:** Multi-Objective Evolutionary Algorithms (MOEA) are efficient methods to evaluate the Pareto-optimal set in difficult multi-objective optimizations (MOO) problems. However, to reach an acceptable solution MOEA require a large number of evaluations of the objective functions. This paper focuses on using artificial neural networks (ANN) to reduce the number of exact function evaluations for MOO optimization problems. The ANN - genetic algorithms (GA) is a hybrid evolutionary-based algorithm for solving of MOO problems. After adequate training of the ANN with a set of exact evaluations of the fitness function, the GA uses the ANN to approximate and estimate the objective functions for a fixed number of generations.*

***Key words:** Artificial neural networks (ANN), genetic algorithms (GA), multi-criteria optimization.*

1. Въведение

Многокритериалните генетични алгоритми (МКГА) са ефективни методи за намиране на Парето - оптимални решения на многокритериални оптимизационни задачи (МКОЗ). За повечето МКОЗ МКГА превъзхождат традиционните детерминистични методи поради способността им да изследват и комбинират множество различни решения. Известни са множество МКГА [1-5], способни да апроксимират Парето – фронта с множество от точки. Една от най – големите трудности при прилагане на МКГА при решаване на реални проблеми е големият обем изчисления на функциите на критериите – типичната стойност е от порядъка на няколко хиляди. Намалването на броя на тези изчисления е важен въпрос [6-7]. Намиране на добри апроксимиращи

методи е особено трудно при МКЗО поради броя на критериите и възможното взаимодействие между тях.

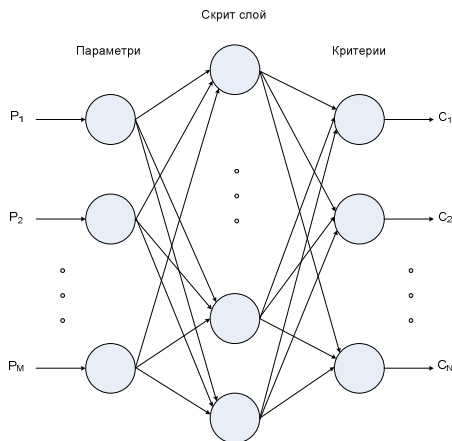
2. Състояние на проблема

Известни са няколко подхода при апроксимиране на функциите на критериите както при еднокритериални, така и при МКЗО – статистически, изкуствени невронни мрежи (ИНМ), хибридни [6-9]. В [6] е предложен итеративен метод, при който ИНМ се обучава с множество от точно изчислени оценяващи функции ОФ (fitness function). Така обучената ИНМ се използва от генетичният алгоритъм (ГА) за оценка на функциите на критериите за определен брой генерации. Процесът се повтаря до достигане на задоволително решение или предварително зададен брой генерации.

3. ИНМ – МКГА хибриден алгоритъм

Целта на разработваният алгоритъм, подобен на този в [6], е намаляване броя на изчисленията, свързани с точното оценяване на функциите на критериите. Разликата е в използвания ГА. Причините за избор на ИНМ за апроксимация са:

- способността на ИНМ да апроксимира функции с много променливи и с произволна сложност [10].
- бързата оценка на решението от обучена ИНМ.



Фиг. 1 Схема на използваната ИНМ

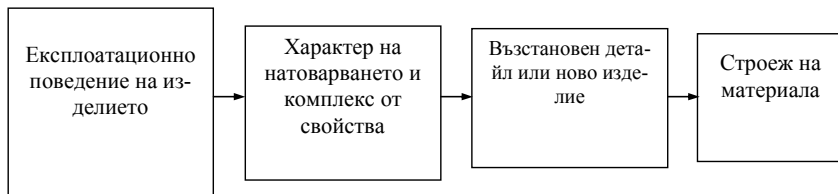
Схемата на ИНМ, използвана в алгоритъма, е показана на Фиг. 1. Входовете на ИНМ представляват гените (параметрите) на една хромозома (член) на популацията, а изходите на ИНМ – съответните им ОФ.

ИНМ – МКГА е следният:

1. Избира се размера на популацията на хромозоми, вероятностите за кръстосване и мутация, определя се броят на генерациите. Генерира се по случаен начин една първоначална външна популация от хромозоми, служеща за генерация на апроксимационния модел.
2. Дефинира се ОФ (fitness) на хромозомите.
3. Създава се празна, основна популация, използваща апроксимационния модел.
4. Установяване в начално състояние на брояча на генерациите.
5. Прилагат се операторите на ГА селекция, кръстосване и мутация за създаване на хромозоми – потомци.
6. Ако външната популация е пълна, премини към 9.
7. Хромозомите – потомци се поставят във външната популация. Изчисляват се ОФ на новата популация.
8. Ако външната популация е пълна, обнови основната популация, премини към 10.
9. Изчисли ОФ на основната популация, използвайки апроксимационния модел.
10. Ако броячът на генерациите е по-малък от максималния брой зададени генерации, премини към 5.
11. Присвои ОФ на заключителната популация.

4. Заключение

Основното приложение на предлагания подход ще е за задачите [11] за избор на материал от областта на материалознанието, които се характеризират с твърде многото ограничения и липсата на ясно дефинирана целева функция. Задачата за избор на материал е свързана с разглеждането на системата:



Решаването на многокритериалните задачи от подобна система се осъществява с цел намаляване на разходите, увеличаване на надеждността, подобряване на работоспособността.

По принцип, постигането на пълния комплекс от свойства за даден нов материал е невъзможно без експериментално изследване. Замяната на даден материал с друг рядко осигурява оптималното използване на мате-

риала и в този процес е необходимо да се изтъкне не само конкуренцията на характеристики между двата материала, а и конкуренцията в ефективността на двата процеса на производство.

Крайният избор обикновено е компромис между разходи и функционални характеристики и тяхната взаимовръзка трябва добре да се изследва с оглед на това да се осигури добър баланс между тях.

Литература

1. Deb, K., *Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms*, First Edition, Wiley, 2001.
2. K. Deb, S. Agrawal, A. Pratap, T. Meyarivan, A Fast Elitist Non-dominated Sorting Genetic Algorithm for Multi-Objective Optimization: NSGAI, Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature VI (PPSNVI), 849-858, 2000.
3. Fonseca, C.M. and Fleming, P.J., Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization, Proc. Fifth Int. Conf. on Genetic Algorithms, Morgan Kauffman, 416-423, 1993.
4. Zitzler, E. Laumanns, M. and Thiele, L., SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm, TIK report No. 103, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Switzerland, 2001.
5. Knowles, J.D. and Corne, D.W., Approximating the Non-dominated Front using the Pareto Archived Evolutionary Strategy, *Evolutionary Computation Journal*, 8(2), 149-172, 2000.
6. P.K.S. Nain, K. Deb, A Computationally Effective Multi-Objective Search and Optimization Technique Using Coarse-to-Fine Grain Modelling, Kangal Report No. 2002005, 2002.
7. Jin, Y., Olhofer, M., Sendhof, B., A Framework for Evolutionary Optimization with Approximate Fitness Functions, *IEEE Trans. On Evolt. Comp.*, 6, pp. 481-494, 2002.
8. Bishop, C.M., *Neural Networks for Pattern Recognition*, Oxford University Press, Oxford, 1995.
9. Poloni, C., A. Giurgevich, L. Onesti, V. Pedirola, Hybridization of multi-objective genetic algorithm, a neural network and a classical optimizer for complex design problem in fluid dynamics, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 186, 403-420, 2000.
10. Cybenko, G., Approximation by superposition of a sigmoidal function, *Math. Control. Signals, Syst.*, vol.2, pp.303-314, 1989.
11. Христов Н., Н. Тончев, Интервален подход и прилагането му за решаване на задачи от областта на наваряването. *Journal of Technical University Sofia – “Fundamental Sciences and Applications”*, vol.14, 2009, pp. 209-214.

ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИМИЗАЦИЯ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВИ НАВАРЕНИ ПОКРИТИЯ

Александър Монов¹, Мара Кандева², Николай Тончев¹

¹Висше транспортно училище „Т. Каблешков” – София

²Научно-приложна лаборатория „Трибология” - ТУ-София

a_monov@abv.bg kandeva@tu-sofia.bg tontchev@vtu.bg

GEOMETRIC OPTIMIZATION OF WEAR RESISTANT CLADDED COATINGS

A. Monov¹, M. Kandeva², N. Tonchev¹

Abstract. *The absolute wear resistance of layers fettled with different welding die materials on steel is investigated in dependence of chemical composition and deposition process parameters. The welding die materials are classified according to the investigated characteristics in order to attend a rational service application. Recommendations for controlling of the joint weld properties and processes parameters are made on the bases of this classification by means of the welding material choice.*

Key words: *buildup by welding, tribology, fettled layers, welding electrode material, microstructure investigation.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В процеса на експлоатация на машините и съоръженията изменение-то размерите на детайлите вследствие износването на работните повърхности е незначително и в повечето случаи представлява по-малко от 0.1% от масата на тези детайли. Абсолютната големина на износването, която води до бракуване на детайлите на масово разпространените машини, се намира в границите на 0,1 ÷ 0,5 mm и в редки случаи достига до 3 ÷ 10 mm. Анализ на номенклатурата на детайлите, влагани при основен ремонт на машините показва, че от 40 до 60% от тях могат да се възстановят чрез наваряване.

Намаляването на разхода на резервни части, а от там и стойността на ремонта и поддържането на техниката, може да се постигне с увеличаване обема на възстановяваните детайли и повишаване качеството им посредством усъвършенствани технологии.

Изследванията се концентрират върху повишаване на износоустойчивостта на контактните повърхнини на материалите чрез различни триботехнологии с цел постигане на висок експлоатационен ресурс на типични детайли от общото и транспортното машиностроене, а оттук и снижаване на материалоемкостта и енергоемкостта на машините и повишаване на тяхната ефективност.

Актуалността на триботехнологиите през последните години произтича от прякото им отношение към екологичните проблеми на планетата – кризата на материални и енергетични ресурси и замърсяването на околната среда [1÷3,7].

Електродъговото наваряване в защитна газова среда е един от най-широко разпространените методи за възстановяване на износени детайли. Неговите предимствата са висока производителност, простота на технологичния процес, достъпност на оборудването и възможност за автоматизация [4].

Един от перспективните методи с широка област на приложение, съчетаващ висока производителност и голяма икономическа ефективност, е наваряването с тръбен тел в среда от защитни газове смеси. Основно предимство на тръбния електрод е, че с помощта на легиращите елементи в сърцевината на тела може да се получи наварен метал с точно определени качества, което трудно се постига при наваряване с плътна тел. В състава на тръбната тел освен легиращи са включени газообразуващи и шлакообразуващи компоненти, които осигуряват защита на дъгата и правилно протичане на физико-металургичните процеси в зоната на наваряване.

Основните показатели влияещи върху геометрията и структурата на шева са големината на тока, напрежението и скоростта на наваряване. Качеството на наварения слой при широкоослоино наваряване в значителна степен зависи от параметрите на единичните шевове, от които е съставен.

Целта на работата е да се проведе експериментално изследване и се оптимизира технологичния режим за нанасяне на износоустойчиви наварени покрития по отношение на геометричните им показатели в условия на равнинно електродъгово наваряване в защитна среда от газова смес.

Поставената цел се постига с решаване на следните задачи:

- провеждане на многофакторни планирани експерименти и получаване на регресионни модели за влиянието на основните технологични фактори върху геометричните и функционални параметри на покритията;

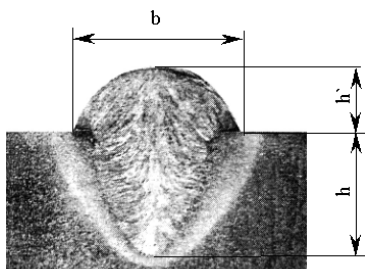
- разработване на методика и изследване на зависимостта на износването на покритието от пътя на триене и нормалното натоварване в условия на закрепен абразив;

- анализ на получените резултати и разкриване на оптималните технологични режими за нанасяне на покритията.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

1. Апаратура, материали и методика на изследването

Наваряването в среда от защитни газови смеси се различава от другите видове наваряване по това, че електрическата дъга гори в газозащитна струя, а заваръчната вана и капките електроден метал са защитени от кислорода и азота във въздуха с газовата среда образувана от тази струя.



Геометрията на наварената повърхност се определя в зависимост от степента на износване на детайла и прибавката за механична обработка. Геометричните параметри на наварения слой са в пряка зависимост от режима на наваряване, който се определя от силата на тока I , напрежението U и скоростта на наваряване $V_{нав}$.

Различните комбинации между тях формират множество от технологични режими, които реализират различна геометрия на шева. Въпросът за формата и размерите на шева е пряко свързан с производителността при възстановяване на износената повърхност и качеството на наварения слой.

За постигане на поставената цел бяха проведени планирани експерименти като при лабораторните опити са наварени плоски образци от $Ct\ 20$ с два вида тръбна електродна тел - *Fluxofil 56*, *Fluxofil 58* и *LNM 420FM*. Защитната газова смес се състои от 83% аргон и 17% CO_2 .

Диапазонът на вариране на управляващите фактори е даден в **табл. 1**

Таблица 1

Нива	Основни фактори			
	(X_1) сила на тока [A]	(X_2) напрежение [V]	(X_3) скорост на наваряване [m/min]	(X_4) електроден из- лаз [min]
Основно ниво (0)	200	22	0,82	13
Стъпка на изменение	50	4	0,54	3
Долна граница (-1)	150	18	0,28	10
Горна граница (+1)	250	26	1,36	16

Като се взеха в предвид технологичните режими и вида на наваряване, за провеждане на опитите беше използвана следната апаратура:

- токоизточник ИЗА – Г 315;
- телоподаващо устройство УТ-5;
- автомат (трактор) за заваряване Kometa 2;
- газова горелка RM 36M RZ2 - I_{\max} - 360A (CO₂); 320A (Ar + CO₂).

Наваряваният материал са опитни образци от Ст20 с размери: ширина 250 mm , дължина 500 mm и дебелина 20 mm .

За решаване на основната задача в процеса на възстановяване на детайлите, а именно постигане наварен слой с висока твърдост и износоустойчивост, при минимална зона на термично влияние и след анализ на данните на тръбни електродни телове за наваряване, на основата на предварителни трибологични експерименти [8], са избрани:

- тръбен тел Fluxofil 56 - 1.4mm (фирма OERLIKON) DIN 8555, със следния химически състав – C-0.35 , Mn-1.5 , Si-0.53 , S-0.007 , P-0.012 , Cr-5.2 , Mo-0.64 ;

- плътен тел LNM 420FM (фирма LINKOLN), със следния химически състав – C-0.45 , Mn-0.4 , Si-3 , Cr-9.5.

Всеки един от геометричните параметри на шева - усилване H и широчина B , както и качеството при наваряване K се описва със закон на функциониране в съответствие, с който този параметър реагира на въздействието на факторите от **таблица 1**.

Апроксимацията играе изключителна роля при създаването на моделите, тъй като позволява да се използват удобни полиноми, обвързващи сложността на моделите с поставените изисквания.

Всеки от параметрите на качеството е контролируем чрез измерване, като се оценява количествено в свой ограничен интервал на изменение .

Адекватността на моделите се определя от коефициентът на множествена корелация и се потвърждава от изчислената стойност на F -критерия на Фишер, която е необходимо да бъде по-голяма от табличната.

2. Резултати и анализ

Използвайки стандартна методика [5], за изследваните параметри на качеството се получиха следните нелинейни регресионни зависимости:

– за **FLUXOFIL 56**;

$$B = 6.405 + 1.003X_1 + 1.196X_2 - 1.757X_3 - 0.076X_4 + 0.197X_1^2 + 0.24X_1X_2 - \quad (1)$$
$$- 0.493X_1X_3 + 0.0416X_1X_4 + 0.0588X_2^2 - 0.268X_2X_3$$

$$H = 1.643 + 0.242X_1 - 0.212X_2 - 0.69X_3 - 0.00313X_4 - 0.0174X_1^2 - 0.0965X_1X_3 + \quad (2)$$
$$+ 0.0342X_1X_4 + 0.232X_2^2 + 0.252X_2X_3 + 0.583X_3^2 - 0.0537X_3X_4 - 0.0789X_4^2$$

$$K = 2.536 + 0.148 X_1 + 0.3 X_2 - 0.648 X_3 + 0.0865 X_4 - 0.876 X_1^2 + 0.255 X_1 X_2 + 0.215 X_1 X_3 + 0.0908 X_1 X_4 + 0.249 X_2^2 - 0.00594 X_2 X_3 + 0.0733 X_2 X_4 - 0.257 X_3^2 + 0.0972 X_3 X_4 + 0.362 X_4^2 \quad (3)$$

– за LNM 420 FM;

$$B = 5.6486 + 07628 X_1 + 1.297 X_2 - 1.416 X_3 - 0.1061 X_4 - 0.05479 X_1^2 + 0.052 X_1 X_2 - 0.3108 X_1 X_3 - 0.08426 X_2^2 - 0.36 X_2 X_3 + 0.9506 X_3^2 + 0.09435 X_3 X_4 - 0.3834 X_4^2 \quad (4)$$

$$H = 2.389 + 0.7845 X_1 - 0.247 X_2 - 0.908 X_3 + 0.2429 X_4 + 0.06129 X_1 X_2 - 0.2114 X_1 X_3 + 0.2278 X_1 X_4 + 0.2506 X_2^2 + 0.02067 X_2 X_3 - 0.1036 X_2 X_4 + 0.489 X_3^2 \quad (5)$$

$$K = 3.0792 - 0.41 X_1 + 0.3795 X_2 - 0.713 X_3 + 0.1016 X_4 - 0.3785 X_1^2 + 0.1675 X_1 X_2 + 0.1924 X_1 X_3 - 0.1328 X_1 X_4 - 0.03909 X_2^2 - 0.1415 X_2 X_3 + 0.1195 X_2 X_4 - 0.1155 X_3 X_4 - 0.3536 X_4^2 \quad (6)$$

В значително по-голям интервал на вариране със стойности на напрежението по-големи от 22 V, стойности на заваръчния ток надвишаващи 200 A и скорости до 0.55 m/min, с електродната тел FLUXOFIL 56 се наваряват шевове с широчина около 9 mm. При тези режими обаче височината на шева за този електроден материал не е повече от 2.5 mm.

Покрития с по-голяма дебелина до 4 mm при отбелязания диапазон могат да се реализират с LNM 420 FM.

Съществени различия между изследваните електродни телове се установиха при анализ на визуалната оценка на качеството на шева при различните технологични параметри. След провеждането на експеримента беше проведено експертно оценяване на външния вид на шева по тристенната скала и на тази база бяха изведени регресионните зависимости (3) и (6).

С електродната тел LNM 420 FM се постига значително по-добро качество на наварените шевове при използвания диапазон от технологични режими.

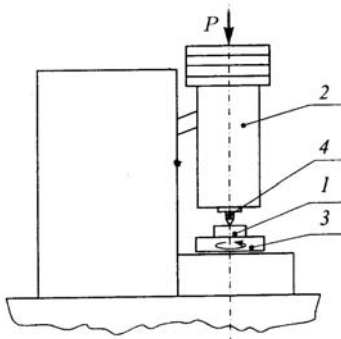
От направеното изследване [6], могат да се определят препоръчителни режими за конкретните електродни материали FLUXOFIL 56 и FLUXOFIL 58, в зависимост от изискванията на потребителя,

Въз основа на това изследване е определен оптимален технологичен режим по отношение на производителност и качество, описан чрез параметрите:

- сила на тока – 250 А;
- напрежение на дъгата 21 V;
- и скорост на наваряване до 0.28 m/min .

3. Износване в условия на твърдозакрепен абразив

Проведено е експериментално изследване на износването на образци от два вида покрития LNM 420 FM и FLUXOFIL 56 по ускорена методика в условия на твърдо закрепен абразив с устройство по схемата „индентор – диск“ (фиг.1).



Фиг. 1

Инденторът представлява цилиндричен образец 1 с изследваното покритие, подходящо закрепен неподвижно в натоварващата глава 2. Челната повърхнина на образца 1 контактува с абразивната повърхнина на хоризонтален диск 3 (противотяло), който се върти с определена скорост.

Нормалното контактно натоварване се осигурява в масовия център на образца и се задава посредством лостова система на устройството.

Устройството позволява изменение на средната скорост на плъзгане чрез промяна на оборотите на въртене на диска от управляващия блок и чрез изменение на местоположението на контката в радиално направление.

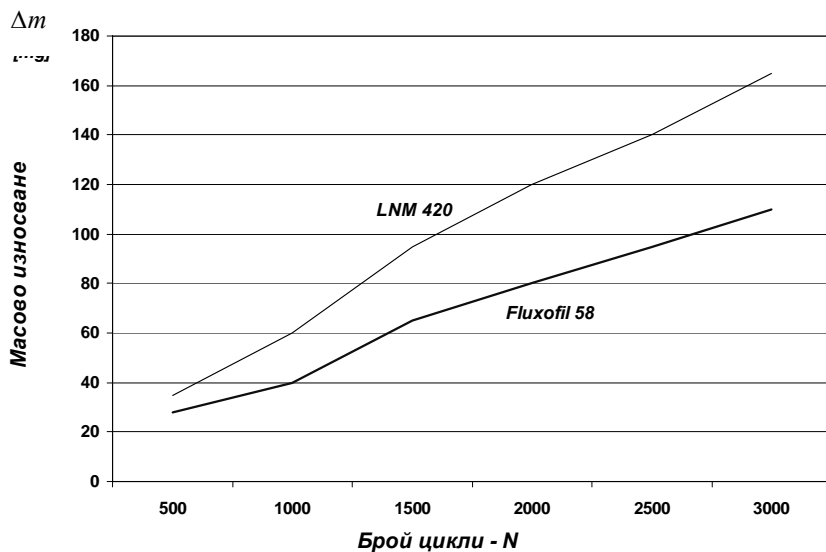
Абразивната повърхнина се моделира чрез импрегниран корунд с определени характеристики – твърдост 60% по-висока от тази на изследвания материал и едрина на зърната. Абразивната повърхнина се подменя с нова при всяко измерване, с което се гарантират еднакви начални условия на взаимодействие между образца и повърхнината.

Методиката е съгласувана с изискванията на действащите стандарти [8]. Изследването е проведено в научно-приложната лаборатория „Трибология“ – катедра „МТМ“ – ТУ - София [9].

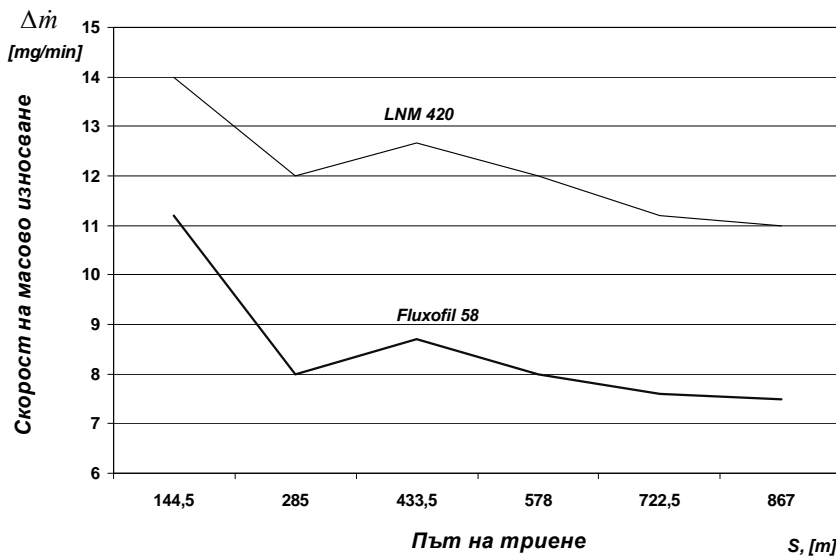


Фиг. 2

На фиг. 3 и фиг. 4 са представени резултати за изменението на масовото износване и скоростта на износването на покритията от пътя на триене.



Фиг. 3



Фиг. 4

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основните приноси в настоящата разработка се свеждат до:

- получени са по три регресионни уравнения за двата изследвани електродни материала, определящи влиянието на технологични фактора върху геометричните и функционални параметри на наварени покрития;

- получени са експериментални резултати за износването и скоростта на износване на покритията от броя цикли на триене (пътя на триене) в условия на твърдо закрепени абразивни частици;

- въз основа на проведеното изследване е определен оптимален технологичен режим за нанасяне на покритията по отношение на техните геометрични и качествени показатели.

Разработените математически модели и проведеното трибологично изследване позволяват да се направят препоръки и известни прогнози в зависимост от изискванията на потребителя, съобразно условията на експлоатация на покритията.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1]. Антонов В., Кехайов Й., Определяне на кинематичните параметри на режима на наваряване на ротационни детайли в среда от въглероден двуокис, *Русе, 1986*.
- [2]. Василев В., Технология на възстановяването на детайли, *Русенски университет "Ангел Кънчев", 1996 г.*
- [3]. Рябцев И.А., В.Н. Кондратьев, Механизированная электродуговая наплавка деталей металлургического оборудования, *Киев, 1999*.
- [4]. Тончев Г., Съвременни технологии за възстановяването на детайли, *Русе, 1986*.
- [5]. Вучков И., Идентификация на експериментални изследвания, *Техника, София, 1990*.
- [6]. Тончев Н., Н. Кемилев, Ал. Монов, Прилагане на метода на Тагучи в областта на наваряването в газови смеси с тръбни телове. *IV Международна научна конференция „Транспорт 2004“ стр. 297-300*.
- [7]. Кандева М., Триботехнологии за възстановяване на износени детайли, *Сб. доклади на межд. конференция „Машини, технологии, материали 2006“, С. 2006, с. 40-43*.
- [8] **БДС 14289-77**, Метод за изпитване на абразивно износване при триене върху закрепени абразивни частици
- [9] Кандева М., Изследване и окачествяване на износоустойчиви покрития, *Сб. доклади на 25 Юбилейна научна конференция с международно участие МТФ '2007, Созопол, 2007, ТУ-София, с. 215-220*.

ОСОБЕНОСТИ НА ПРОЦЕСА КАЛАНДРИРАНЕ ПРИ ПРОИЗВОДСТВО НА ЛИСТОВЕ ОТ ТЕРМОАКТИВНИ ПЛАСТМАСИ

Т. Пенчев, Д. Карастоянов

tzpenchevi@abv.bg dimikara@abv.bg

*Централна лаборатория по мехатроника и приборостроене, БАН
1113 София, ул. "Акад. Г. Бончев" бл. 2*

SPECIFY OF THE PROCESS CALANDRING BY THE PRODUCTION OF THERMO-REACTIVE PLASTIC SHEETS

T. Penchev, D. Karastoyanov

Abstract: *The design reveals the essence of the process of kalandirane and its merits in terms of rapid wear of the rollers. In particular looking at issues related to the impact of the distribution of contact pressure, speed and contact on clearance process kalandirane, friction and wear.*

The paper is sponsored by NSF Grant No D002-13/2009.

Key words: *calendering, renovation, shafts, wear, Tribology*

1. Въведение

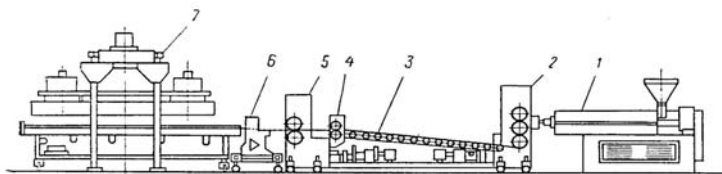
Процесът на каландриране представлява пропускане на предварително подготвен материал между валове, до получаване на безкраен лист с регулирана дебелина и ширина. Предварителната подготовка на материала се състои от смесване на отделни компоненти, загряване или разтопяване до получаване на вискозна маса. Машините, които се използват в процеса „каландриране“, се наричат **каландри**. Те намират приложение при преработване на пластмаси, получаване на хартия и картон, в текстилната промишленост, за получаване на синтетична кожа, ламиниране на пластмаса и хартия.

В резултат на триенето каландровите валове се износват и периодично се подлагат на ремонтни операции, които включват: сваляне на старото

износоустойчиво покритие и нанасяне на ново покритие, обработване за получаване на голяма гладкост, балансиране и измерване. Тези ремонтни технологии изискват специализирани машини и стандове, поради което се осъществяват в няколко завода в рамките на Европейската общност. На Балканския полуостров няма подобно предприятие, което води до големи разходи при ремонт на каландрови валове от страните в този регион.

2. Особенности на процеса каландриране при производство на листове от терморезактивни пластмаси

Технологичните линии за получаване на листове и фолии от термопластични пластмаси се различават съществено. На фиг.1 [2] е показана структурата на линия за производство на листове, а на фиг. 2 [2] - структурата на линия за производство на фолио от термопластични пластмаси. Най-съществената разлика при двата процеса е, че дебелината на листовите се определя от разстоянието между каландровите валове, докато дебелината на фолиото се получава чрез регулиране канала за изтичане на пластмасата от дюзата 2 на екструдера 3 - фиг. 4.

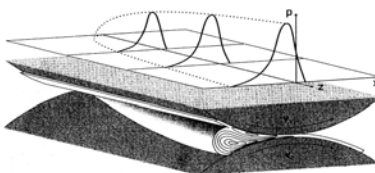


Структурна схема на линия за производство на листове:

1- екструдер; 2 – каладър; 3 – ролганг за охлаждане на листа; 4 – устройство за надлъжно отрязване; 5 – изтеглящи валове; 6 – гилотинна ножица за напречно отрязване; 7 – ступелиращо устройство-во

Фиг.1.

На фиг.2 [3] е представена тримерна картина на изтичане на термопластична пластмаса между каландрови валове. Вижда се, че преди входа в хлабината между валовите материалът се събира и се разпределя неравномерно по дължината на вала.

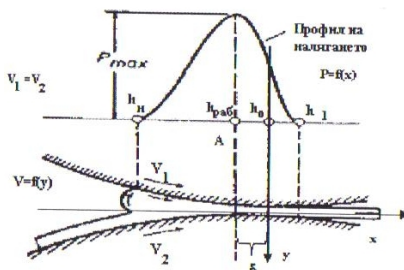


Тримерно представяне на изтичането на материала между каландрови валове и разпределението на вертикалните сили, действащи върху тях (за половина-та дължина на вала)

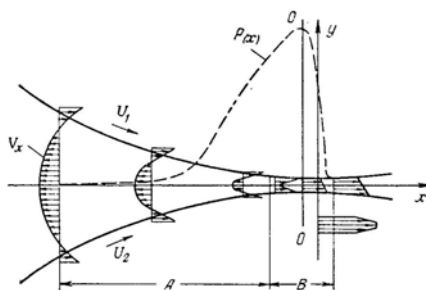
Фиг.2.

Поради това разпределението на възникващите нормално налягане P е неравномерно по дължината на вала, като за средата по дължина стойността на вертикалната сила е най-голяма и постепенно намалява към края на вала. Важна особенност е, че максималната сила действащи върху вала се получава не в най-тесната част на междината, а малко преди нея.

На фиг. 3 [4] е показана по-подробно диаграмата за изменение на налягането P , действаща върху каландровите валове. Максималната стойност P_{max} се получава в сечение A , на разстояние δ от най-тесната хлабина между валове h_0 . Разстоянието между валове в сечение A се означава като $h_{раб}$.



Разпределение на налягането действащо върху каландрови валове
Фиг.3.

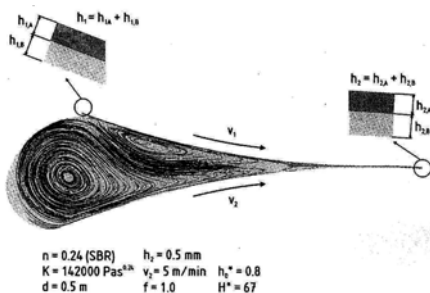


Разпределение на скоростите при преминаване на материала между каландрови валове
Фиг.4.

Изменението на скоростите в материала е представено на фиг.4 [5]. Вижда се, че в сечение A скоростите са почти еднакви. В най-тесната хлабина, на разстояние δ от A , скоростта на движение на материала е най-голяма и се разпределя по параболичен закон.

За получаване на качествени листове значение има и топлинния режим на процеса. Материалът постъпва в хлабината между валове с определена температура, като със същата температура са нагрети и валове. Поради дисипация на механичната енергия е възможно в малки области да се получи повишаване на температурата до стойности, при които материа-

лът се разлага. При излизане на материала от валовете, тези области попадат върху повърхността на листа във вид на тъмни точки (петна) и влошават качеството на листа. Установено е [3], че най-голямо локално загряване на материала се получава в най-малката хлабина h_0 между валовете, в близост до горния вал, където действат максимални тангенциални напрежения.



Зони на разместване на материала в процеса на каландриране
Фиг.5.

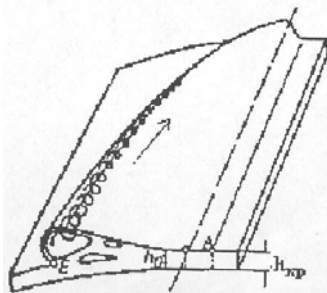
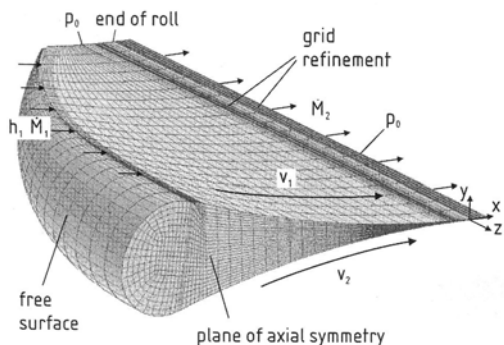
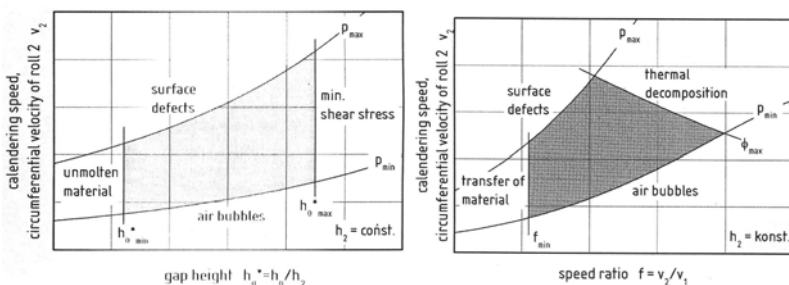


Схема на образуване на въздушни мехурчета в материала при каландриране
Фиг.6.

На фиг.5 [3] е показана картина на процеса на разместване на материала в околността на двата вала. Горният вал 1 формира собствена област от материала, докато долния вал 2 поема материала от набраната маса пред валовете. В резултат на различните скорости на движение на материала в тези две области, по тяхните граници се получава вътрешно триене, което оказва влияние върху параметрите на процеса и върху формирането на два слоя А и В (фиг.8). Освен това се създават условия за проникване на въздух и образуване на въздушни мехурчета в оформеният лист – фиг. 6 [4].



3-D модел с МКЕ на изтичане на материал между каландрови валове
Фиг.7



Прозорци за бездефектно производство: h_0, h_2 – начална и крайна височина на обработвания материал; V_1, V_2 – периферна скорост на горен и долен вал
Фиг.8.

В редица публикации [3], [6], [7], [8], [9], [10] се изследват разгледаните по-горе особености на процеса каландриране на пластмаси, чрез моделиране на процеса с Метода на Крайни Елементи (МКЕ).

На фиг. 7 [3] е показан 3-D модел на изтичания между валовите материал, получен с МКЕ. В резултат от моделираето се определят температурно-скоростно-силовите параметри на процеса, при които ще се получат листове без дефекти (тъмни петна или въздушни мехурчета). На фиг.8 [3] са показани т.н. „прозорци за бездефектно производство”, които са ограничени от две изобари P_{max} и P_{min} .

Технологичният процес за получаване на листове от термореактивни пластмаси включва операцията термообработване, която обикновено е след надлъжното обрязване на безкрайния лист. За целта листа преминава през пещ или между нагрят до необходимата температура валове. Термообработването има за цел да премахне остатъчните вътрешни напрежения в получените листове.

3. Особенности на процеса каландриране при производство на листове от еластомери

Технологичният процес при производство на листове от еластомери включва следните операции: смесване на компонентите, екструдирание, каландриране и вулканизирание.

Процесът на смесване се осъществява при температура около 140⁰C и има два етапа [11]:

- дисперсионно смесване, при което се осъществява намаляване еднината на частиците и следващото им интегриране в гумената матрица;
- дистрибутивно смесване, при което се постига равномерно разпределение на комплекса от частици в матрицата.

За осъществяване на дистрибутивно смесване се използват смесители тип Банбъри (Banbury mixer), при които се използва т.н. „технология за тангенциално смесване” (tangential mixer technology).

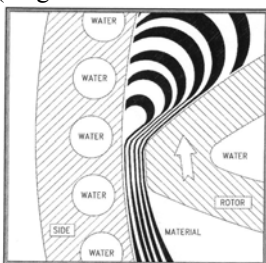


Схема за работа на тангенциален смесител тип Банбъри

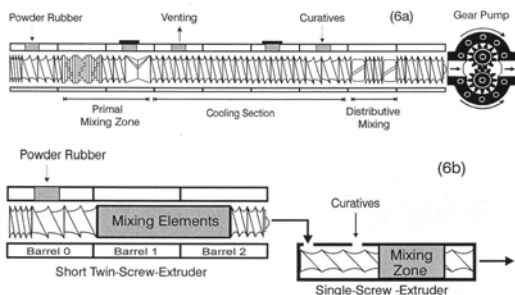
Фиг.12.

На фиг.12 [11] е показана схема на работа за смесител от този вид. Раздробяването на компонентите и смесването им с матрицата се осъществява под действие на тангенциални напрежения, които възникват поради различните периферни скорости на ротора и неподвижната стена на смесителя.

На фиг.13 [12] е показана комбинирана конструкция на смесител и екструдер, с възможност за последователно осъществяване на двата вида смесване – смесител с непрекъснато действие.

Причината за това е наличие на големи опънови напрежения поради разтягане на сместа в ускорителното поле при входа на валове. В резултат се формира нехомогенно поле на налягане в горния слой на течението (фиг.8), както в посока на стесняващия се канал, така и по ширина на валове. Част от мехурчетата продължават да се движат в стесняващия се канал между валове. Малко преди най-малката хлабина мехурчетата внезапно спират, което се нарича „ефект на Уеблер” (Uebler effect) [13]. Този ефект е свързан с наличие на допълнителни сили, които се стремят да изхвърлят мехурчето на повърхността на течението. В мястото където масовата сила, съпротивителната сила от триене и силата за изхвърляне на ме-

хурчето на повърхността се уравниават, движението на мехурчето се преустановява, което се означава като „идеален ефект на Уеблер” [13].



Конструктивна схема на смесител с непрекъснато действие
Фиг.13.

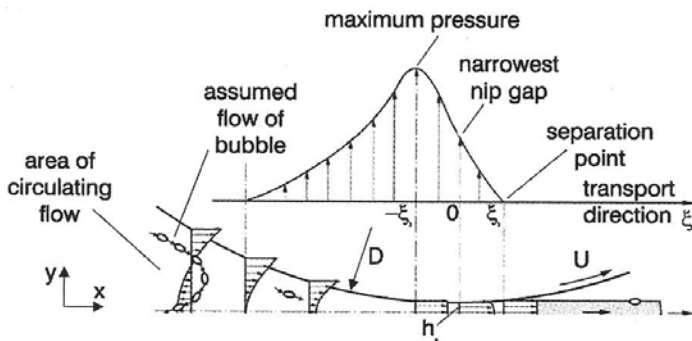
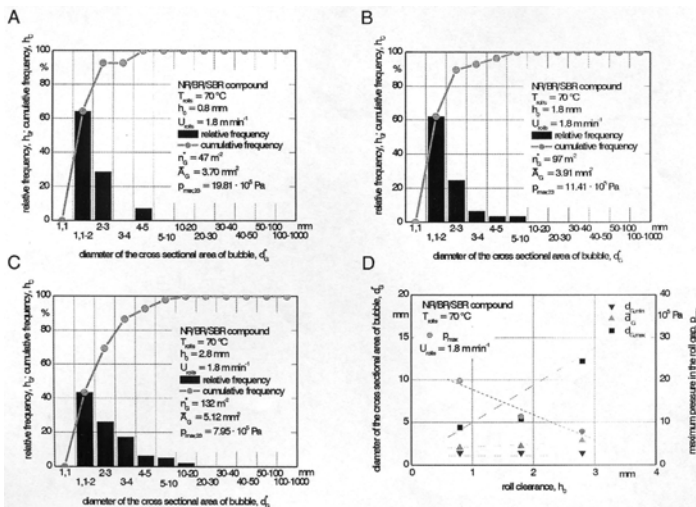


Схема на течението между валовите при каландриране на гумени листове
Фиг.14.

На фиг.15 [13] са показани диаграми за разпределение на въздушните мехурчета по големина, в зависимост от h_0 . Вижда се, че големината на мехурчетата е в границите на 1-20 mm, като най-голямо количество са тези с размери 1-3 mm. При увеличаване на h_0 до 2.8 mm количеството на мехурчетата с малки размери намалява, за сметка на появяване на мехурчета с големи размери – 10-20 mm.

Както при каландриране на термопластични пластмаси, максималното налягане P_{max} е на разстояние $-\xi_s$, където ξ е безразмерна координата по посока на остта x [$\xi = x/(Dh_0)^{1/2}$]: D е диаметърът на валовите, h_0 – най-малката височина на канала между валовите. Както се вижда от фиг.14 разпределението на налягането по дължина на канала е по сложен закон, вида на който зависи от множество фактори: температура на материала, вид на каландрираната вискозна смес, периферна скорост на каландровите валове, диаметър на валовите и големина на h_0 [13], [14], [15].



Разпределение големината на въздушните мехурчета в зависимост от разстоянието между валове h_0 : A - $h_0 = 0.8$ mm; B - $h_0 = 1,8$ mm; C - $h_0 = 2.8$ mm; D – обобщена диаграма

Фиг.15.

На фиг.16 са показани диаграми за изменение на максималното налягане P_{max} в зависимост от тези фактори [13], [16]. Температурното поле в хлабината между валове не е еднородно и се влияе от отделяната топлина в процеса на деформация. Тази топлина се получава в резултат на дисипация на механичната енергия и превръщането ѝ в топлинна. Математическият модел на неизотермичен процес на каландриране се изгражда с използване на уравненията на движение, уравнения за непрекъснатост, уравнения за топлопроводност, уравнения за реологичното състояние, както начални и гранични условия [17]:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{\partial P_{xy}}{\partial x}$$

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$$

$$p_{xy} = \mu_0 e^{(T_0 - T)} b \left| \frac{\partial v_x}{\partial y} \right|^{1/n} \text{sign} \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

$$\rho c_p v_x \frac{\partial T}{\partial y} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + A p_{xy} \frac{\partial v_x}{\partial y}$$

Литература

1. www.xtekinc.com
2. Переработка пластмасс, Справочник, Л., Химия, 1985, 287 с.
3. S.Luter, D.Mewes, Theoretical study of operating limits for the calendaring process, *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 2005, № 4, pp.149-145.
4. П.Велев, Преработване на пластмаси, ХТМУ, София, 2005, 248 с.
5. Торнер Р.В., Основные процессы переработки полимеров, М., Химия, 1982, 454 с.
6. T.A.Oswald, J.P.Hernandez-Ortiz, Polymer processing, Modelling and simulation, Hansen Ferlag, Munchen, 2006.
7. C.Kiparissides, J.Vlachopoulos, Finite element analysis of calendaring, *Polim. Eng. Sci.*, 16,1976, pp.712-719.
- 8 R.Zheng, R.I.Tanner, A numerical analysis of calendaring, *J. Non-Newtonian Fluid Mech.*, 28, 1988, pp.149-170.
9. D.Mewes, S.Luther, K.Reist, Simultaneous simulation of roll deformation and polymer flow in the calendaring process, *Intern. Polym. Proc.*, 17, 2002, pp.339-346.
10. Luther S., Mewes D., Three-dimensional polymer flow in the calendar bank, *Polym. Eng. and Sci.*, 44,9, 2004, pp.1642-1647.
11. L.Pomini, M.Jacobi, Intermeshing rotors with variable clearance to mix compounds, *Kautshuk Gummi Kunststoffe*, 54, 12, 2001, pp. 684-687.
12. A.Amash, M.Bogun, R.Schuster, Progress and concepts for the continuous mixing process of NR compounds, *Kautshuk Gummi Kunststoffe*, 55, 7-8, 2002, pp.367-372.
13. J.Frydel, D.Mewes, S.Luther, R.H.Schuster, Rubber sheets calendaring, *Kautshuk Gummi Kunststoffe*, 61, 6, 2008, pp.286-293.
14. F.Röthemeyer, F.Sommer, *Kautschuktechnologie*, Hanser, München, 2001.
15. J.Schnetger, *Kautschukverarbeitung, Verfahrenstechnische Grundlagen und Praxis*, Vogel Buchverlag, Würzburg, 1998.
16. J.M.McKelvy, *Polymer Processing*, John Wiley and Sons Inc., New York, 1962.
17. Торнер Р.В., Теоретические основы переработки полимеров, Москва, Химия, 1977.
18. Колер К., Воскресенский А.М., Красовский В.Н., Ререр Э., Интенсификация процессов каландрирования полимеров, Ленинград, Химия, 1991.
19. K.Mosbacher, Ein lasersystem überwacht die rollwulst beim kalandrieren, *Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 52, 10, 1999, pp.634-635.

ПРИЛОЖЕНИЯ НА ВИСОКОСКОРОСТНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ /HVOF И ПЛАЗМА/ ПРОЦЕСИ ЗА НАНАСЯНЕ НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВИ ПОКРИТИЯ. ЗАЩИТА ОТ КОРОЗИЯ И ЕРОЗИЯ ПРИ ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ

Илиян Пейчев

"Шумен пътнически автотранспорт" ООД, звено „Високотехнологични покрития” E-mail: gma_vtp@abv.bg

APPLICATION OF HIGH-SPEED TECHNOLOGICAL PROCESSES /HVOF И ПЛАЗМА/ FOR THE LAYING OF WEAR-RESISTANT COATINGS. PROTECTION OF CORROSION AND EROSION IN ELECTRIC POWER PLANTS

I. Peychev

РЕЗЮМЕ: При определяне на границите за практическо използване на HVOF и Плазма термично депонирани покрития трябва да изходим от предимствата и недостатъците на тези процеси. Революционната способност на съвременната индустрия напълно да модифицира качеството, характеристиките и поведението на промишлените си машини и оборудване чрез добавяне на най-съвременни постижения от "Инженерство на повърхности" – води до получаването на най-добри повърхностни характеристики касаещи съкратените разходи при поддръжката.

ПРЕДИМСТВА НА ДЕПониРАНОТО ПОКРИТИЕ ЧРЕЗ HVOF И ПЛАЗМА ПРОЦЕС:

- Ниско топлоотдаване. С малки изключения, процесът на термично депониране не влияе върху термичните свойства на детайла;
- Многообразието от метални сплави, металокерамика и керамика води до избор на сплав с по-добри качества отколкото оригиналният материал на детайла /съоръжението/;
- Износоустойчивост – благодарение на използваната сплав може да се променя в големи граници;
- Корозионно устойчивост;
- Термоустойчивост;

- Създаване на покрития използвани като топлозащитни;
- Високопроводими и непроводими;
- Самонагаждащи така и абразивни;
- Могат да образуват повърхностна текстура;
- Притежават каталитични и протезивни свойства;
- Подходящи са за възстановяване на размер;
- Могат да копират сложни повърхности;

ДРУГИ ПРЕДИМСТВА:

- Порьозността на покритието -В някои случаи играе роля на смазочен компонент, където се използва масло за смазване /маслен джоб/ - удължавайки живота многократно;
- Окисите в покритието

Повишават твърдостта и подобряват износоустойчивостта;

- Използването на самофлюсоваци сплави за покритие

Процеса на сплавяне обезпечава маталургично свързване на субстрата с покритието, висока адхезия между частичките в покритието и много ниска степен на порьозност;

- Увеличаване на ресурси на детайла 4-6-8 и повече пъти;
- Многообразието на методите за депониране

Води до предлагане на креативни решения при възстановяването на детайлите, предотвратяване на износването и корозионна защита;

- Депониране /преносимо, подвижно/ направо на работната площадка;

ФАКТОРИ ОКАЗВАЩИ ВЛИЯНИЕ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВИДА ДЕПОНИРАНО ПОКРИТИЕ:

- Цената;
- Ресурсът;
- Корозията;
- Свойствата на контактната повърхност;
- Ефектът от въздействието на процеса върху материала на субстрата;
- Профилът или гладкостта на повърхността;
- Температурата;
- Смазването;
- Абразивите;
- Товарът и скоростта;
- Ударните натоварвания или умората;
- Дали материала е закален;
- Честотата и ъгъл на атака;
- Нисък коефициент на триене;
- Ниска порьозност;

ДРУГИ СПЕЦИФИЧНИ СВОЙСТВА:

- Теплоизолационни или топлопроводими;

- Ел. проводници или изолатори;
- Да са немагнитни;
- Специален повърхностен профил;
- Самонагаждащи се (напасват спрямо контактната повърхност);
- Да са абразивни (т.е. да износват или задържат контактната повърхност);
- Да имат много нисък коефициент на триене или незалепващи свойства;

НЕДОСТАТЪЦИ НА HVOF и ПЛАЗМА ПРОЦЕС:

Порьозност

1. При термично депонираните покрития в зависимост от процеса се получава определен процент от 0.5 до 20% порьозност вследствие на което влагата или други корозиращи течности от работната среда могат да проникнат между порите на покритието и да кородират или атакуват материала на основата.
2. Порьозността е пагубна по отношение на:
 - Корозионната устойчивост;
 - Повърхностната им обработка (гладкост);
 - Якостта, микротвърдостта и износоустойчивостта;
3. Порьозността е положителна за:
 - Смазването – порите играят роля на маслен джоб;
 - Подобряване на топлоизолационните свойства;
 - Намаляване на напреженията и увеличаване на допустимата дебелина на покритията;
 - Подобряване на удароустойчивостта;
 - Подобряване на самонагаждането при приложения с контрол на просвета;
4. Порьозност 0.5÷20% се счита за нормална за някои приложения, но в някои случаи може чрез допълнително контролиране и изменения на параметрите в процеса на депониране да се намали значително.
5. Порьозността не съществува при вакуум плазма процес и сплавени HVOF покрития.

Окисление

Повечето метални покрития страдат от окисление при нормално депониране във въздушна среда. Окисите по принцип са значително по-твърди от самия метал. Покритията с високо съдържание на окиси са обикновено по-твърди и по износоустойчиви.

Окисите играят отрицателна роля върху корозионната устойчивост, якостта и последващата обработка на покритието /за гладкост/.

Повърхностна текстура

По принцип покритията върху детайла са груби и с текстура. Грубите покрития с висока якост на свързване са идеални за междинни свързващи пластове при покрития с по-малка якост на свързване.

Термично депонираните покрития не водят до образуването на блестяща и гладка повърхност без допълнителна обработка.

Якост

Покритията по принцип имат малка якост, ниска устойчивост на пластична деформация и слаба устойчивост на удар. За това е необходимо съчетаване на процесите.

Покритията сами по себе си нямат висока носимоспособност и затова се нуждаят от субстрата, който играе ролята на опора, но дори и тогава покритията си остават слаби при точково натоварване. Вътрешните напрежения на опън в покритието като цяло се отразяват отрицателно върху свойствата му. Ефективната якост на свързване намалява и при нарастване на вътрешните напрежения, може да доведе до разрушаване на покритието. Това от своя страна повлиява допустимите му дебелини.

Покритията по външните диаметри могат да се напластяват до по-голяма дебелина, в сравнение с тези по вътрешните диаметри.

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. ПОВЕЧЕТО ПОКРИТИЯ СПАДАТ КЪМ ЕДНА ОТ СЛЕДНИТЕ КАТЕГОРИИ:

- КАТЕГОРИЯ 1:** Износване породено от фрикционно триене
- КАТЕГОРИЯ 2:** Износване породено от кавитация
- КАТЕГОРИЯ 3:** Износване породено от корозия предизвикано от химични високо агресивни вещества в течна или газова /високотемпературна форма/
- КАТЕГОРИЯ 4:** Износване породено от ерозивно и абразивно въздействие

ПРИЛОЖЕНИЯ:

ДИМЕН ВЕНТИЛАТОР



КРАТКА ХАРАКТЕРИСТИКА:

Предназначение: Образуваните при изгарянето на горивото /въглища/ димни газове се очистват от пепелта в специални пепелуловители и чрез Димния вентилатор постъпват в комина.

Устройство - съоръжение състоящо се от: корпус; работно колело с работни лопатки; дифузьор; лагерни зъби и тръби.

Износването е причинено от високата скорост на въртене и контакта със средата /пепел и газове/ се получава износване по целия вътрешен диаметър на Димен вентилатор, особено много по работното колело с работните лопатки и дифузьорите. :

- Химична корозия от средата преминаваща в киселинна корозия;
- Абразивно износване от частиците на средата;
- Кавитационни процеси;

КОТЕЛНИ ТРЪБИ ОТ ДРЧ НА КА НА ПЕЩНИ КАМЕРИ ОТ ПАРНИ КОТЛИ ЗА ЗАЩИТА ОТ ТЕРМИЧНА КОРОЗИЯ И ВИСОКОАБРАЗИВНО ИЗНОСВАНЕ.



КРАТКА ХАРАКТЕРИСТИКА НА КОНСТРУКЦИЯТА НА ПАРЕН КОТЕЛ /ПЕЩНА КАМЕРА/.

Конструктивно камерната пещ в електроенергетическата централа е свързана с парогенератора като едно цяло в технологията за производство на електроенергия. Тя има задача да осигури пълно изгаряне на горивото /въглищата/ и охлаждане на димните газове до температури, които са безопасни за процеса шлаковане на нагряните повърхности. Размерите зависят от паропроизводителността на парогенератора и са в порядък: широчина – $7 \div 20$ м; дълбочина – $6 \div 15$ м; височина – $15 \div 45$ м; Стените на камерите са покрити с екрани от изпарителни тръби, долната част е оформена като студен конус /ДРЧ – долна радиационна част/, където T° са по-ниски от основната и горна част на пещната камера.

В ДРЧ се наблюдават два процеса на износване дължащи се на:

- Температурна корозия на тръбите вследствие процеса горене на въглищата;

Работната T° на повърхността на тръбите на котела /370-650 $^\circ$ /, често е твърде ниска за да позволи образуването на ефективен окисен пласт, независимо дали има или няма отложения. Химическата активност от про-

песа “горене” създава на места разтопена шлака, която от своя страна образува бързо нарастваща плака и предизвиква локална T° корозия.

- Абразивно износване на котелните тръби;

Стурийните частици, които попадат от зоната на горене в ДРЧ, където T° са по ниски се втвърдяват падайки на изхода на камерната пещ и предизвикват процеса на износване – абразия върху котелните тръби в ДРЧ, което предизвиква повреда по тръбите дължащи се на износване на стените от абразия и пробиви от температурна химична корозия.

ШНЕКО ШЛАКО ОТДЕЛИТЕЛ /ШШО ЗА КА/



КРАТКА ХАРАКТЕРИСТИКА:

Образуването при изгарянето на горивото /въглища/ в Пещна камера сгурия падайки в основата на пещната камера се транспортира чрез Шнеко шлако отделител с дробилка до сгуропепело извозването.

Предназначен за транспортиране на сгурията от основата на Пещната камера до съоръженията за отвеждане на сгурията в сгуропепело извозването.

Вследствие на работата на ШШО в тежки условия от средата се получава голямо износване, вследствие триенето от сгурията по периферията и навътре на спиралата на шнека и отбоен диск. Износването се дължи на абразия, ерозия и корозия.

ПАРНИ ТУРБИНИ



През последните няколко години се полагат огромни усилия за удължаване на междуремонтния ресурс и жизнения цикъл на парните, газовите и водните турбини.

Нашият производствен опит до сега ни е убедил, че върху турбината трябва да бъде нанесено покритие понеже:

- Покритието удължава живота на турбината почти двойно.
- Няма нужда от ремонт и дълги престои за обслужване.
- Пести се време, тъй като работите се извършват на място.
- Цената е много по-ниска от закупуването на нова турбина

Частите, които обикновено биват обработвани в процеса са:

- Повърхностите на вътрешния кожух на турбината
- Разделителните прегради на кожуха
- Съединителните повърхности на направляващия апарат на турбината.
- Направляващите за парата.
- Паропроводите, свързани с турбината
- Парните клапани и части
- Лагерите и уплътненията на вала на ротора
- Бабитните лагери



СЪСТОЯНИЕ И АКТУАЛНИ ВЪПРОСИ НА ТРИБОКВАЛИМЕТРИЯТА В ОБЛАСТТА НА ИЗНОСОУСТОЙЧИВИТЕ ПОКРИТИЯ

М. Кандева,
kandeva@tu-sofia.bg

Д. Карастоянов
dimikara@abv.bg

*Научно-приложна лаборатория „Трибология”-ТУ-София
1797 София, бул. „Климент Охридски” 8, бл.3
Централна лаборатория по мехатроника и приборостроене, БАН
1113 София, ул. “ак. Г. Бончев” бл. 2.*

STATE AND ACTUAL PROBLEMS OF TRIBOQUALIMETRY IN THE FIELD OF WEAR- RESISTANT COATING

M. Kandeва,

D. Karastoyanov

***Резюме:** В доклада се прави системен анализ на съществуващите подходи, концепции и модели в областта на износването и износоустойчивостта на покритията. Отражена е гледната точка на авторите по отношение на недостатъците на действащите подходи, методи и стандарти в областта на трибоквалиметрията на износоустойчиви покрития.*

Разработката е спонсорирана по договор с НФНИ-МОН № Д002-13/2009 г.

***Ключови думи:** трибология, износоустойчивост, износване, покрития*

В настоящия етап на развитие на трибологията трибометрията се явява основен източник за получаване на информация за триботехническите показатели на контактните системи.

В последните години все повече нараства значимостта на лабораторните изпитания, които за разлика от триботехническите изпитания в експлоатационни условия не са толкова трудоемки и продължителни във времето. Те позволяват в голяма степен да се променят условията и факторите, влияещи върху поведението на трибосистемата.

Настоящата работа има обзорен характер и има за цел да проследи и анализира някои специфични особености на съществуващите подходи,

стандартизирани и нестандартизирани методи и методики за окачествяване трибологичните характеристики на материали и покрития.

Трибоматериалите и триботехнологиите за получаване на контактни повърхнини непрекъснато растат и се развиват през последните години и това води до острата необходимост от систематизация на информацията, получена с инструментариума на трибометрията; организация на база данни и експертни системи. При създаване на база данни винаги възниква въпроса за съпоставимост на резултатите, получени от различните експериментални изследвания.

Специфична особеност е, че в трибологията липсват инвариантни показатели, т.е. отсъстват независещи показатели от методите и режимите на тяхното определяне.

Съществува остра необходимост от разработване на единни научно-обосновани и свършени от техническа гледна точка методи и подходи на трибометрията.

Използват се различни устройства за триботестване, чиято номенклатура е достатъчно голяма, че вече е трудно да бъде обхваната. Много често се използват уникални устройства, произведени в единствен екземпляр и методики на изследване.

Сравняването на експерименталните резултати, получени от различни трибометрични устройства, е много трудно и в повечето случаи невъзможно. Причината за това е, че контактните процеси – триене, износване, мазане, контактна деформация, контактна проводимост, контактна пористост, контактна капилярност и др. са изключително чувствителни към влиянието на различни динамични фактори и такива на околната среда, включително еластичните и вибрационните характеристики на самата измервателна система.

Съществуващите стандартизирани методи за изпитания са ориентирани към конкретни обекти и области на използване на тези обекти. В тях са строго регламентирани условията на функциониране на трибосистемата и техният брой е значително ограничен.

В рамките на международен трибологичен проект VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) е проведено изследване, анализ, съпоставяне и унификация на използваните в световната практика методи за изпитване на триене и износване. Основните резултати и изводи на изследователския екип водят до следните констатации:

- количеството на съществуващите международни стандарти по трибология по същество е малко;

- Практически много малко от съществуващите стандартизирани методи в различните страни имат еднаква област на приложение и те често се допълват един друг;

- много методи по същество съвпадат, но имат различия в отделни елементи на методиката;

- съществуващите стандартизирани и нестандартизирани методи за лабораторни изпитания (с редки изключения) са предназначени основно за оценка на трибологичните характеристики на материали и покрития.

Нашият коментар към последния извод е, че би трябвало да се разбира оценка на едната страна във взаимодействието в контактната система – материал или покритие, а другата алтернатива (контратялото) се изключва. Казано по друг начин трибологичните характеристики – коефициент на триене, износване, износоустойчивост се приписват на изследвания материал (покритие) без да се отчита факта, че материалът контактува с определен партньор при някакви условия.

Във всяка методика по правило предварително се уговаря или въобще не се отчита начина на предварителната подготовка на повърхнината на изпитвания образец. По мнение на някои автори много съществен е въпросът за предварителното технологично въздействие върху изпитваната повърхнина, характеризираща се със съвкупност от геометрични и физико-механични параметри и свойства, които ще окажат съществено влияние върху контактните процеси в периода на изпитание.

Отсъствието на единен и нормализиран подход и методи за изпитване в трибологията е в основата на огромното многообразие от експериментални изследвания и несъпоставими резултати.

Различните схеми на контактуващите трибопартньори имат различни предимства и недостатъци. Например лабораторните изпитания на ротационни цилиндрични повърхнини в условия на гранично триене. Най-често в случая се използва схемата „вал-черупка (челуст)”, имитиращ най-разпространеното контактено съединение „вал-втулка”. Първо, няма единен подход при избор на материал за контратяло или за контактна двойка; обработката на повърхнината, избора на динамични условия – скорост, натоварване; избор на оборудване и схема на измерване, което води до получаване на несъпоставими данни. Тази схема има редица недостатъци, които влошават повтаряемостта на опитите. Изработването на черупката при изпитване по външната и вътрешна цилиндрична повърхнина е трудоемко и материалоемко. При изпитване е практически невъзможно да се осигури еднакво притискане (контакт) между черупката и цилиндричния вал, което води до значителен период на преработване, който в настоящите стандартизирани и нестандартизирани методики не е обект на изследване, напротив – целта е да се избегне и изключи в изпитанията. Както е известно периодът на преработване води н.до неравномерно и локално триене и износване, и в много голяма степен влияе върху процесите в стационарния режим на износване. Всички методики (с много малки изключения) са свързани с изследване и изпитания в стационарния режим на износване. Резултатите от изпитанията по тази схема в повечето случаи не могат да се приложат към реални трибосистеми и дават само качествена оценка.

По-голяма част от триболозите считат за по-целесъобразно изпитването на ротационни образци да се изпитват по схемата със съсредоточен контакт (контакт на Херц), при който се избягват посочените недостатъци. Образците са малкогабаритни, относително прости за изпълнение, позволяват точно позициониране и точно натоварване. Инденторите имат проста геометрична форма в качеството си на сменяеми триещи се елементи. Всичко това се отразява добре на възпроизводимостта на резултатите. Както показва анализа в литературата такива схема се използват много често, но те се реализират по такъв начин, че номиналната (контурна) контактна площ се променя в процеса на триене със степента на износването, което авторите отчитат като недостатък. Стремешът на изследователите е да се фиксират условията, да се впишат в определена рамка, която в реалната контактна ситуация не съществува, напротив контактът е най-динамичният променящ се елемент във всяка система.

В [7] се описва метод, при който в качеството на индентор се използва твърдосплавна ролка с точно фиксирани размери и се приема за идеално твърд и неизносващ се. Схемата, която се предлага позволява по-добро равномерно разпределено нормално натоварване в контакта и изключва периода на преработване на макроскопично ниво, чиято продължителност е по-голяма от тази на микроноиво, което от своя страна съкращава общата продължителност на изпитването. Приема се, че по тази схема изпитанията се провеждат практически при постоянни условия на триене и мазане, и постоянна непроменяща се геометрия на контакта. Изключва се факторът „контратяло“, чиито параметри са неизменни във времето за 1 цикъл.

Като основен принцип в съществуващите методи се утвърждава условието за възпроизводимост на резултатите при строго фиксирани условия, който противоречи на едно от фундаменталните свойства на контакта като динамичен елемент в трибосистемата. Самата невъзможност да се получи тази повтаряемост и възпроизводимост доказва неповторимостта на поведението на контакта на определено ниво. Във всеки момент контактните характеристики са израз на динамиката на взаимодействието между партньорите в трибосистемата.

Като „достатъчно надежден критерий“ за приключване на преработването и началото на стационарния период на износване се приема стабилизацията на коефициента на триене, интензивността на износването и температурата в определени граници [7].

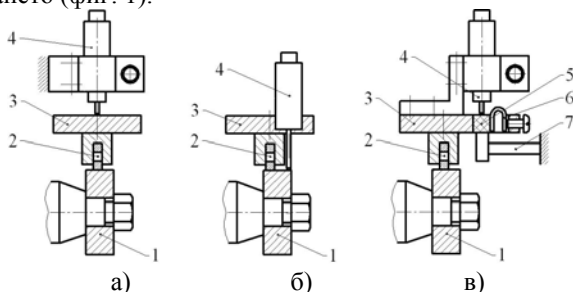
Методите за измерване на износването са регламентирани в съответните стандарти и условно се разделят на два вида: методи, при които износването се измерва в процеса на изпитване без да се сваля образеца и методи чрез снемане на образеца, т.е. разрушаване на контакта. Прилагането на втората група не позволява пълна автоматизация на процеса на изпитване. Основните му недостатъци са:

- увеличава се продължителността на изпитване;

- при всяко снемане на образеца се разрушава вече формирания контакт, настъпва повторно приработване, което увеличава преходния режим до установяване на стационарно износване. Тук трябва да припомним, че износването в преходния режим е значително по-голямо от износването в стационарен режим).

Към методите от първата група се отнасят спектроскопичните, радиометрични, пневмо-хидравлични и методи за измерване на сближаването между повърхнините. Спектроскопичните методи имат недостатъчна чувствителност, а радиометричните - са сложни и изискват скъпо оборудване. Пневмохидравличният метод в трибологията има много предимства в трибологията и основен принос и приоритет в неговото разработване принадлежи на Центъра по трибология към ТУ-София [6].

В [7] се прави анализ на изследванията в областта на методите за измерване на сближаването на износващите се повърхнини и се констатира усъвършенстване на последните. Тъй като контраятлото се приема безусловно за неизносващо се, то сближаването представлява линейното износване на образеца. Приема се, че съществуват условно 3 схеми за измерване на сближаването (фиг. 1).



Схеми за измерване на износването в процеса на изпитване

Фиг. 1

В първата схема в качеството (фиг. 1а) в качеството на измервателна база се използва работният плот на устройството. В този случай в измерваната стойност на линейното износване се включва и големината на топлинната деформация на образеца 1, на индентора 2 и на основата 3, както и големината на радиалното биене на образеца 1. Такава схема би била подходяща за измерване на сравнително голямо износване. Втората схема премахва посочените недостатъци. Тук в качеството на измервателна база се използва повърхнината на образеца 1. Обаче в случая накрайникът на датчика 4, който се плъзга по повърхнината, е подложен на износване, а също така и на влиянието на температурния фактор. Това внася допълнителни грешки и затруднения. Третата схема избягва недостатъците на първите две схеми. При нея основата, спрямо която се измерва линейното вертикално износване на образеца 1 и индентора 2, получава допълнително преместване, съвпадащо по направление и равно по абсолютна стойност с

преместването на образеца, предизвикано от радиалното биене и температурното разширение. При включване на задвижването образецът 1, инденторът 2 заедно с основата и датчикът за линейно преместване 4 извършват периодични премествания във вертикалната равнина с амплитуда равна на вертикалното биене. Компенсаторът 5 заедно с индентора 2 безпрепятствено се премества в горно положение, а не достига до ниско положение, срещайки по пътя си опората 7. В резултат на това той се премества спрямо индентора на стойност, равна на амплитудата на трептене, предизвикано от радиалното биене на образеца. Пружината 6 фиксира новото положение на компенсатора 5 спрямо индентора 2. В този момент се фиксира нулевото показание на датчика за линейно преместване 4. По аналогичен начин се компенсира и топлинното разширение на образеца. Така в регистриращия прибор не постъпва сигнал, предизвикан от радиалното биене и топлинното разширение на образеца. Разработеният нормализиран метод и автоматизирана система за изпитания при триене, и теоретичните изследвания се основават на класическата уморна теория на износването.

От направения литературен обзор могат да се направят следните констатации и изводи:

1. Действащите представи, модели, методи и стандарти за изследване и изпитване на износването и износоустойчивостта на повърхностни слоеве и покрития се основават на дисциплинния (частно-научния) подход. Характерно за дисциплинния подход към явленията на трибологията, в частност към износоустойчивостта, е редуцирането на контактните взаимодействия до определени устойчиви съотношения между причина и следствие във формата на закони. За разлика от механичните взаимодействия, трибологичните контактни взаимодействия се характеризират с една явно изразена неустойчивост – значителни флукутации между причина и следствие. Това произтича от фундаменталната същност на контакта като трети самостоятелен обект в трибосистемата, поддържащ нейната устойчивост. Този обект не е класически и опитът да се пренесат подходите на частните науки за описание на трибологичните феномени е всъщност опит да се стерилизира един по същество динамичен непрекъснато пулсиращ обект (процес). Опитът през последните години да се разработи мултидисциплинарния подход в трибологията се изразява в опит да се адаптира системният подход и термодинамичният подход на неравновесните системи към обекта на трибологията, който по-същество не решава проблема на трибологията.

2. Основен недостатък на съществуващите модели и методи е разглеждането на износоустойчивостта като характеристика само на покритието (повърхностния слой), т.е. на едната алтернатива в триединната трибосистема „покритие-контакт-противотяло”. Износването на един образец (покритие) при триене спрямо друго тяло (противотяло) е резултат не само от износването на образеца (покритието) или от износването на противотя-

лото, а е резултат от контактното взаимодействие между тях. Износоустойчивостта е характеристика на поведението на цялата контактна система, неделима част от която са и самото устройство за изследване, условията и средата, при които се провежда изследването. Тази е причината в трибологията да изобилстват много методики, уреди и устройства за изследване.

3. Недостатък на всички подходи, модели и методики е в това, че връзката между причинните фактори, предизвикващи износването, се разглежда като константа. Както е известно в трибологията се търсят режими, при които тези зависимости са близки до линейната. Това са т.н. стационарни режими. Това ясно се вижда в стандартизираните методи за изследване и изпитване на износоустойчивостта, в които се фиксират постоянни всички фактори и условия на изследване в стационарен режим – това е етапа след приработване на трибосистемата. Реалните трибосистеми работят в нестационарен режим на експлоатация.

4. Липсват единна теоретична трактовка и модел за износоустойчивостта на повърхностни слоеве и покрития. Няма разработен общ интегрален критерий и унифицирана методика за окачествяване на износоустойчивостта на покрития и повърхностни слоеве. Всички методики и устройства позволяват изследване и определяне на износоустойчивостта при едни или други динамични фактори и условия на средата, например абразивно износване със закрепен абразив, със свободен абразив, с газова струя, носеща абразивни частици, при сухо триене, гранично триене, фретинг, фратинг-корозия и т.н. Всичко това внася известен хаос, липса на системност и единство, невъзможност за съпоставимост и приложимост на получените резултати.

5. Необходимо е разработване на общ интегрален критерий и ускорена методика за изпитване на износоустойчивостта на покрития и слоеве. Методиката трябва да отчита и позволява адаптация към конкретни условия на експлоатация на покритията в нестационарен режим на износване.

ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Archard J.F., Wear theory and mechanism, ASME, Wear, 1980
- [2]. Fleischer G., Konstruktionkatalog, Magdeburg, 1973
- [3]. Гаркунов Д.Н., Триботехника, Износ и безыносность, МСХА, М., 2001
- [4]. Tribology, A systems approach to the science and technology of friction, lubrication and wear, Berlin, 1978
- [5] Манолов Н., Пневмо-хидравличният метод в трибологията, дисертация за доктор на техн. науки, С., 1986
- [6]. Мышкин Н.К., М.И. Петроковец, Трибология: Принципы и приложения, ИММС НАНБ, Гомель, 2002.
- [7]. Прудников, М.И. Реализация метода испытаний на износостойкость цилиндрических поверхностей трения / М.И. Прудников // 18-я Между-

- народная Интернет-конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС2006), Москва
- [8]. **ASTM G 99 - 95a** standard test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus
 - [9]. **ASTM G 133 - 95** Standard test method for linear reciprocating Ball-on-flat sliding wear
 - [10]. **ASTM G 77 - 93** Standard Test Method for ranking resistance of materials to sliding wear using Block-on-Ring wear test
 - [11]. **ISO 20808** Fine ceramics (advanced ceramics, advanced technical ceramics) -- Determination of friction and wear characteristics of monolithic ceramics by ball-on-disc method
 - [12]. **DIN 50324** Tribology; testing of friction and wear model test for sliding friction of solids (ball-on-disc system)
 - [13]. **DIN 51834-1** Testing of Lubricants - Tribological Test in the translatory oscillation apparatus - Part 1: general Working Principles
 - [14]. **ASTM G 99 - 95a** Standard test method for wear testing with a pin-on-disk apparatus
 - [15]. **ASTM D7027-05** Standard Test Method for Evaluation of SCRATCH Resistance of Polymeric Coatings and Plastics Using an Instrumented SCRATCH Machine
 - [16]. **БДС 14289-77** Метод за изпитване на абразивно износване при триене върху закрепени абразивни частици
 - [17]. **БДС EN 12373 – 9:2000** Алуминий и алуминиеви сплави. Анодиране. Част 9: Определяне устойчивостта на износване и на индекса на износване чрез използване на абразивно колело.
 - [18]. **БДС EN 12373 – 10:2001** Алуминий и алуминиеви сплави. Анодиране. Част 10: Измерване на специфичната устойчивост на абразивно износване на оксидните анодни покрития чрез използване на апаратура с абразивна струя.
 - [19]. **БДС EN 13523 – 16:2005** Метални ленти с непрекъснато нанесено покритие. Методи за изпитване. Част 16. Устойчивост на изстриване
 - [20]. **БДС ENV 1071-6:2003** Техническа керамика. Методи за изпитване на керамични покрития. Част 6. Методи за определяне на износоустойчивост на покрития по метода на микроабразивно изстриване
 - [21]. **ГОСТ 23211-80** Метод за изпитване на покрития при фретинг и фретинг-корозия
 - [22]. **ГОСТ 23208-79** Метод за изпитване на материалите на износоустойчивост при триене при незакрепени абразивни частици
 - [23]. **ГОСТ 23207-79** Метод за изпитване на покрития на ударно-абразивно износване

НОВИ МЕТОДИ ЗА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА ВАЛОВЕ ЗА ЕКСТРУДИРАНЕ НА ФОЛИЯ

Б. Съйкова, Г. Георгиев, М. Кандева, Д. Карастоянов
bsaykova@tu-sofia.bg, kandeva@tu-sofia.bg, dimikara@abv.bg

Технически университет - София

1797 София, бул. „Климент Охридски” 8, бл.3

Централна лаборатория по мехатроника и приборостроене,
1113 София, ул. “ак. Г. Бончев” бл. 2.

NEW METHODS OF REGENERATION OF SHAFTS FOR FOLIO EXTRUSION

B. Saykova, G. Georgiev, M. Kandeva, D. Karastoyanov

Резюме: В доклада е направен задълбочен анализ на съществуващи нови методи и технологии за възстановяване на износени валове при екструдирание на фолия. Поставен е акцент върху еколого-икономически методи за реновиране на валове към които спадат химическите никелови покрития и особено перспективни, съдържащи дисперсоиди в микро- и нано размерната зона.

Summary: This report is made a thorough analysis of existing methods and new technologies for restoration of worn shafts in film extrusion. Emphasis is placed on ecological-economic methods for rehabilitating shafts belonging to the chemical nickel coating, and especially promising containing dispersoids in micro-and nano-dimensional zone.

Докладът е спонсориран по договор с НФНИ-МОН № Д002-13/2009 г.

Ключови думи: никелови покрития, реновиране на валове, износоустойчивост

1. Въведение

Покритията от химически никел, са вид технология, свързана с обработка на повърхностен слой. През последните години, този метод спечели голяма популярност в подготовката на композитни покрития, приготвени чрез добавяне на твърди частици от Ni-P. Този повърхностен слой до голяма степен подобрява механичните и трибологичните свойства на Ni-P покрития [1/5]. Покритията са с висока устойчивост на корозия и имат равномерна дебелина, което дава възможност да намерят приложение в авиа-

цията, космическите изследвания, електрониката, както и в нефтена, химическа, текстилна промишленост, а също и в автомобилостроенето [6,7].

Сред твърдите частици, използвани за основа, SiC е най-често изучаваният и прилаган метод [1,8-11]. Процесът на химическо никелиране с добаване на твърди частици от SiC към ратвора, позволява получаване на покрития с твърда метална матрица. Ето защо, износо-устойчивостта на Ni-P-SiC композиционни покрития е значително подобрена в сравнение с тази на обикновените Ni-P химически покрития. За да се разбере ефекта от процеса и да се проследят параметрите и свойствата на химическите Ni-P-SiC композитни покрития, учени от Института за термични изследвания и технологии в Китай са изследвали връзката между съдържанието SiC частици и износоустойчивостта. Твърдостта на химическите Ni-P-SiC композитни покрития може да достигне HV809. Получили са връзка между съдържанието SiC частици в покритията и твърдостта. Направен е сравнителен анализ за устойчивост на корозия между Ni-P-SiC композитни покрития и химически Ni-P покрития. Проучена е връзката между покритията съдържащи SiC частици и устойчивостта на корозия. Получените резултати с химически Ni-P-SiC композитни покрития са с висока корозионна и износоустойчивост.

2. Експериментални методи

2.1. Тестов материал

Използван е образец, изработен от стомана Q235-Б (С 0,12 - 0,20 %, Мп 0,30-0,70 %, Si В - 0,30 %, S В = 0,045 %, Р В = 0,045 %), с размери 20mm×25mm×5mm. Твърдите частици от SiC се добавят към композиционния химически разтвор. Тяхната едрина е 3,5 μm. Преди нанасяне на покритието, частиците от SiC се третираат със солна киселина с концентрация на 1:1 за 24 часа за отстраняване на металните примеси.

2.2. Състав на разтвора на Ni-P-SiC химическото покритие и условия на процеса. Химическият разтвор на композиционното покритие и условията за протичане на процеса са изобразени в таблица 1.

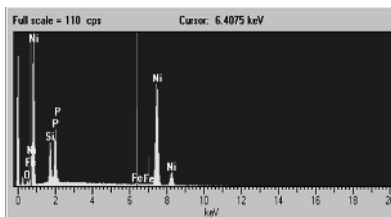
Химичен състав и условия	Концентрация
NiSO ₄ × 6H ₂ O	20-30 г / л
NaH ₂ PO ₂ × H ₂ O	20-40 г / л
Комплексен агент	40-50 г / л
Амбър киселина	5/10 г / л
Натриев ацетат	10-20 г / л
Калиев йодат	0,03 г / л
SiC	0-12 г / л
Скорост на разбъркване	200-500 об. / мин
Температура	84-93 ° C
pH	4.8-5.7
Продължителност за нанасяне на покритието	2h

За получаване на висококачествени химически Ni-P-SiC композиционни покрития, е важно правилно да се подбере разтвора за покритието, така че SiC частици да бъдат равномерно разпределени в този повърхностен слой.

3. Получени резултати

3.1. Повърхностна морфология на покритията

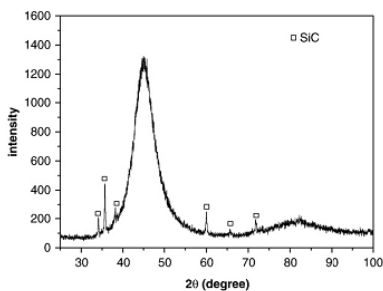
Фигура 1 показва спектъра на EDS химически Ni-P-SiC композитни покрития, получени от ЕРМА, където покритието съдържа 73,86 % Ni и 11,25 % P. Съдържанието на фосфор показва, че покритието е висикофосфорно.



EDS спектър от химически Ni-P-SiC композитни покрития

Фиг. 1

На фигура 2 е показан XRD модел на химически Ni-P-SiC композитни покрития. Тя включва широк аморфен връх (около $2\theta = 45^\circ$) и няколко малки остри върхове. Тези остри малки върхове съответстват на позицията на кристален SiC, които показват, че SiC частици в покритието са в твърдо състояние.

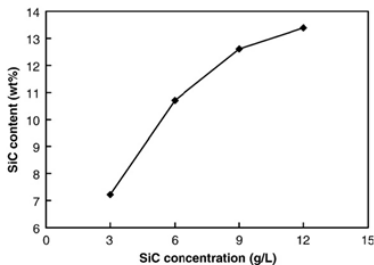


Поведение на XRD на химически Ni-P-SiC композитни покрития

Фиг. 2

Фигура 3 показва, че съдържанието SiC в покритията се увеличава с повишаване на концентрацията на същият във ваната. При концентрации, по-ниски от 9 г / л, има рязко увеличение на съдържанието на SiC частици в покритието. С увеличаване на концентрацията на SiC във ваната, висока от 9 г / л, концентрацията на SiC на покритието се увеличава по-плавно. Причината за това, че процесът се ускорява с увеличаване на ефе-

ктивната концентрацията на SiC частици във ваната и нанасянето на покритие от SiC частици върху дадена площ.

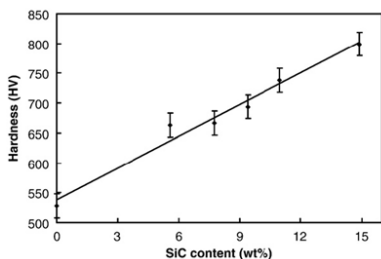


Зависимост между концентрация SiC във ваната и съдържанието на SiC – частици в покритието

Фиг.3

3.2. Ефект върху твърдостта на покритието в зависимост от съдържанието на SiC частици

Твърдостта на композитните покрития е подобрена, чрез добавяне SiC частици в химическия разтвор на покритието. По-специално, износването на тестов образец е подобро, тъй като SiC частици носят товара и предотвратяват надраскване.



Връзка между съдържанието SiC частици в покритието и твърдост (HV)

Фиг. 4

От Фигура 4 се вижда, че твърдостта на Ni-P сплави е много подобрена, благодарение на равномерно разпределените твърди SiC частици. Съответно, износоустойчивостта на Ni-P-SiC композитни покрития се увеличава. С увеличаване на съдържанието на SiC частици, твърдостта на Ni-P-SiC композитни покрития достига HV600-800, докато твърдостта на Ni-P покрития достига около HV530. Цифрата показва също, че има приблизително линейна връзка между съдържанието на SiC частици в покритието и твърдостта.

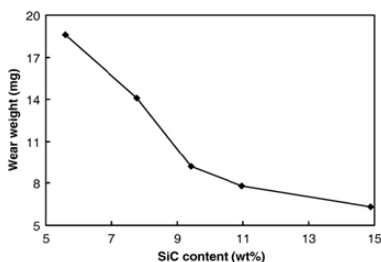
3.3. Влияние на съдържанието SiC частици върху износоустойчивостта на покритията

За да се проучи въздействието от съдържанието на SiC частици при износване, се провеждат тестове на триене върху композитни покрития. В

процеса на триене, SiC частици изпъкват над Ni-P матрица и се превръщат в основен обект за контакт на триене. След отделяне на SiC частици, поради износване, Ni-P матрица е подложена на износване. В микропорите останали в матрицата, се запазва масло, спомагащо смазването. Устойчивостта на износване на химическите Ni-P-SiC композитни покрития е значително подобрена. С правилното и контролирано съдържание на покритието, твърдостта и износването на химическите Ni-P-SiC композитни покрития превъзхождат тези на покритията, получени чрез твърд хром.

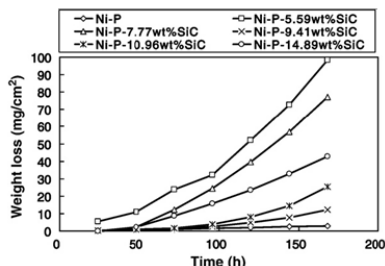
Както е показано на фигура 5, подобрената износоустойчивост на покритията, се дължи на добавянето на частици от SiC. При по-ниско съдържание на SiC частици (9,41 %), износването е голямо, а теглото на покритията рязко намалява с увеличеното съдържание на SiC частици. Това е така, защото по време на триещ контакт, SiC частици служат като основни плъзгачи повърхности, изложени на износване. Те поемат товара и имат ефект на срязване. Поради високата степен на твърдост и укрепващият ефект на Ni-P матрицата, SiC частици, не само повишават твърдост на покритията, но също така и подобряват устойчивостта на пластична деформация на Ni-P матрица.

Колкото повече частици има, толкова се очаква по-висока износоустойчивост.



Влияние на съдържанието на SiC частици върху износоустойчивостта на покритията

Фиг. 5



Намаляване на масата в сравнение с времекури в Ni-P-SiC покрития с различно съдържание на SiC частици, потопени в разтвор на H₂SO₄.

Фиг. 6

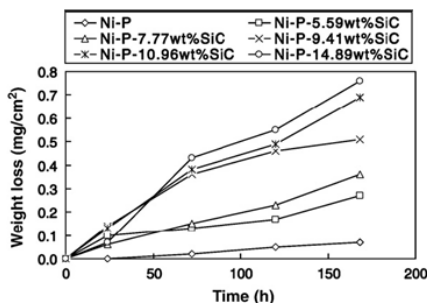
3.4. Ефект на съдържанието на SiC частици при устойчивост на покритията от корозия

Намаляването на относителното тегло на химическите Ni-P-SiC композитни покрития, зависи от естеството на корозия. Кривите за намаляване на масата на композитни покрития с шест различни съдържания на SiC частици в химическия разтвор (5% H₂SO₄, 3,5% NaCl и 20%NaOH) са показани съответно на фиг.6, 7 и 8. Фигура 6 показва, че устойчивостта на корозия на химически Ni-P-SiC композитни покрития, потопени в разтвор на H₂SO₄ е по-ниска от тази на химическите Ni-P покрития. Първоначално

устойчивостта на корозия нараства с увеличаване на съдържанието SiC частици, а след това намалява.

Устойчивостта на корозия на композитни покрития със съдържание на частици от SiC 9,41.% превъзхожда останалите. Причината за това е порьозността, която се увеличава с добавяне на SiC частици.

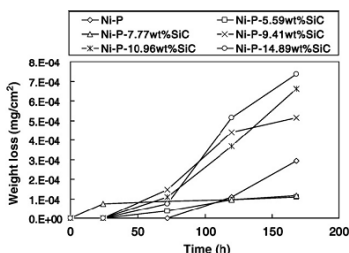
Когато съдържанието SiC частици е по-високо от 9,41.%, устойчивостта на корозия намалява. При високо съдържание на SiC частици, скоростта на отлагане на покритие нараства.



Намаляване на масата в сравнение с време-криви на Ni-P-SiC покрития с различно съдържание на SiC частици, потопени в разтвор на NaCl.

Фиг. 7

На фигура 7 се вижда, че устойчивостта на корозия на химическо Ni-P покритие, потопено в разтвор на NaCl, превъзхожда тази на Ni-P-SiC композитно покритие. С увеличаването на съдържанието SiC частици в покритието, устойчивостта на корозия на химическите Ni-P-SiC композитни покрития намалява постепенно [15]. Фигура 8 показва, че Ni-P-SiC и Ni-P покрития имат добра корозионна устойчивост в разтвор на NaOH.



Намаляване на масата в сравнение с време-криви на Ni-P-SiC покрития с различно съдържание на SiC частици, потопени в разтвор на NaOH.

Фиг. 8

4. Заключение

(1) Чрез добавяне на SiC частици в покритията на Ni-P основа, се получават композитни покрития (Ni-P-SiC) със SiC частици. Равномерно раз-

пределение на частиците в слоя се получава при добро познаване на технологията.

(2) Твърдостта на химическите Ni-P-SiC композитни покрития нараства с увеличаване на съдържанието на SiC, като достига стойности по високи от HV809. Съществува линейната зависимост между съдържанието на SiC частици и твърдостта на композитните покрития. Благодарение на високата твърдост и силата на закрепване на SiC частици, устойчивостта на износване на композиционните покрития (Ni-P-SiC) превъзхожда тази на покритията на Ni-P основа. Износоустойчивостта на композиционните покрития (Ni-P-SiC) се увеличава с по-високото съдържание на SiC частици. Концентрацията на химическият разтвор във ваната също влияе върху износоустойчивостта на покритията. Когато концентрацията е 60 мг / л, износуването е минимално.

3) Поради дезактивирането на покритията, потопени в разтвор на NaOH, устойчивостта на корозия на химическите Ni-P-SiC композитни покрития и Ni-P покрития остава една и съща. В разтвор на NaCl, двата вида покрития са с добра корозионна устойчивост, но корозионна устойчивост на химически Ni-P-SiC композиционно покритие е по-ниска от тази на Ni-P покритие. В H₂SO₄ разтвор, корозионна устойчивост на покритията първоначално се увеличава и след това намалява с увеличаване на съдържанието на SiC в покритие.

Литература

- [1] A. Grosjean, M. Rezrazi, J. Takadoun, P. Bercot, Surf. Coat. Technol. 137, (2001) 92.
- [2] I. Apachitei, Surf. Coat. Technol. 149 (2002) 263.
- [3] J.N. Balaraju, S.K. Seshadri, Trans. IMF 77 (1999) 84.
- [4] Ming-Der Ger, Bing Joe Hwang, Mater. Chem. Phys. 76 (2001) 38.
- [5] S.M. Moonir-Vaghefi, A. Saatchi, J. Hejazi, Z. Met. Kd. 88 (1997) 498.
- [6] J.G. Jin, S.K. Lee, Y.H. Kim, Thin Solid Films 466 (2004) 272.
- [7] D. Niwa, N. Takano, T. Yamada, Electrochim. Acta 48 (2003) 1295.
- [8] Z.A. Hamid, R.A. El-Adly, Plate Surf. Finish 86 (5) (1999) 136.
- [9] Sh. Alirezaei, S.M. Monirvaghefi, M. Salehi, A. Saatchi, Surf. Coat., Technol. 184 (2004) 170.
- [10] G. Straffelini, D. Colombo, A. Molinari, Wear 236 (1999) 179.
- [11] Y.S. Huang, X.T. Zeng, I. Annergren, F.M. Liu, Surf. Coat. Technol. 167, (2003) 207.
- [12] C.J. Lin, J.L. He, Wear 259 (2005) 154.
- [13] C.J. Lin, K.C. Chen, J.L. He, Wear 261 (2006) 1390.
- [14] N. Li, Practical Application of Electroless Plating Technology, Chemical Industry Press, Beijing, 2004.
- [15] Y. Chi, G.C. Zhan, H.Y. Fan, J.B. Gao, Applied Science and Technology, 28 (2001) 45.

АНАЛИТИЧНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА АДХЕЗИОННАТА СЪСТАВЯЩА НА СИЛАТА НА ТРИЕНЕ

И. Л. Узунов - Технически университет - Пловдив

ANALYTIC DETERMINATION OF THE ADHESIVE COMPONENT OF FRICTION FORCE

I. L. Uzunov – Technical University - Plovdiv

Резюме:

Определянето на адхезионното взаимодействие (адхезионната съставляща на силата на триене FA) в реалния контакт и неговото влияние върху силата на триене при праволинейно движещи се механични системи, има приоритет както гледна точка на съвременното състояние на теорията, така и поради практическата възможност за подобряване динамичните характеристики на металорежещите машини.

Обстойното изучаване и изследване на свойствата на механичния контакт е от решаващо значение за точното машиностроене и приборостроене.

Въведение

Изследването и изучаването на процеса триене се явява от особено (фундаментално) значение за трибологията. Според съвременните представи трибологията е наука за контактното взаимодействие на твърдите тела при тяхното относително преместване, т. е. в условията на триене, износване и смазване [3,9,10]

В условията на статично триене при една трибосистема, съставена от две реални метални тела, ще е налице дискретен контакт. Ако допирните повърхнини се приближат на разстояние съизмеримо с междуатомните разстояния, в кристалните решетки между електронните слоеве на атомите възникват квантови процеси на взаимодействие, при което между два еднакви монокристала с идеално гладки и чисти повърхнини би трябвало да се очаква образуването на монолитни съединения (адхезионни връзки) [2].

Адхезията като процес на прилепване на металните тела, би могло да се определи като резултат от образуване на множество дискретни, неразглобями монолитни съединения (адхезионни връзки), за сметка на вкарването и необратимото преобразуване на енергия и на промяната на веществото в местата на съединяването. Съгласно втория закон на термодинамиката протичането на този процес е напълно възможно, тъй като това довежда до намаляване свободната енергия на системата.

Терминът „прилепване” би трябвало и се свързва с процесите на привличане между елементарните градивни частици на веществата и образуване на адхезионни връзки между телата, а терминът „адхезия” изразява достигнатата якост на тези връзки. По този начин “прилепването” в съответствие с етимологичната основа на думата е правилно да се възприема като обозначаване на процес, а адхезията – количествена мярка на резултата от този процес.

I. Цел на работата

Настоящата разработка има за цел да се предложи методика за аналитично определяне на адхезионната съставяща на силата на триене. Реализирането на тази цел се осъществява чрез решаването на следните задачи:

1. Създаване на методика за аналитично определяне на адхезионната съставяща на силата на триене;
2. Аналитично определяне на адхезионната съставяща на силата на триене за различни видове триещи двойки;
3. Обсъждане на получените резултати.

II. Методика за аналитично определяне на адхезионната съставляваща на силата на триене

Адхезионната сила се изследва само в нормално направление, тъй като по този начин се проявява във възможно най – чистия си физичен вид. В тангенциално направление тя ще се припокрива с деформационната съставяща на силата на триене, което пречи за коректното ѝ определяне и това дава възможност за голяма грешка (неопределеност) при експерименталното ѝ отчитане [4,7,8].

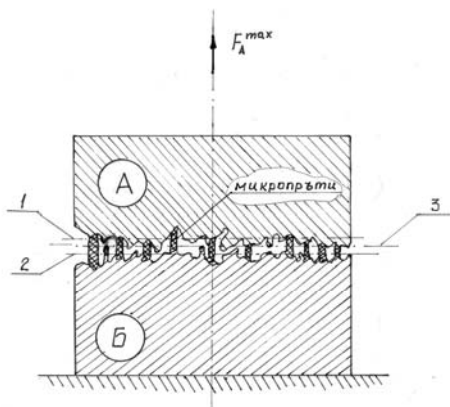
Триещите двойки представляват образци, изработени от следните метални сплави: алуминий (Д16Т) с твърдост $HB = 960$, МПа и $R_m = 314$, MP_a ; бронз (CuSn5Zn5Pb5) с твърдост $HB = 1200$, МПа и $R_m = 245$, MP_a ; стомана (45) с твърдост $HB = 1970$, МПа и $R_m = 598$, MP_a ; чугун (Сч25) с твърдост $HB = 2300$, МПа и $R_m = 200$, MP_a [6].

Ако се разгледа една реална трибосистема съставена от две еднородни метални тела, то би трябвало пограничните атоми в еднаква степен да взаимодействат със съседните атоми и атомите на другото тяло. Следователно, би могло да се предположи, че силите по разделителната повърхнина са приблизително равни по големина с междуатомните сили вътре в обема на контактуващите тела. Като се имат предвид обаче механизма на тяхното възникване и условията на съществуване, естествено е да се очаква, че най - вероятно ще съществува известно структурно несъответствие между контактните кристали с тези от вътрешността. Това в действителност предполага наличие на дефекти (слаби области) по разделителната повърхнина.

В условията на фрикционен контакт, вследствие пластичното течение и дифузионните процеси, строежът на тези области би трябвало да се нормализира и в резултат на това разделителната повърхнина губи в известна степен познатия си физичен смисъл, т.е. тя се явява като една обща част от двете триботела. При това положение би могло да се очаква, че големината на адхезионната сила F_A ще бъде в съответствие с якостните характеристики на изходния материал.

Аналогичен би трябвало да е и механизма на взаимодействие при контактуване на разнородни материали (метали), като при това най-вероятно стойностите на пограничните сили на взаимодействие ще се доближават до средните от междуатомните сили във всяко едно от контактуващите тела. По такъв начин стойността на адхезионната сила между разнородните материали би трябвало да е по – голяма от кохезията вътре в обема на по – мекия материал. Това предполага, че когато телата се отделят едно от друго, то разрушаването на връзките ще протича предимно в обеми от по – мекия материал, а не по първоначално установената разделителна повърхнина.

В момента, когато в процеса на отделяне на телата опъновата сила F придобие стойност пренебрежимо по – малка от силата на разрушаване F_A^{\max} [7], то адхезионните съединения се представят като множество единични (елементарни) пръти с различни размери и разположени произволно по номиналната площ на трибосистемата (Фиг. 1) .



Фиг.1 Схема на адхезионните съединения във вид на микропръти, оформени в процеса на разделяне на триботелата А и Б
 1 - геометрична равнина на тяло А
 2 - геометрична равнина на тяло Б
 3 - разделителна равнина(равнина на плъзгане)

Отделянето на противотяло А от тяло В в разглеждания случай, ще настъпи когато е изпълнено условието [5]:

$$F_A^{\max} = \sigma_B \cdot A_r, \quad (1)$$

където F_A^{\max} е търсената по аналитичен път адхезионна сила, N ;

$$\sigma_B = \frac{\sigma_{B_1} + \sigma_{B_2}}{2} - \text{усреднена якост на опън или временно съпротивление на материала (условно напрежение, съответстващо на максималната опънова сила, която може да издържи образеца при изпитване до разрушаване), } Pa ;$$

A_r - лицето на първоначалното напречно сечение на цялото микросъединение, m^2 .

Приема се, че сумата от напречните сечения на микропрътите (монолитни съединения), подложени на опън (микропрътите за удобство се разглеждат като изпитвани на опън на образци - епруветки), се представя достатъчно точно от големината на площта A_r (фактическата площ на контакта).

Следователно, за аналитичното пресмятане на адхезионната сила, стойностите на величината σ_B се избират таблично [6], а за определяне стойността A_r е необходимо да се подбере подходящ аналитичен израз. Съществуват редица такива предложени за пресмятане на площта A_r , съставени на базата на експериментални изследвания, проведени при различни условия с известни модели на образци на грапави повърхнини [1]. В теорията на контактното взаимодействие на реалните твърди тела за комплексна оцен-

ка на качеството на повърхнините би могло да се използва например показателят Δ , характеризиращ грапавите повърхнини най-вече от геометрична гледна точка [1,9]:

$$\Delta = \frac{R_{\max}}{R \cdot b^{\nu}}, \quad (2)$$

където R е среден радиус на закръгление на върховете на грапавините, μm

ν , b – параметри на опорната крива – параметри на степента на апроксимация на началната част на опорната крива построена в относителни стойности,

R_{\max} - най-голяма височина на издатината (разстоянието между линията на издатините на профила и средната линия), μm .

Фактичската площ A_r се определя от съотношението F_N/P_r , където F_N [N] е нормално приложена към трибосистемата сила, а за определяне на фактичското налягане във фрикционния контакт P_r [Pa], се използва следната формула, т. е:

$$P_r \approx \frac{E}{3.4} \left(\frac{R_{\max}}{R} \right)^2, \quad (3)$$

където E е модул на еластичност на по – мекия материал, [Pa].

III. Аналитични изследвания и резултати

Нека се разгледа трибосистемата стомана – чугун, при която телата са с диаметър $\varnothing 100$ mm и е приложено нормално натисково напрежение $P \approx 0,2MP_a$. За относителна лекота и удобство по - нататък, аналитичните изследвания се провеждат при условие, че образците са с еднакъв показател за качеството на повърхнините $\Delta \approx 0,02$, при $\frac{R_{\max}}{R} = 0,029$ и $\nu = 2,45, b = 3,8$, получени при плоско шлифоване (8^{ми} клас на грапавост).

По формула (3) се пресмята :

$$P_r = \frac{2 \cdot 10^{11}}{3,4} (0,029)^2 = 0,1 \cdot 10^{11}, P_a,$$

където $E = 2 \cdot 10^{11}$, P_a е модулът на еластичност на СТ(45) [1,9].

За фактичската площ A_r се получава :

$$A_r = \frac{1500}{0,1 \cdot 10^{11}} = 0,15 \cdot 10^{-6}, \text{ m}^2.$$

За усреднената якост на опън $\sigma_B = \frac{\sigma_{B_1} + \sigma_{B_2}}{2}$, при триеща двойка стомана – чугун се получава:

$$\sigma_B = \frac{598 + 200}{2} = 399.10^6, P_a.$$

От формула(1) се пресмята адхезионната сила F_A^{\max} , т. е. :

$$F_A^{\max} = \sigma_B \cdot A_r = 399.10^6 \cdot 0.15.10^{-6} = 59,9, N.$$

Аналитично определените резултати и експериментално получените такива за стойностите на адхезионната сила при някои триещи двойки са представени в Табл.1.

Таблица 1

	σ_B, P_a	E, P_a	P_r, P_a	A_r, m^2	F_A^{\max}, N	F_A^{\max}, N (експер.)
Стомана– Чугун	399.10^6	2.10^{11}	$0,1.10^{11}$	$0,15.10^{-6}$	59,9	3,4
Стомана – Бронз	422.10^6	1.10^{11}	$0,05.10^{11}$	$0,3.10^{-6}$	126,5	1,5
Стомана – Стомана	598.10^6	2.10^{11}	$0,1.10^{11}$	$0,15.10^{-6}$	89,7	3,4
Алуминий - Алуминий	314.10^6	$0,7.10^{11}$	$0,04.10^{11}$	$0,38.10^{-6}$	117,8	1,9

IV. Анализ на получените резултати и изводи

- От получените аналитични резултати за адхезионната съставляваща на силата на триене се вижда, че стойностите са сравнително големи. Това се дължи на факта, че аналитичния модел е идеализиран без наличие на окисни кори и ПАВ;

- Сравняването на аналитичните резултати за адхезионната съставляваща на силата на триене с експерименталните показва съществена раз-

лика между тях. Следователно аналитичното пресмятане на адхезионната съставляваща е далеч от реалните условия на триене;

- Усилията за определяне и изследване на адхезионната съставляваща трябва да бъдат насочени към търсене на експериментални методи за нейното определяне.

Литература

1. Демкин Н.Б. Контактное взаимодействие шероховатых поверхностей. М.: Наука, 1977.
2. Калев Л. – “Технология на машиностроителните материали” – Техника, София 1987 .
3. Крагельский И. В. – Трение и износ – Москва, „Машиностроение”, 1968
4. Новик С. Ф., Арсов Я. Б. – Планиране на експеримента в технологията на металите – София „Техника”, 1981
5. Стойчев Ю. И. и др. – Съпротивление на материалите – ВТУ „Ангел Кънчев”, Русе 1986
6. Й. Дамянов, В. Гиздова и др. - Справочник на машиностроителя, София 198 .
7. И. Узунов - Стенд за експериментално изследване на адхезионната съставляваща на силата на триене. АМТЕСН 2001., Созопол, том 2, стр.216 – 224.
8. Мишев Г. Изследване и моделиране на триенето в направляващите на металорежещите машини. Дисертация, София, 2009
9. Польцер Г., Майсснер Ф. - Основы трения и изнашивания - Москва , “Машиностроение “, 1984.
10. Bowden F., Tabor D. Reibung und Schmierung fester Koerper. Springer Verlag, Berlin/Goettingen/Heidelberg, 1959

АБРАЗИВНО ИЗНОСВАНЕ НА ЛЕГИРАН СИВ ЧУГУН С НАНОСТРУКТУРНА МЕТАЛНА ОСНОВА

*Л. Василева, М. Кандева, С. Симеонова**

Технически университет – София,

** Институт за космически изследвания и наноматериали-София*

ABRASIVE WEAR OF ALLOYED GREY CAST IRON WITH NANO-STRUCTURAL METAL BASE

*L. Vassileva, M. Kandeva, S. Simeonova**

Technical University - Sofia,

** Institute of Space Study and Nano-materials - Sofia*

Summary: The aim of research study is to reveal new potential for mechanical properties of austempered alloyed (Mo+B) gray iron by thermocycling of parent austenite around critical temperatures of phase transformations during austempering. As a result of thermocycling grains size of initial austenite is in nanoscales. After austempering the matrix structure is consist of fine grained ferritic nidles surrounded by very fine carbon enriched austenite. The investigated austempered alloyed gray iron has got higher impact strength after previous treatment of parent austenite compare with austempering without thermocycling and quencing and tempering. The wear resistant of alloyed gray iron after integrated heat treatment of thermocycling and austempering is higher than wear resistant of cast gray iron solidified by the same rate of cooling.

Ключови думи: нано- и микроструктури, термоциклиране, фазови превръщания, трибология, износване, износоустойчивост.

Въведение

Изследванията са свързани със създаване на нова термична технология, чрез която един класически и сравнително евтин материал със широко приложение като сивия чугун да придобие комбинирани свойства от повишена жилавост и добра износоустойчивост като резултат от подхо-

дящо легиране. Целта е да се повиши потенциала на сравнително евтин материал като с помощта на специално легиране и оптимизирани термични режими се създадат нови комплексни свойства на чугуна, който има широко приложение за производство на машиностроителни детайли. Резултатите се доказват чрез сравнително експериментално изследване на износоустойчивостта на пробни образци от легиран сив чугун с лята и наноструктурна метална основа, получена чрез комбинирана термична обработка.

1. Методика на леене

1.1 Отливане на проби от легиран сив чугун с различна дебелина

Отляти са шест плавки специално легиран сив чугун с химичен състав даден в Табл.1.

Легирането е извършено с карбидообразуващи елементи Мо и В, които изместват изотермичните С-криви в дясно и не позволяват дифузионно превръщане на изходния аустенит в перлит при изотермично закаляване. Заготовките са с различна дебелина за гарантиране на варираща скорост на охлаждане при кристализация, което позволява различни количествени съотношения на ферита и перлита в микроструктурата на металната основа.

1.2 Резултати и анализ

- *Химичен състав на изследвания легиран сив чугун с въглероден еквивалент $Se_{eq}=3.9$*

Таблица1

C	Si	Mn	P	S	Cu	Mo	B
тегл. %							
3.3	1.8	0.32	0.01	0.03	0.7	0.25	0.003

- *Микроструктурен анализ на легиран с Мо и В сив чугун в лято състояние*

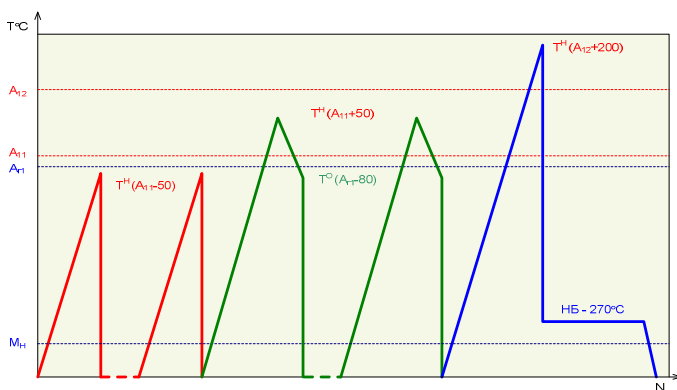
Металната основа е съставена от ферит и перлит в съотношение, което отговаря на 0,25 % въглерод-Фиг.1.



Фиг.1 Лята структура на легиран с Мо и В сив чугун (x400)

2. Методика за термично обработване на пробите от изследвания чугун чрез комбинирани режими (термоциклиране и следващо изотермично закаляване)

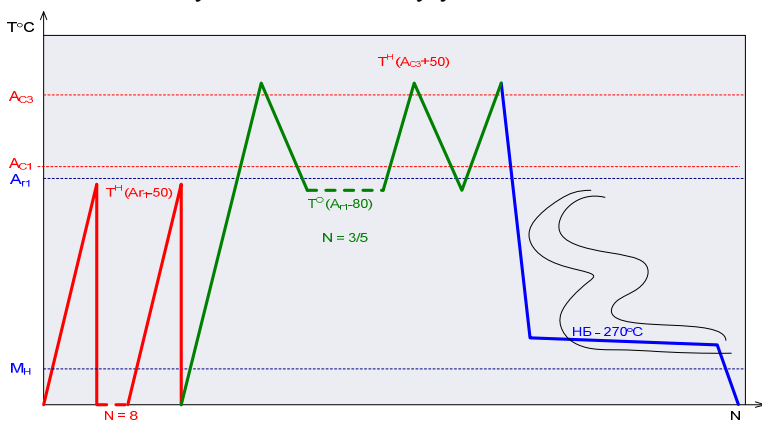
Легирането с Мо възпрепятства образуването на перлит, което води до изместване на изотермичните криви на ляво, което намалява термичната устойчивост на преохладения аустенит при изотермично закаляване. Това налага легирането с бор. Легирането с Мо и В води до създаване на специални карбиди, които повишават твърдостта и съответно крехкостта. С цел повишаване на жилавостта за сметка на допустимо понижена твърдост пробните образци се подлагат на ниско-, средно- и високотемпературна термоциклична обработка (ТЦО) с вариращи параметри. Предварително се провежда циклиране под температурата на фазов преход с цел преразпределение на силиция в металната основа-Фигури 2 и 3 [1].



Фиг.2 Комбиниран термичен цикъл, ниско- и среднотемпературна ТЦО и следващо изотермично закаляване на долен бейнит [4].

Предварителната нискотемпературна ТЦО се прилага за преразпределение на силиция в матрицата и се комбинира със следваща среднотемпературна ТЦО за издребняване на перлитните колонии. Подготвените образци се закаляват изотермично при 270° С.

Многократната прекристализация води до силно издребняване на иглестата структура на долния бейнит в металната основа, което повишава жилавостта и износоустойчивостта на чугуна.



Фиг.3 Комбиниран термичен цикъл от предваритерно термотретиране чрез нискотемпературна ТЦО и високотемпературна за издребняване на изходните аустенитни зърна и получаване на дисперсен долен бейнит в металната основа след изотермично закаляване при 270° С[4].

3. Изпитване на твърдост и ударна жилавост. Металография и рентгенография. Електронна микроскопия.

3.1. Резултати и анализ

Микроструктурния анализ след комбинираната термична обработка в различни варианти показва, че настъпва значително издребняване на пластините от бейнитен ферит. Измерена е средна стойност от (90-120)нм за дебелината на феритните пластини чрез трансмисионен електронен микроскоп при увеличение $\times 40000$ пъти.

Микротвърдостта на бейнитната метална основа се повишава от 450 HV (3 цикъла) до 520 HV(5 цикъла).

Ударната жилавост се повишава в сравнение с тази след класическото изотермично закаляване при същата температура от 60 J/cm2 до 90 J/cm2

след комбинирана термическа обработка. Ударната жилавост е определена при изпитване на образци тип Шарпи без надрез.

Чрез *дилатометричен анализ* е установено, че с увеличаване броя на циклите при предварителната комбинирана ТЦО с електросъпротивително нагряване, температурата на аустенит-бейнитното превръщане се понижава от 270°C (3 цикъла ВТЦО) до 180°C (5 цикъла ВТЦО). Този факт доказва повишената твърдост и жилавост на супердисперсната структура от долен бейнит. Причината за понижаване на температурата на бейнитното превръщане е повишената въглеродна концентрация на изходния аустенит (от 0.6 до 1.2мас.%), определена чрез рентгенова дифракция на термообработените образци [2,3].

4. Методика за определяне на трибологичните особености на ляти и термообработени образци от изследвания чугун

За определяне на трибологичните особености на лятите и термообработени пробни образци по различни режими се работи на абразивно износване [6]. Изпитват се седем плавки с изходна лята структура, а последната (№7) с дебелина 30 мм и след комбинирани режими на предварителна ТЦО със следващо едно и също обработване на изотермично закаляване в областта на долнобейнитните структури.

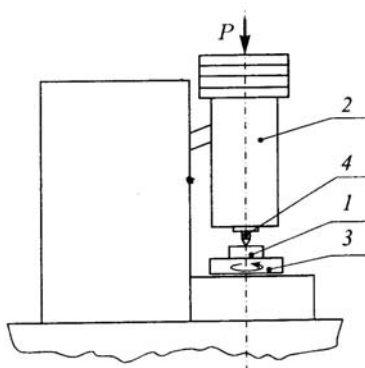
Изследването включва решаването на следните конкретни задачи:

- изследване на зависимостта на масовото износване от броя цикли на триене;
- изследване на динамиката на процеса на износване чрез изменение на скоростта на масовото износване във времето;
- определяне на абсолютната масова интензивност на износване и абсолютната масова износоустойчивост;
- определяне на сравнителната износоустойчивост;
- анализ на структурата на износените образци и интерпретация на получените резултати.

Устройство и методика на изследване

Експерименталното изследване се осъществява по методика и устройство за ускорени изпитания по кинематичната схема на контакт „индентор – диск” в лабораторията по трибология. Инденторът представлява образецът 1 от изследвания материал, който се закрепва подходящо неподвижно в натоварващата глава 2. Челната повърхнина на образца 1 контактува с абразивната повърхнина на хоризонтален диск 3 (противотяло), който се върти с определена скорост.

Нормалното контактно натоварване се осигурява в масовия център на образеца и се задава посредством лостова система на устройството. Устройството позволява изменение на средната скорост на плъзгане чрез промяна на оборотите на въртене на диска от управляващия блок и чрез изменение на местоположението на контката в радиално направление.



Фиг. 4 Схема на устройство за ускорени изпитания на износване

Абразивната повърхнина се моделира чрез импрегниран корунд с определени характеристики – твърдост 60% по-висока от тази на изследвания материал и едрина на зърната. Абразивната повърхнина се подменя с нова при всяко измерване, с което се гарантират еднакви начални условия на взаимодействие между образеца и повърхнината.

Методиката на изследване протича в следната последователност[6]:

- Подготвят се по два броя образци от всеки материал с еднакви размери и еднаква грапавост на контактната повърхнина $R_a = 2,5 \mu m$ чрез груба и фина обработка с подходяща паста като се вземат превантивни мерки за предотвратяване на структурни и физико-химични промени в повърхностния слой на образците;

- Измерва се масата на образеца преди и след определен брой цикли на триене (път на триене) L_f с помощта на електронна везна WPS 180/C/2 с точност до $0,1 mg$ като преди всяко измерване образците се почистват подходящо за неутрализация на статичното електричество преди поставянето им във везната;

- Образецът се монтира в натоварващата глава, задава се желаното нормално натоварване P и път на триене L_f , който се пресмята по формулата:

$$L_f = 2\pi \cdot N \quad (1)$$

където: r е разстоянието между центъра на диска и масовия център на образеца; N – броя цикли на диска;

- Пресмята се абсолютното масово износване Δm [mg] като разлика между масата на образеца преди и след определен брой цикли N (път на триене L_f).

Основни характеристики на изследването:

- абсолютно масово износване Δm , [mg] - разлика между масите на образеца преди и след изминаване на определен път на триене L_f ;

- скорост на масовото износване $\Delta \dot{m}$ [mg / min] - разрушената маса от повърхнината на образеца за една минута.

- масова интензивност на износването i_m - разрушената маса от повърхнината на образеца на единица път на триене и представлява безразмерно число:

$$i_m = \frac{\Delta m}{\rho \cdot S_a \cdot L_f} \left[\frac{kg \cdot m^3}{kg \cdot m^2 \cdot m} \right] \quad (2)$$

където: ρ е плътността на повърхностния слой на образеца, S_a - номиналната (геометрична) площ на контактното взаимодействие.

- абсолютна износоустойчивост по маса I_m - представя се като реципрочна стойност на интензивността на износването i_m :

$$I = \frac{1}{i_m} = \frac{\rho \cdot S_a \cdot L_f}{\Delta m} \quad (3)$$

Износоустойчивостта I е комплексен параметър на контактното взаимодействие, който характеризира съпротивителните възможности на повърхностния слой на материалите срещу разрушаване при релативното им преместване. Променя се в много широки граници и зависи от много фактори.

- номинално контактно налягане p_a [N / cm²] - представлява нормалното натоварване P , което се разпределя на единица номинална (геометрична) контактна площ на допиране S_a , т.е.

$$p_a = \frac{P}{S_a} \quad (4)$$

4.1 Експериментални резултати и анализ

Изследва се серия от 9 пробни образци, чиито характеристики са представени в таблица 3.

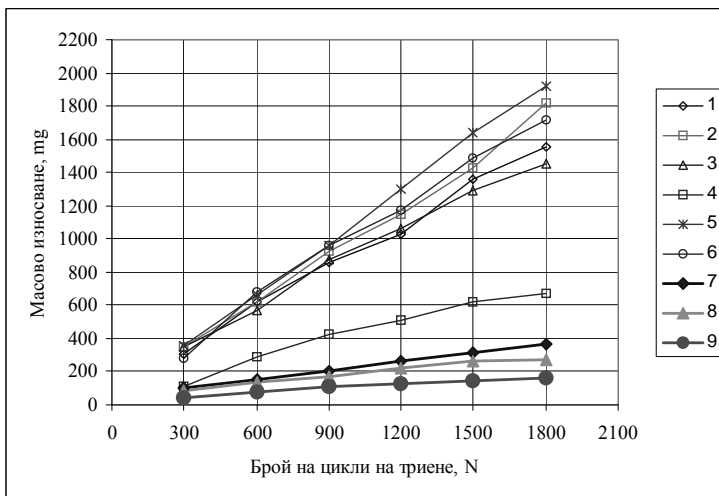
Трибологичното изследване е осъществено при следните динамични условия:

- средна скорост на плъзгане $\vartheta = 96,3 [cm/s]$

номинално конткатно налягане $p_a = 7,07 [N/cm^2]$.

Таблица 3

№	Твърдост, НВ, МРa	Дебелина, мм	Технологични данни
1	217-244	20	лята
2	210-234	30	лята
3	204-228	45	лята
4	243-253	55	лята
5	183-230	65	лята
6	175-233	75	лята
7	246-268	15	лята
8	257-288	15	Термообр. по режима на фиг.2
9	268-288	15	Термообр. по режима на фиг.3



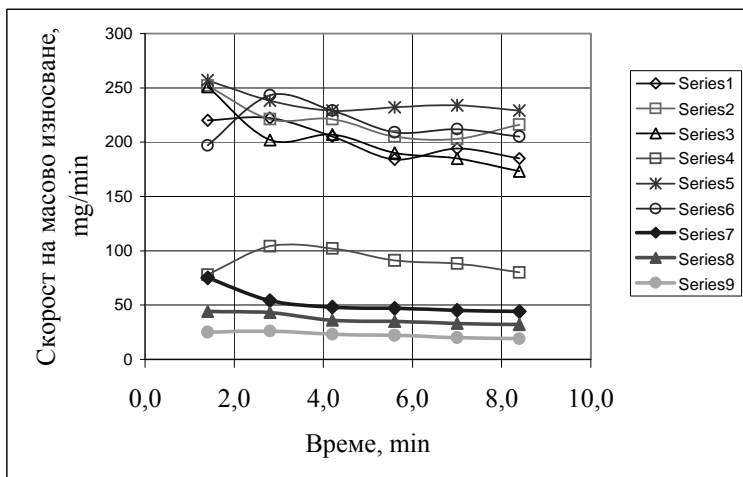
Фиг. 5 Масово износване на ляти и термообработени образци от легиран сив чугун

Данните за масовото износване Δm в [mg] от броя цикли N на триене са представени в таблица 4.

Таблица 4

№ на образца	$N = 300$	$N = 600$	$N = 900$	$N = 1200$	$N = 1500$	$N = 1800$
1	308	623	860	1029	1356	1553
2	352	619	928	1145	1423	1815
3	351	565	870	1063	1292	1451
4	109	291	428	508	617	672
5	359	665	962	1298	1637	1921
6	276	680	960	1171	1482	1720
7	104	150	203	264	315	366
8	85	136	172	220	260	270
9	44	80	114	131	142	160

На фиг. 6 е представена динамиката на износването чрез изменението на скоростта на масовото износване $\Delta \dot{m}$ във времето t . Данните са представени в таблица 5.

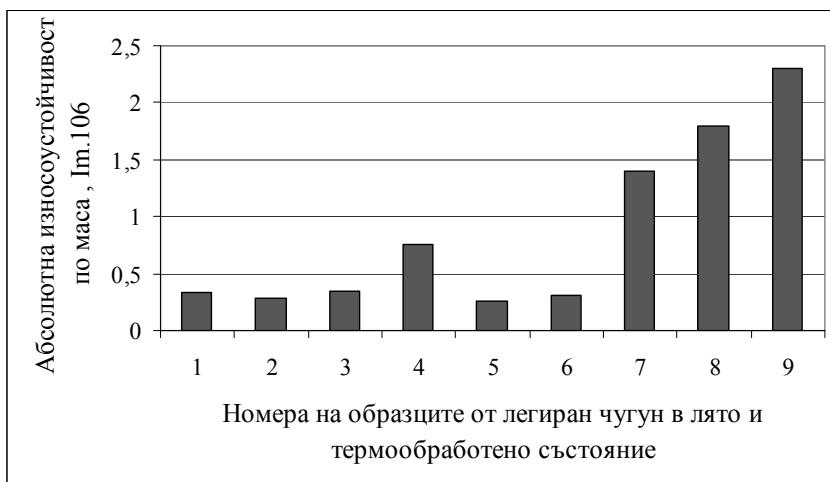


Фиг. 6 Скорост на масовото износване за лят (образци 1-7) и термообработен чугун (8 и 9)

Таблица 5

№ на обр.	$t = 1,4 \text{ min}$	$t = 2,8 \text{ min}$	$t = 4,2 \text{ min}$	$t = 5,6 \text{ min}$	$t = 7 \text{ min}$	$t = 8,4 \text{ min}$
1	220	222	205	184	194	185
2	252	221	221	205	203	216
3	251	202	207	190	185	173
4	78	104	102	91	88	80
5	257	238	229	232	234	229
6	197	243	229	209	212	205
7	75	53	48	47	45	44
8	44	43	36	35	33	32
9	25	26	23	22	20	19

На фиг.7 са представени данни за абсолютната износоустойчивост по маса I_m на образците, пресметнати по формули (2) и (3) - [7]. На хистограмата са сравнени по износоустойчивост образци с различна лята структура, получена при варираща скорост на охлаждане и термотретирани пробни образци след предварителна ТЦО и следващо изотермично закаляване на долен бейнит.



Фиг. 7 Абсолютната износоустойчивост по маса I_m на образците от легиран с Мо и В сив чугун в лято (1-7) и термообработено Състояние (8 и 9 -виж фиг. 2 и 3)

Най-висока износоустойчивост от лятите образци притежава образец №7 охладен при кристализация с максимална скорост, която съответства на 15 мм дебелина на пробата. По-голямата скорост на охлаждане благоприятства образуването на легиран цементит и специални карбиди, които обуславят нарастващата износоустойчивост. Незаконмерната износоустойчивост се дължи на неравномерното разпределение на карбидите в обема на пробите. Комбинираната термична обработка значително повишава износоустойчивостта на чугуна поради силното издребняване на пластинките от бейнитен ферит в металната основа на чугуна в резултат на предварителното термоциклиране (обр.8 и 9).

6. Заключение:

Комбинираната ТЦО като съчетание от ниско-, средно- и високотемпературна предварителна подготовка на чугуна за следващо изотермично закаляване в областта на долния бейнит води до комплексно повишаване на механичните показатели, което разширява областта на приложение за нисколегиран сив чугун. При оптимална комбинация на параметрите на интегрираните термични цикли се повишава твърдостта като в същото време нараства ударната жилавост на чугуна. Износоустойчивостта се променя в същата посока, което се дължи основно на силното издребняване на феритните пластини в структурата на долния бейнит. Резултатите от изследването показват, че свойствата на сивия чугун, който намира широко приложение в машиностроенето все още не са изчерпени и обработката с интегрирани технологии разкрива неизползван резерв от структури и свойства на материала.

ЛИТЕРАТУРА:

1. В.К.Федюкин.Термоциклическая обработка сталей и чугунов, 2-е изд прераб. Ленинград, 1977.
2. Hong-Seok Yang and H.K.D.H.Bhadeshia, Austenite Grain Size and the Martensite-Start Temperature, Scripta materialia, vol.60,2009,493-495
3. F.G.Caballero, H.K.D.H.Bhadeshia and all.Very Strong low temperature bainite, Materials Science and technology, march 2002, vol.18, 279-284.
4. L.S.Vassileva, S.V.Simeonova, R.L.Huston, B.P.Bardes, Types of TTT Diagrams for Various Matrix Microstructures of Unalloyed Ductile Irons, Materials science & Technology Conference Proceedings, Cinsinnati, USA, 2006
6. Кандева М., Трибомеханични феномени и интерпретации, Дни на Механиката, Варна, 2008, сп. Механика на машините, 2008
7. Kandeva M., E. Assenova, Wear and Serviceability of Thrust Bearings and Face Seals, Journal of the Balkan Tribological Association, vol. 11, № 2, 2005, p. 294 - 302.

ТЕРМИЧНА НАНОТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОБРАБОТВАНЕ НА СФЕРОГРАФИТНИ ЧУГУНИ

С. Симеонова

*Институт за космически изследвания и наноматериали-София
svasseva@abv.bg*

THERMAL NANO-TECHNOLOGY FOR TREATMENT OF SPHERE-GRAPHITIC CAST IRONS

S. Simeonova

Institute of Space Study and Nano-materials - Sofia

Summary

Thermal nanotechnology of combined thermal cycles has been used to improve complex of mechanical properties for unalloyed ductile iron. The austempering of investigated iron was integrated with initial thermo cycling in order to get finest grain size of parent austenite. Initial thermocycling was combined with continuous cooling of fine drained parent austenite. As a result of experimental combinations for thermal cycles with varying parameters nanostructured bainitic matrix of ductile iron has been established. The complex of hardness and impact toughness has been increased.

ВЪВЕДЕНИЕ

Сферографитните чугуни са естествени композитни материали с метална матрица от стомана и вместена графитна фаза със сфероидална форма, която придава на чугуна висока якост. След изотермично закаляване сплавите получават уникални свойства от висока износостойчивост, якост и умора при сравнително добра пластичност, което ги определя като нови материали. Изотермично закалените сферографитни чугуни непрекъснато разширяват позициите си на световния пазар, но потенциала им не е експлоатиран напълно поради феномена на непълното превръщане на аустенита в бейнит при изотермични условия [1,2,3,4]. Непревърнатият изходен аустенит е хетерогенен по отношение на въглерод и различните по въглеродна концентрация микрообеми достигат мартензитната си температура

по време на последното охлаждане като влошават механичните показатели и най-вече ударната жилавост на чугуна.

В настоящата работа е направен опит да се подобри ударната якост на изотермично закален нелегиран сферографитен чугун чрез комбинирани термични режими с цел получаване на бейнитна нано- или микроструктурна матрица [5].

МЕТОДИКА НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИТЕ ИЗСЛЕДВАНИЯ

За експериментите е използван нелегиран сферографитен чугун с микроструктура на металната основа 80% и 20% перлит.

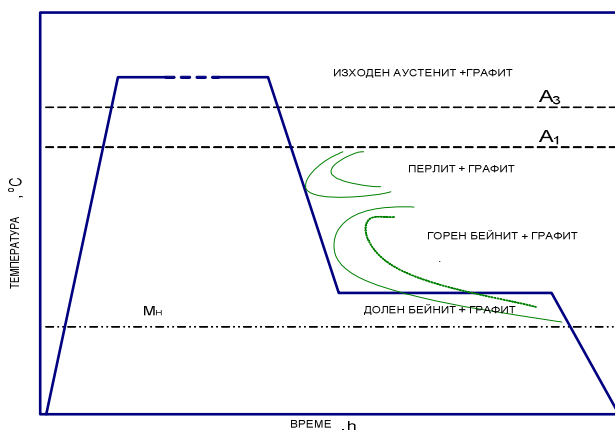
- Химичен състав на изследвания чугун

Табл.1

C	Si	Mn	S	P	Cr	Cu	Ni	Mg
3.31	2.74	0.21	0.008	0.045	0.04	0.08	0.04	0.06

- Термични режими за предварителна и окончателна термична обработка-

Фиг.1, 2, 3



Фиг.1 Класическа технология за изотермично закаляване на сферографитен чугун

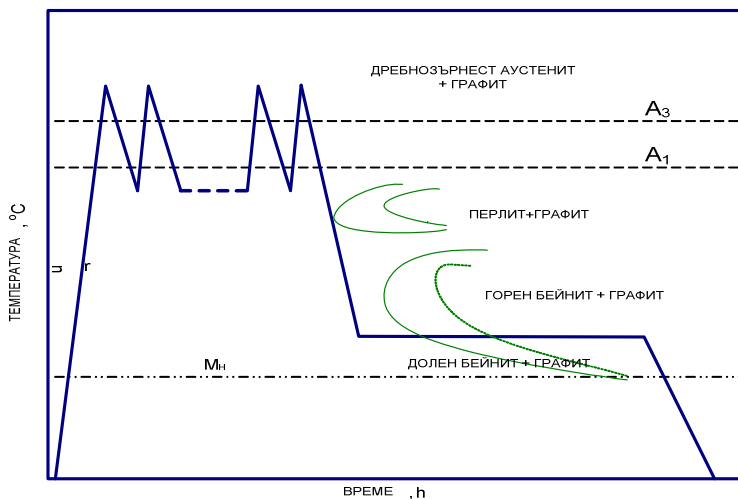
Пробни образци за ударна жилавост са обработени на машина за програмирана термична обработка. Нагриването е електросъпротивително със скорост 50°C/сек. Охлаждането до температурата на изотермично превръщане е със скорост 90°C/сек. ,за да се избегне разпадането на аустенита

в перлит. Фазовите превръщания се регистрират с термодвойка хромел-алюмел и бързодействащ дилатометър.

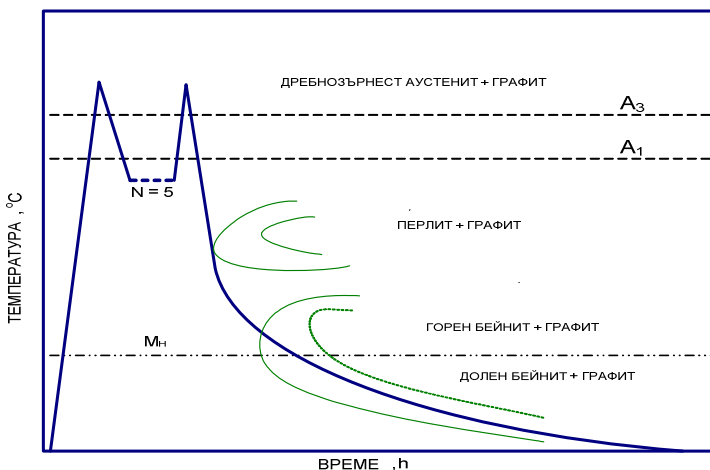
На фиг.1 е показан термичен цикъл за класическо изотермично закаляване на долен бейнит, за да се получи крайна структура като база за сравнение със следващите режими по отношение дебелината на бейнитните пластинки.

На фиг.2 е показан комбиниран термичен цикъл от предварителна високотемпературна термоциклична обработка (ТЦО) и следващо изотермично закаляване при същата температура (Фиг.1). Целта на редварителната ТЦО е да се издребнят максимално изходните аустенитни зърна.

На фиг.3 е комбиниран същия цикъл за предварителна ТЦО със следващо разпадане на изходния аустенит при непрекъснато охлаждане в температурния интервал на мартензитното превръщане.



Фиг.2 Комбиниран термичен цикъл от високотемпературна ТЦО и следващо изотермично закаляване при 270 °C



Фиг.3 Комбиниран термичен цикъл от високотемпературна ТЦО и превръщане при на изходния аустенит при непрекъснато охлаждане в мартензитната област

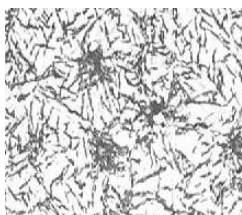
РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗ

Крайната структура на металната матрица след класическо изотермично закаляване (Фиг.4) е долен бейнит с дебелина на пластините от бейнитен ферит 20-35 мкм. и стабилизирани остатъчен аустенит. Макротвърдостта на структурата е 43HV30. След предварителната ТЦО в резултат на издребняването на аустенитните зърна след 5 цикъла аустенит-перлитно превръщане, дебелината на бейнитните пластинки намалява до 15-20 мкм.-фиг.5.

Аустенитните просройки са също много по-финни. Твърдостта на структурата е 48HV30, което се дължи на понижената температура на превръщане на преохладения аустенит. Температурата на аустенит-бейнитното превръщане се понижава от 300 до 285°C, което се дължи на обогатяването на изходния аустенит с въглерод по време на термоциклиране. След третия комбиниран режим за термообработка на чугуна, температурата на аустенит-бейнитно превръщане се понижава до 285°C, но полудифузионното превръщане на аустенита протича в мартензитния интервал с много бавна скорост(18 часа).

Резултатите са силно дисперсна бейнитна матрица на чугуна с дебелина на пластинките от бейнитен ферит от 70 до 160 нм. И средна твърдост от 58 до 62HV30 (фиг.6). Дължината на пластинките намалява значително, но измерването е затруднено от различните размери и гру-

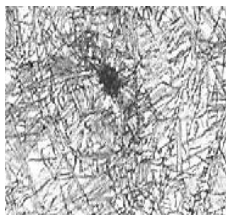
пирането им в малки снопчета. Изследването се провежда със сканиращ електронен микроскоп.



x500

*Микроструктура долен
бейнит след изотермично
закаляване -фиг.1*

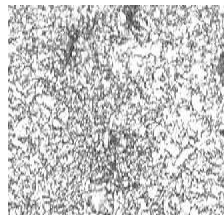
фиг.4



x800

*Микроструктура след
термичен режим на
фиг.2*

фиг.5



x1000

*Микроструктура след
термичен режим
фиг.3*

фиг.6

Всички термообработени образци – тип Шарпи са изпитани на ударна жилавост . Средните стойности за ударна жилавост от 10 изпитвани проби термообработени по един и същи режим се увеличава от 48 J по режим на фиг.1 на 56 J по режим на фиг.2 да 87 J след режим на фиг.3. Резултатите показват, че след използване едновременно на два технологични подхода, предварително термоциклирани и заместване на изотермичните условия за превръщане на аустенита в долен бейнит с непрекъснато охлаждане може да се постигне значително повишаване на съпротивлението на материала срещу ударно натоварване.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведени са сравнителни изследвания с пробни образци от нелегиран сферографитен чугун, който в лято състояние има метална основа от 80% и 20 % перлит. Сферографитният чугун е обработен чрез термичен цикъл за класическо изотермично закаляване на долен бейнит (фиг.1), комбиниран термичен цикъл от предварителна високотемпературна термоциклична обработка (ТЦО) и следващо изотермично закаляване при същата температура (Фиг.1) и предварителна ТЦО със следващо разпадане на изходния аустенит при непрекъснато охлаждане в температурния интервал на мартензитното превръщане.

Анализът на резултатите показва, че комбинираните термични режими са технологичен подход, който позволява да се използва неразкрит резерв от структури и свойства на широко прилаганите в инженерната практика сплави като чугуните за постигане на целенасочено и комплексно повишаване на меначичните свойства на материалите.

ЛИТЕРАТУРА:

1. www.appliedprocesses.Int.com
2. www.ductile.org/didata/section4/4intro.htm
3. www.uctm.edu/bg/j/2009-3/1_Review_Jekova_213-228.pdf
4. [Process of making an **austempered ductile iron** article - Patent 4880477](#)
5. L.Vassileva, Technology Alternatives for Bulk Nanostructured Materials, J. "Challenges in Higher Education and Research, vol.6, София, 2007.

Mechanochemical treatment as a stage in sol-gel preparation of perovskite LaFeO₃

M. Milanova, St. Pereva, D. Todorovsky

*Faculty of Chemistry, University of Sofia, 1, J. Bourchier Blvd.,
Sofia 1164, Bulgaria, e-mail: nhmm@wmail.chem.uni-sofia.bg*

Механохимичната обработка като етап при получаването на перовските по зол-гел метод

М. Миланова, Ст. Перева, Д. Тодоровски

Abstract

The preliminary results on the effect of the mechanoactivation of intermediate on the thermal decomposition processes taking place in the course of LaFeO₃ preparation by the so called polymerized complex method are reported. The final aim of the work is to find experimental conditions for obtaining carbon-free final product at relatively lower heating temperatures thus ensuring higher specific area and catalytic activity. The mechanoactivation of the product received after heating of the ester resin at 300 °C is performed by means of planetary ball mill Pulverisette 7 using zirconia vessels and balls. The thermal analysis shows that the activation for 30 min at 800 min⁻¹ causes a decrease of the temperature of the complete decomposition with ~140 °C.

Introduction

The structural, electrical and magnetic properties of the perovskites are dependent on several factors, including method of preparation, sintering temperature and time, chemical composition and doping with various cations.

LaFeO₃, as a typical ABO₃-type perovskite structure material, is one of the important perovskites widely reported because of its strong catalytic activity [1-4] and various other applications including solid oxide fuel cells, sensors, oxygen permeation membranes, etc. Conventionally solid-state oxide reaction has been used for its preparation. Mechanical mixing of lanthanum oxide and iron oxide is followed by calcination at temperature higher than 1500 °C for 48 h [5, 6]. A short review of some of the alternative routes to solid-state reaction - wet chemical synthesis methods is made in [7]. Based on the target applications

different synthesis methods, such as co-precipitation, combustion, sol-gel methods, etc. are proposed. In all these methods final calcinations temperature is in range of 500–950 °C [7].

The sol-gel citric (Pechini) method is also used for LaFeO₃ synthesis [7, 8]. According to [7] calcinations of citrate precursors has been carried out using a cycle which involves raising the temperature from room temperature to 600 °C within 2 h and hold on the same for 2 h, raised to 800 °C and held for 4 h. Crystalline powders of LaMn_xFe_{1-x}O₃ are prepared by sol-gel citric autocombustion method [9, 10] by heating the powders at 900 °C for 8 h to get final product. Nanosized LaFeO₃ with crystallites of 31 nm was synthesized by the Pechini method of the polymerized complex (at different La:Fe ratios in the starting material) using the complexation of the relevant metal ions with citric acid (CA) in ethylene glycol (EG) solution [11] and its catalytic efficiency on the methanol decomposition was studied [12].

One of the main problems arising at catalytic application of the perovskites is the temperature of synthesis, especially when organic substances are used as constituents of the starting material [7-14]. This type of methods has substantial advantages but a minimal temperature has to be applied as higher surface area and catalytic efficiency to be obtained. However, the calcination time and temperature has to ensure a complete burning of organic components, including carbon rested as a result of their degradation.

The mechanical treatment of the intermediate products from the thermal treatment of the initial reaction mixture is a common method to enhance solid state reactions and is applied at LaFeO₃ production via such type of reactions between the respective oxides. To our knowledge grinding of intermediates is not applied so far as a stage of the Pechini's method for its preparation.

In the present paper some preliminary results are reported concerning the effect of mechanical treatment of the intermediate (obtained as a result of polyester resin heating) on the course of its thermal decomposition.

Experimental

LaFeO₃ was prepared by the polymerized complex method dissolving La(NO₃)₃.6H₂O and Fe(NO₃)₃.9H₂O (p.a. grade) in ethylene glycol (EG) solution of citric acid (CA) at mole ratio La:Fe:CA:EG = 1:1:4:10 and heating the transparent sol at stirring at 50 °C for 2 h. As a result of the complexation and esterification processes taking place, mixed metal citric complexes are formed, immobilized in oligoester resin. It was heated in furnace for 3-12 h at 300 °C and after that – for 4 h at 800 °C. A well defined highly crystalline single phase product is obtained (Fig. 1).

In some of the experiments the intermediate obtained at 300 °C was undergone (before the following heating) to mechanoactivation for 3 or 30 min

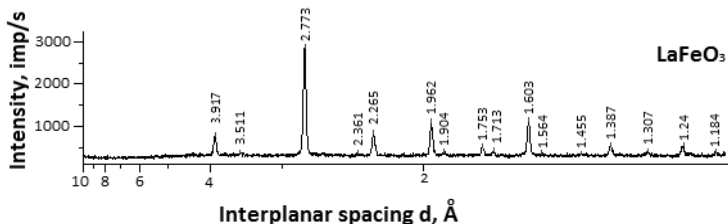


Fig. 1. X-ray diffractogram of LaFeO_3 prepared after heating at $800\text{ }^\circ\text{C}$ at 400 or 800 min^{-1} in planetary ball mill Pulverisette 7 using zirconia vessels and balls of 5 and 10 mm in diameter. The vessel was loaded with 5 g of the treated sample and filled to 2/3 of the volume with balls.

The DTA, TG and DTG curves of the samples heated at $300\text{ }^\circ\text{C}$ were taken by MOM-Paulic-Paulic-Erdey (Hungary) derivatograph. Approx. 0.1 g of the studied sample was heated in synthetic corundum crucible in static air at heating rate of $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$.

The content of carbon was determined by means of the elemental analyzer Vario EL III V5.018. The X-ray diffractograms were taken by a powder diffractometer Siemens D500 at $\text{CuK}\alpha$, 40 kV, 2θ step $0.05^\circ/5\text{ s}$. The morphology of the mechanoactivated samples was evaluated by a scanning electron microscope JEOL JSM 35CF.

Results and Discussion

The effect of the mechanoactivation on the samples morphology is seen on Fig. 2. Polydispersive product with prisms up to $4 \times 7\text{ }\mu\text{m}$ is formed as a result of short (3 min) activation at 400 min^{-1} . A similar but much finer product ($1 \times 1\text{ }\mu\text{m}$) is obtained after 30 min treatment at 800 min^{-1} with clearly expressed agglomeration.

The carbon content in the product heated for 12 h at $300\text{ }^\circ\text{C}$ is 10 %.

The DTA, TG and DTG curves of the samples heated at $300\text{ }^\circ\text{C}$ are shown on Fig. 3. In Table 1 the temperatures at which the decomposition process (evaluated by the mass loss) is completed and overall mass losses are summarized. Few conclusions could be drawing:

- Prolonging the time of preliminary heating at $300\text{ }^\circ\text{C}$ (from 5 to 12 h) decreases the temperature up to which the mass-loss is observed (T_{max} , Table 1). The mass loss at the following ignition at higher temperature is significantly lower compared with the one, registered after 5 h heating. However, as the elemental analysis show, the relative content of the carbon in the product obtained at 12 h heating at $300\text{ }^\circ\text{C}$, but stays above 5 %. It has to be supposed that some decomposition processes can take place at relatively low temperature ($300\text{ }^\circ\text{C}$) but due to kinetic reasons are rather slow. Indeed, the DTA pattern of the sample heated for 12 h in the interval $120\div 460\text{ }^\circ\text{C}$ is different compared with the ones of the other samples. It is supposed that in this

interval separation of EG bonded as adduct, deesterification and decarboxylation of the formed COOH groups in the initial complexes proceeds.

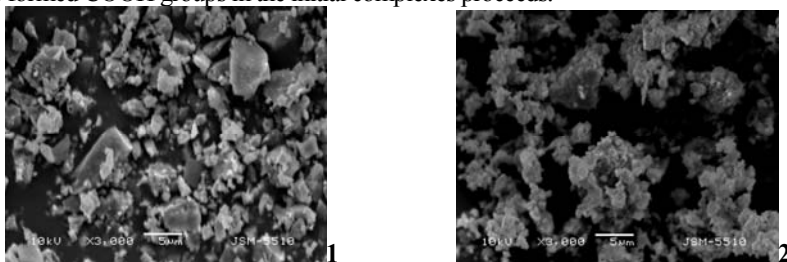
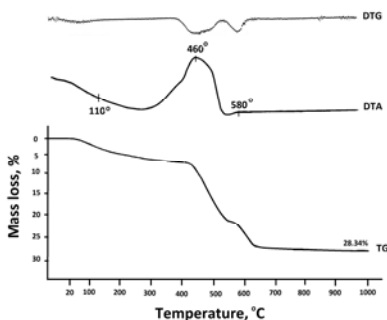
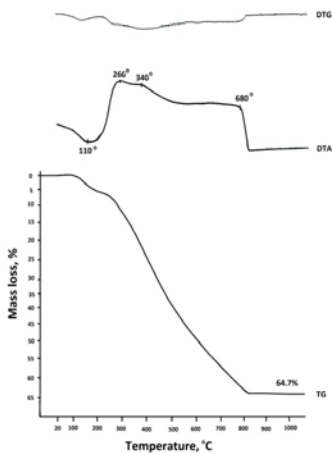


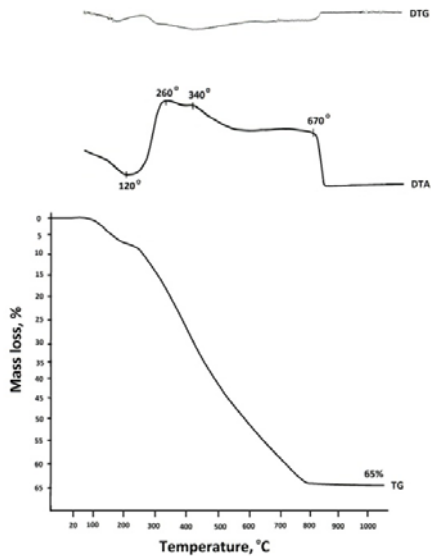
Fig. 2. *LaFeO₃ precursor heated at 300 °C and mechanoactivated for 3 min at 400 min⁻¹ (1) and for 30 min at 800 min⁻¹.*



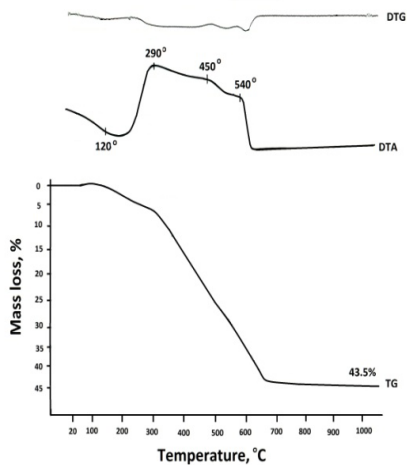
1



2



3



4

Fig. 3. DTG, DTA (up – exo) and TG curves of samples preheated at 300 °C (1) and of the same samples, mechanoactivated for 3 min at 400 min⁻¹ (2) and for 30 min at 400 (3) and at 800 min⁻¹ (4).

Table 1. Influence of the mechanoactivation on the thermal decomposition of the intermediate, preliminarily heated at 300 °C (T_{\max} , °C - temperature up to which mass-loss is observed)

Sample №*	Preactivation heating, h	Mechanoactivation		T_{\max} , °C	Mass loss, %
		Time, min	Speed, min ⁻¹		
1	12	-	-	600	28.3
1a	5	-	-	700	
2	5	3	400	690	64.7
3	3	30	400	670	65.0
4	5	30	800	560	43.5

* For the sample numbers meaning see Fig. 3.

- The mechanoactivation decreases T_{\max} . In charge for the effect is rotation speed but not the activation time. Along with the decrease of T_{\max} , the overall mass-loss observed at post-activation annealing decreases. This fact suggests that some decomposition of the product takes place in the course of the mechanoactivation.
- No significant qualitative differences in the temperature intervals of the process stages exists between the samples mechanoactivated at different conditions (excluding the above mentioned temperature decrease).

Conclusion

The effect of the mechanoactivation on the decomposition of LaFeO₃ precursor is observed at high mill rotation speed. A 30 min-mechanoactivation of the intermediate (at 800 min⁻¹) has an effect on the final decomposition temperature, higher than that of 7 h-heating at 300 °C. Such activation, probably accompanied with heating in oxygen enriched air, is a promising route for decrease of the temperature for production of carbon-free final products.

Acknowledgement

Financial support of Bulgarian National Science Fund (project DO- 02-295) is acknowledged.

References

1. Li, S., L. Jing, W. Fu, L. Yang, B. Xin, H. Fu. – *Mater. Res. Bull.* **42** (2007) 203.
2. Tejuca, L. G., J.L. Fierro, J.M.D. Tascon. -*Adv. Catal.* **36** (1989) 237.
3. Yang, M., A. Xu, H. Du, C. Sun, C. Li. – *J. Hazard Mater.* **139** (2007) 86.
4. Ciambelli, P., S. Cimino, L. Lisi, M. Faticanti, G. Minelli, I. Pettiti, P. Porta. - *Appl. Catal. B: Environ.* **33** (2001) 193.
5. K. Li, K., D. Wang, F. Wu, T. Xie, T. Li. *Mater. Chem. Phys.* **64** (2000) 269.

6. Shi, M., N. Liu, Y. D. Xu, C. Wang, Y. P. Yuan, P. Majewski, F. Aldinger. - *J. Mater. Process. Technol.* **169** (2005) 179.
7. Gosavi, P. V., R. B. Biniwale. - *Materials Chem. Physics* **119** (2010) 324.
8. Kumar, M., S. Srikanth, B. Ravikumar, T. C. Alex, S. K. Das. *Mater. Chem. Phys.* **113** (2009) 803.
9. Chen, M., X.-M. Zheny. - *Indian J. Chem.* **41A** (2002) 2277.
10. Hankare, P. P., M. R. Kadam, P. D. Kamble, S. D. Jadhav, U. B. Sankpal, R. P. Patil, V. B. Helavi, N. S. Gajbhiye. - *J. Alloys Compounds* **489** (2010) 233.
11. Milanova, M., St. Pereva, D. Todorovsky, D. Paneva, L. Ivanova, N. Velinov, T. Tzoncheva, I. Mitov. - In: *11th National Workshop "Nanoscience & Nanotechnology, 1-3-10.2009, Varna, # D11.*
12. Paneva, D., T. Tzoncheva, M. Milanova, S. Pereva, N. Velinov, D. Todorovsky, I. Mitov. - In: *11th National Conference on Catalysis, 27. 11. 2009, Sofia.*
13. Bellakki, M. B., B. J. Kelly, V. Manivannan. - *J. Alloys Compounds* **489** (2010) 64.
14. Stathopoulos, V. N., V. C. Belessi, T. V. Bakas, S. G. Neophytides, C. N. Costa, P. J. Pomonis, A. M. Efstathiou. - *Appl. Catalysis B: Environmental* **93** (2009) 1.

ПРОДУКТИТЕ SX6000 И UL 101 НА QMI-БЪЛГАРИЯ ООД РЕАЛИЗАЦИЯ НА МОДЕРНИ ИНТЕРДИСЦИПЛИННИ ТРИБОТЕХНОЛОГИИ

Л. Генева

QMI – България, liliageneva@abv.bg

THE PRODUCTS SX6000 AND UL 101 OF THE COMPANY QMI- BULGARIA LTD. REALIZATION OF MODEERN INTERDISCIPLINARY TRIBOTECHNOLOGY

L. Geneva

Трибологията бе обявена за самостоятелна наука през 1966 г. в Лондон с приемането на известния сред специалистите доклад на проф. Петер Джост. Това стана възможно, когато се осъзна, че процесите на триене, износване и мазане имат самостоятелно и съществено значение за бъдещото развитие на световната икономика.

Трибологията, в съответствие и с международни стандарти, се определя като наука и техника за контактните взаимодействия на телата при релактивното им преместване.

Връзката между допирането, триенето и износването е намерила отражение под една или друга форма в различните механични, молекулни и механично-молекулни теории, но тя стана доминираща в теоретичните представи на трибологията едва след въвеждане на понятието фактическа площ на допирането, т.е. сумарната площ на отделните петна на механичния контакт.

Мазането е вид триботехнология, която намалява триенето и износването в контактните /съединения/ повърхнини.

Чрез продуктите от серията SX6000 на QMI-БЪЛГАРИЯ ООД се реализират триботехнологии, с които триенето и износването намалява до 88% - Sequence III E. Те удължават живота на техниката, намалява се делът на профилактичната и аварийна ремонтна дейност, а сумарно всичко това води до значителни икономии от подобряване на поддръжката.

Продуктите от серията SX6000 представляват сложна комбинация от отрицателно заредени субмикронни PTFE-частици, масла с доказано и гарантирано качество, повишаващо суспендирането, почистващи и свързва-

щи агенти, както и някои други специални компоненти. Независимо от това третирането с продуктите е много просто – заместват се от 5% до 15% от основното масло със съответния продукт SX6000. В процеса на работа на третираното съоръжение, мазителната система разнася продукта по всички триещи се повърхности. Първо порите на тези повърхности се почистват. След това повърхностно активните вещества, които имат афинитет към металната повърхност, извличат PTFE-частиците от маслото и ги отлагат в порите на метала. Когато триещите се повърхнини се затоплят, PTFE-смолите ускорено се разширяват. Това разширение, комбинирано с контактното налягане между триещите се повърхнини и специализираните свързващи вещества образуват защитен слой от PTFE върху всички триещи се метал върху метал повърхности. Вследствие на това третираните повърхности се плъзгат като “мокър лед върху мокър лед” и само абразивното действие или хонинговане могат да отстранят защитния слой. Ресурсът на повърхностния слой е в рамките на 80 000 – 100 000 км при автомобилни двигатели и доста по-голяма при съоръжения в стационарен режим. В резултат на това спектрометричните анализи на маслото след третиране показват намаляване на износването до 88%. Резултатите от третирането са признати от Асоциацията на химическата индустрия /CMA/ САЩ.

Каква е гамата от продукти SX6000.

1. QMI МЕТАЛ ПРЕП – обезмаслител – гарантиран ефект при промиване на двигатели, а също така концентрирано средство за универсално почистване. Помага за подготовка на съоръженията за третиране с SX6000.
2. SX6000 за третиране на двигатели и малки двигатели – двутактови.
3. SX6000 за третиране на скоростни кутии, редуктори и диференциали.
4. SX6000 за третиране на компресори, хидравлични системи и пневматика.
5. ГРЕСИ QMI с PTFE - работен диапазон от -35°C до +285°C. Непроакапващи, в комбинация с PTFE са с ненадмината кохезия и адхезия при екстремално високи и ниски температури и изключително влажни условия.
6. ЛЕК ВЕК – уплътнява всякакви уплътнения. Бързо. Трайно. Сигурно. отлични резултати при профилактика. Продуктът е съвместим с всички масла. Не съдържа хлор.

Какъв е ефектът от реализирането на триботехнологии с помощта на SX6000?

- намалява триенето и износването да 88%;
- намаляват разходите по поддръжката;
- осигурява защита срещу корозия;

- удължава се животът на детайлите в съответната машина минимум с 1/3;
- подобрява се работната характеристика;
- улеснява се стартирането;
- намалява шума от 2 до 4 dB;
- намаляват вибрациите.

В подкрепа на гореизложеното са тестовете, през които са преминали продуктите SX6000:

- Тестът на Юнайтид Парсъл Сървис, проведени в Технически център Ридж, показва увеличение от 102 на 107 к.с. след третиране с SX6000 за двигател;
- Динамометричният тест на шаси на Боби Унзер показва увеличение от 90 на 95 к.с. след третиране на двигател;
- Доклад от проведени изпитания на двигател М3 на BMW на МБО показва, че при нормално натоварване мощността се покачва с 5 к.с., а при пълно натоварване на двигателя температурата спада от 105°С на 100°С;
- Известната в транспортната индустрия компания ЯКъминз Атлантик Инкорпорейтид докладва за резултатите от динамометричния тест, направен върху Ел Ти Ей 10 Къминз – дизелов двигател, третиран с продукт за двигател, а именно увеличение от 102 на 107 к.с.;
- Мазда – Япония първа прилага от 1994 г. продуктите SX6000 в “Original Mazda Teil”;
- Тест, проведен от Югозападен изследователски институт – една от най-реномираните лаборатории в САЩ е на американското дружество за изпитване и изследване на материалите и се нарича СЕКУЕНС III Е. Този тест е част от програмата за определяне на типовите изпитания на Американския петролен институт и военните спецификации. Използвани са контролни масла за съпоставяне на отчетните характеристики Всекуенс III Е стпрямо характеристиките на лубрикантите в използваните автомобили при полеви условия.

Резултатите след третиране на двигатели с SX6000 са намалено триене и износване до 88%;

- Тест GOTLOB констатира: понижението на съпротивлението, както и на разхода на гориво, доказва, че дори след повече от 80 000 км е налице забележителна степен на повърхностен защитен слой върху триещите се повърхнини вследствие на третиране с SX6000;
- Университета “Хайлброн” – отчита ефективността на SX6000 и при лекоходови масла.

Това е само малка част от изпитанията, през които са преминали продуктите SX6000 по пътя за доказване на своята ефективност и резултатът винаги е един и същ – намалени разходи по поддръжка, многократна възвръщаемост на вложените средства – от 1:4 до 1:20.

Вече 15 години клиентите на QMI-БЪЛГАРИЯ имат възможност да се убедят в качествата на продуктите от серията SX6000, да удължат живота на машините и съоръженията, да спестят значителни средства от ремонтно-възстановителна дейност.

Ето отзивите на някои от тях:

- Още през 1995 г. ВМЗ “Сопот” тества продукта в двигателя и скоростната кутия на “Камаз” и “Латвия” и установи: повишаване на компресията в цилиндрите; икономия на масло; икономия на гориво; намалено съдържание на СО в изгорелите газове;

- Продуктите са преминали и през изпитание в “ТЕХНОТЕСТ” още през 1993 г. Тестът е проведен върху лекотоварен автомобил VW 1,6 дизел. Двигателят е третиран с SX6000 – резултатите сочат увеличение на компресията в цилиндрите с над 2 единици;

- В лабораторията на Петрол АД клон Варна беше извършен експеримент с продукта за третиране на гориво. Какво е заключението: продуктът съединява водата с горивото в хомощенна емулсия, намалява се съдържанието на сира, повишава се октан-цитанът;

- От “Rentakar – Александров” – Бургас съобщиха, че след третиране на двигатели на автомобили “Лада Самара” с SX6000 двигателят е утихнал, повишила се е мощността, но ъфрапиращото е, че поради небрежност клиент е карал автомобил без масло в картера. За щастие двигателят е бил третиран с продукт за двигател SX6000 и това е предотвратило блокирането му /5/.

През 2000 г. в ТЕЦ “МАРИЦА-ИЗТОК 2” ЕАД беше третиран редуктор за задвижване на реверсивна лента на КРС 6”А” във въглищно стопанство с SX6000 за редуктори и скоростни кутии. След 450 работни часа комисия констатира, че не забелязва никакво износване на зъбната двойка пиньокорона, както и на останалите части на редуктора.

ЛУКОЙЛ НЕФТОХИМ БУРГАС през декември 2005 г. третира компресори ЦК-201/1 с мощност 5 MW с SX6000 за компресори и в края на януари 2006 г. отчете намаляване консумацията на ел.енергия с 5,39%.

През ноември 2006 г. в “КРЕМИКОВЦИ” АД база “Ремонт на енергетични съоръжения” констатираха: след направен оглед на ляв и десен вертикален двигател, тип пв 172 на универсална клетка стан 1700-горещо валцоване, че състоянието на лагерите предвид дефектите в лабиринтните им уплътнения е много по-добро вследствие на използването на грес QMI, въпреки използването на 1/3 от досегашното количество. Няма изтичане на смазка.

Сред клиентите на QMI-БЪЛГАРИЯ ООД са:

Българска Национална телевизия.

Български пощи ЕАД.

Градски транспорт – София

Бургас Камаз – ООД

ТЕЦ “МАРИЦА ИЗТОК-2” ЕАД
Завод “Монтана” – гр. Монтана
Сектор “ж.п.Транспорт” към ”Топлофикация” ЕАД Перник.
Солвей Соди – Девня;
Полимери АД – Девня;
Радомир – Леко Ко – ООД;
“Криотехгаз Леко Ко” – Радомир;
Антибиотик – Разград
ТЕЦ “БОБОВДОЛ”
НЕК ЕАД Клон “АЕЦ КОЛЗОДУЙ” ЕП-2
ХАН ОМУРТАГ АД – Шумен
ЛЕСОПЛАСТ АД – Троян
БАЛКАНФАРМА – Троян
Хлебопроизводство – Търговище
ЗММ София
Стомана Перник
СВИЛЮЗА ЕАД – Свищов
Пристанищен комплекс ЕООД – Лом
БУЛГАРТАБАК – Плевен
Каменина – Плевен
Астика – Хасково
“С и С7” – ЕООД – Монтана и много други.

Всички те повярваха, използват и са убедени в ефекта и високото качество на триботехновлозиите на QMI-БЪЛГАРИЯ ООД. Успяха да намалят разходите по поддръжката на машините и съоръженията, да удължат живота им и да реализират значителни икономии.

Освен технологията SX6000, QMI-БЪЛГАРИЯ ООД предлага на българския пазар УЛТРАЗВУКОВ ШПИОНИН 101 – уред за ранна диагностика на техниката с цел предотвратяване на нежелателни аварийни ситуации. С него може да се извършва диагностика на флуиди, хидравлика, електричество, електроника, сгъстен въздух, газови системи, механика, празни пространства или по-общо казано, окачествяване състоянието на контактни съединения.

POWERBOSS INTEGRA – уред за управление работата на асинхронни двигатели и икономия на електроенергия.

Продуктите и устройствана на QMI-БЪЛГАРИЯ ООД – SX6000, УЛТРАЗВУКОВ ШПИОНИН 101 и POWERBOSS INTEGRA, разработени на база постиженията на съвременната наука, стоят в основата на реализацията на модерните интердисциплинни триботехнологии на 21 век.

ВИБРОУСТОЙЧИВОСТ НА ТРЪБОПРОВОДИ

Вяра Пожидаева¹, Драган Живкович², Мара Кандева³

¹Минно-геоложки университет "Св. Ив. Рилски", 1700 София, България
vpojidaeva@abv.bg

²Висше техническо училище, 23 000 Зренянин, Сърбия

³Технически университет, София, България
kandeva@tu-sofia.bg

RESISTANCE TO VIBRATION OF PIPELINES

V. Pozhidaeva¹, Dr. Zhivkovich², M. Kandeva³

¹ Mining-and-Geological University "St.Ivan Rilski", 1700 Sofia, Bulgaria

² Higher Technical School, 23000 Zrenyanin, Serbia

³ Technical University, Sofia, Bulgaria

Abstract: *The article considers some of the basic conditions which determines the resistance to vibration of pipeline systems. Depending on steel grade and the vibro-tensions is determined the axial force of overloading.*

Key words: *resistance to vibration, pipeline*

Натоварванията и въздействията, които предизвикват вибрациите в тръбопроводите се разделят на три групи:

а) механични въздействия на тръбопровода от страна на оборудването и опорите, породени от неуравновесеност на движещите се маси, неизправности в лагерите и др.;

б) нестационарни хидродинамични въздействия в резултат на :

- пулсации на налягането на входа на тръбопровода от компресори и помпи;

- преминаване на двуфазна среда по системата, особено в пробков режим;

- разделяне на потока на флуида в резултат на местните съпротивления, кавитация и др.;

в) акустични колебания на работното вещество в тръбопровода (принудителни надлъжни колебания на средата).

За определянето на вибрационна устойчивост, тръбопровода се разделя на участъци според неговите контруктивни особености и се представя като прътова система, като се изчисляват неговите собствени и принудителни колебания.

Оценката на вибро-акустична устойчивост на тръбопровода се прави за всички собствени честоти в диапазона до 100 Hz. Тяхното пресмятане се осъществява по прътова схема с отчитане на масата на работния флуид и изолацията. Арматурата се представя като съсредоточена маса. В разчетите се отчита също и повишената податливост на системата в криволинейните участъци на тръбопровода. При апроксимация на формата на собствените колебания, броят на разчетните сечения където се съсредоточава масата на разглеждания участък, трябва за се избере така, че да описва точно необходимия брой форми на колебанията. Сеченията с приведена маса се избират в местата на приложеното вибрационно натоварване. При сложни разклонени тръбопроводни схеми, могат да бъдат използвани приблизителни методи за анализ на формите на собствените колебания.

Амплитудите на принудените колебания се определят посредством измерване или изчисления в процеса на пуск и наладка и се представят във вид на премествания или външни сили. Нестационарните хидродинамични въздействия се определят за характерни сечения от тръбопровода, в които се променя големината и направлението на скоростта на потока. Пулсациите генерирани от бутални и центробежни машини се представят във вид на амплитудно-честотен спектър.

След определянето на собствените и принудените колебания се извършва проверка за виброустойчивост при спазване на изискванията за безопасност и експлоатационна надеждност.

Първият критерий за безопасна експлоатация, а следователно и за виброустойчивост, е изключването на условия за възникването на резонансни явления. Необходимо е честотите на собствените колебания f_o да не съвпадат с честотите на принудените колебания f_f при спазване на следното съотношение:

$$1,3 \leq \frac{f_o}{f_f} \leq 0,7 \quad (1)$$

При оценка на виброустойчивостта за всяко характерно сечение следва да се определи максималната амплитуда на еквивалентните вибрационни напрежения ($\sigma_{a\theta v}$), получени в резултат на различните форми на колебания.

От особено значение е да се предвиди появата на евентуални пукнатини и дефекти като нецялостности по повърхността на тръбите. В този случай оценката на виброустойчивост се реализира при условие, че началните и крайни размери на пукнатините (пукнатиноподобните дефекти) подложени под действие на вибрационно напрежение не водят до достигане границата на умора. Такова допускане е справедливо, когато броят на вибрационните цикли не превишава 10^7 за времето на експлоатация на тръбопровода. Достигане на праговото значение на коефициента на интензивност на напрежение при вибрации, означава разрушаване на тръбопровода за по-малък период от време, отколкото разчетния ($10 \div 40$ години).

За изходна полукръгла микропукнатина при коефициент на разкритие 1,0 допустимата амплитуда на вибронепрежението се намира от условието:

$$[\sigma_{a\theta v}] = \frac{K}{\sqrt{0,0005 \cdot \pi \cdot a_o}} \quad (2)$$

където: $[\sigma_{a\theta v}]$ е допустима амплитуда на напрежение при вибрации в $[MPa]$;

$K = 1 \div 2 [MPa/m^2]$ е ефективно значение на амплитудата на праговия коефициент на интензивност на напрежението при умора;

$a_o = 0,1 \div 0,5 [mm]$ е радиус на полукръглата пукнатина.

Наред с направените допускания следва да се отчете безопасното ниво на вибронепрежението, за които при реални размери на повърхностна пукнатина от умора, границата на умора е недостижима. За оценка на такива напрежения се използва условието:

$$\{\sigma_{a\theta v}\} = \frac{K}{\sqrt{0,0005 \cdot \pi \cdot a_f}} \quad (2)$$

където: $\{\sigma_{a\theta v}\}$ е безопасна амплитуда на напрежение при вибрации, $[MPa]$;

a_f е максимално допустимият радиус на полукръглата пукнатина като се вземат под внимание равните половини на номиналната дебелина на стената на елемента.

Разчетният брой пълни цикли на спиране и пускане на тръбопровода с умерена температура трябва да бъде по-малко от допустимото:

$$N_c \leq [N] \quad (3)$$

където: N е осово усилие от допълнително натоварване, $[N]$;

N_c е пресметнатият брой пълни цикли на натоварване на тръбопровода.

В зависимост от вибрационите напрежения и марката стомана N може да се определи от следните условия:

1. При $\sigma_{a\theta v} \leq \{\sigma_{a\theta v}\}$

- за въглеродна и легирана стомана

$$[N]_1 = \frac{5,9 \cdot 10^5}{\left[\left(\frac{\sigma_{a\theta} + \sigma_{a\theta v}}{80} \right)^{1, \sigma} - 1 \right]^{1,875}} \quad (4)$$

- за аустенитна стомана

$$[N]_1 = \frac{4,2 \cdot 10^5}{\left[\left(\frac{\sigma_{a\theta} + \sigma_{a\theta v}}{80} \right)^{1, \sigma} - 1 \right]^{1,875}} \quad (5)$$

където $\sigma_{a\theta}$ е приведено към нормална температура еквивалентно напрежение на пълния цикъл на натоварване, $[MPa]$.

2. При $\{\sigma_{a\theta v}\} < \sigma_{a\theta v} < [\sigma_{a\theta v}]$ за всички стомани е в сила условието:

$$[N]_2 = [N]_1 \left(1 - \frac{\sigma_{a\theta v} - \{\sigma_{a\theta v}\}}{[\sigma_{a\theta v}] - \{\sigma_{a\theta v}\}} \right) \quad (6)$$

3. При $\sigma_{a\theta v} \geq [\sigma_{a\theta v}]$ за тръбопроводи от всички стомани експлоатацията е недопустима.

За вискотемпературни тръбопроводи в условия на вибрации при $\sigma_{\theta} \leq 0,6[\sigma^{20}]$ трябва да е изпълнено условието

$$N_c \leq [N], \quad (7)$$

а при $\sigma_{\theta} > 0,6[\sigma^{20}]$ трябва да е изпълнено условието:

$$\frac{N_c}{[N]_k} + \frac{\sigma_{\theta}}{1,2[\sigma^{20}]} \leq 1 \quad (8)$$

където: $[N]_k$ е допустим брой пълни цикли на натоварване при вибрации, $[\sigma^{20}]$ е допустимо напрежение при нормална температура, $[MPa]$.

За типови тръбопроводи в качеството си на критерии за виброустойчивост могат да бъдат използвани допустимите амплитуди на преместване в характерни сечения на тръбопровода определени чрез измерване и/или чрез изчисления.

Проверката за виброустойчивост на тръбопроводите е основна задача при тяхното оразмеряване. Виброустойчивостта има пряко отношение към безопасната и надеждна експлоатация на тръбопроводните системи.

Литература

- [1] VNIPIneft, RTM 38-001-94, The Instructions on calculation on toughness and vibration technological steel pipe line, Approved by Gosgortekhnadzor RF 1994,
- [2] <http://dwg.ru/dnl/2059>.
- [3] NTP Truboprovod Ltd.,STP 09-04-02 (001-STP/A), Calculation on toughness and vibration steel technological pipe line, 2005.
- [4] Goncharov I.B., Matangin K.M., Defectoscopy of the coal-mining equipment, Moscow, Nedra, 1990.

СЪВРЕМЕННИ ТЕНДЕНЦИИ В НАНОТРИБОЛОГИЯТА

Гергана Начева

*ФАИО, 3ти курс, Индустриално Инженерство
ТУ - София*

*Студентски екип – TRIBOLAB
g.yordanova.nacheva@gmail.com*

MODERN TENDENCIES IN NANOTRIBOLOGY

G. Nacheva

*Faculty of Aviation Engineering, 3rd course,
Industrial Engineering, TU – Sofia,
Students' team – TRIBOLAB*

Abstract: The main focus of this paper is Nanotribology and the future that this new science presents to people. However, there are certain problems and uncertainties that are connected with the nanotechnologies and part of these problems are presented here together with nanotechnology's innovations.

KEY WORDS: Nanotribology, Nanotechnology, Problems, Future

1. Въведение.

Нанотехнологията се появява като идея през 1959 и остава само теория до 1981, когато се появява STM (scanning tunneling microscopy), визуализация на топографията на повърхността и електронната структура с атомно-пространствена резолюция и прави възможно наблюдаването и манипулирането на атомни структури като buckyballs (въглеродни молекули с формата на футболна топка, открити през 1985) и carbon nanotubes (въглеродни атоми, които имат формата на издължени кухи тръби, открити през 1991). Техническата дефиниция на трибологията накратко е: изследване на взаимодействащи си процеси, възникващи при адхезия, триене, надраскване, износване, нанонарязване, и тъкни смазочни филми при плъзгащи се повърхности, при мащаби обхващащи молекулярното и атомно ниво. От друга страна нанонауката описва възможността да се наблюдават, измерват и произвеждат неща при мащаб от 1 до 100 нанометра. Двете заедно обра-

зват Нанотрибологията, която като интердисциплинна наука разкрива големи възможности пред бъдещето на човечеството.

2. Използвани инструменти в Нанотрибологията

SFA (surface force apparatus), апарат за измерване на силите на повърхността, които е открит през 1960 и е използван предимно за изучаването на статичните и динамичните свойства на тънък молекулярен слой притиснат между две молекулярно гладки повърхности.

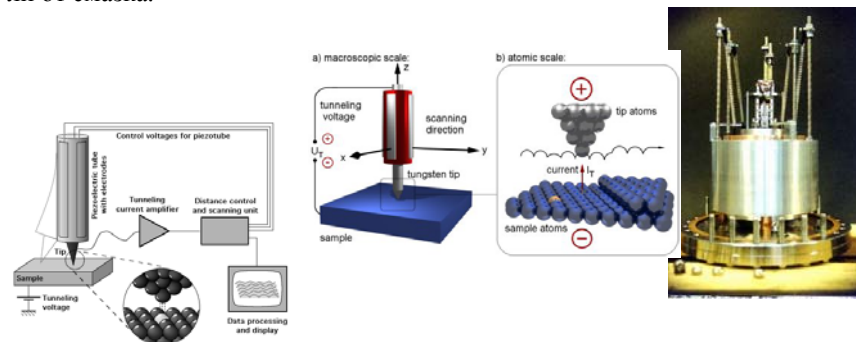


Повърхности без контакт

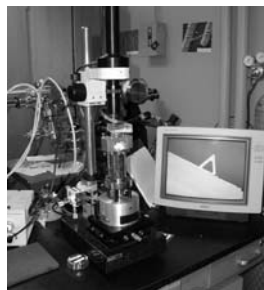
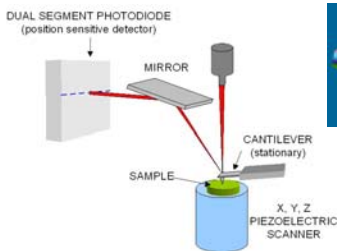


Повърхности при контакт

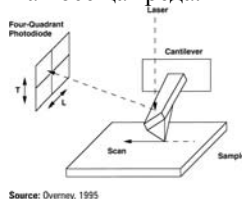
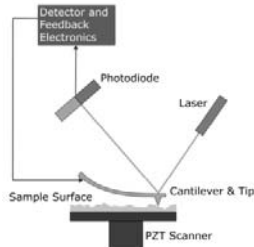
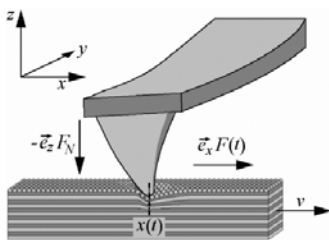
STM(scanning tunneling microscope) е създаден през 1981 и оттогава насам се използва за да дава ясна картина на провеждащи повърхности и молекули от смазка.



AFM(atomic force microscope) е изобретен през 1985 и най-често се използва за: измерване на много малки сили между връх на сонда и повърхност, а също и за топографски измервания, измерване на силите на сцепване, електростатичните сили, силите на износване, и др.



FFM(friction force microscope) представлява модифицирана форма на AFM, използва остър диамантен връх монтиран на нееластична носеща греда.



3. Проблеми на Нанотрибологията

Микро и нанотрибологията са многообещаващи раздели на науката, които очертават бъдещето, но прогреса е невъзможен без използването на достиженията на традиционната трибология – механика на контакта, теория на граничното смазване и адезията. Може би нанотрибологията оказва най-голямо влияние при разглеждане на проблема с износването, тъй като благодарение на атомно-силовите микроскопи се изработват перспективни износоустойчиви материали, които съдържат такива компоненти като фулерени и нанотръби.

Тези материали активно се разработват и внедряват в областта на керамиката с нанометрови размери и материали с ултрадисперсни елмази за режещи инструменти.

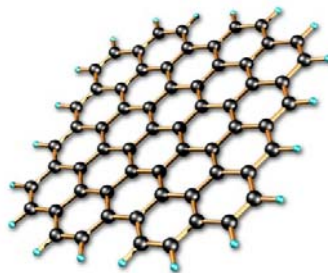
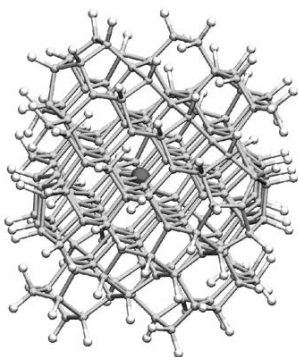
Проблема при намаляване на износването е, че съществува голямо разнообразие от видове износване, но няма единна класификация и това прави разработването на достатъчно износоустойчив материал трудно дори и при наличието на такива системи като атомно-силов микроскоп.

От друга страна нанотрибологията се сблъсква с проблеми, касаещи самите уреди, чрез които се изследват наночастиците. Колкото и да е напреднала науката днес, тази област все още е недостатъчно изследвана.

За българските учени, както и учени от други страни съществува и друга пречка, при развитието на нанотехнологиите – прекалено скъпата апаратура, без която обаче не може да се осъществи и най-простото изследване.

4. Бъдеще на Нанотрибологията и въобще Нанотехнологията

Системите, базирани на въглерод представляват внушително широк и постоянно разширяващ се клас от материали, като разглеждани на нано ниво получават различни свойства: nanotubes, buckyballs, graphene(лист от свързани въглеродни атоми) и diamondoids(структури, наподобяващи диамант).



Нанотрибологията като интердисциплинна наука свързва в едно инструменти и идеи както на физиката и механиката, така и на материалознанието, химията и дори екологията. Нанотрибологията и нанотехнологиите в бъдеще ще оказват още по-голямо влияние върху човешкия живот, могат дори да променят изцяло човешкия мироглед.

Нанотехнологията може да позволи имплантирането на чипове в човешкото тяло, които могат да помогнат за забавянето на стареенето, да усилят сетивата ни и дори да подпомогнат интелигентността. От друга страна тясно свързани с нанотехнологията са и МЕМС системите, които ще доведат до развитието на смазките за микроелетромеханичните системи, както и на по-добро разбиране на механичния контакт на микро- и нано- мащаб.

Заедно с механичната част, нанотехнологиите разкриват големи перспективи за медицината, особено в борбата с рака на простата, както и в много други насоки – забавяне на стареенето, по-бързо заздравяване на рани и др.

5. Заключение

Нанотрибологията е науката на бъдещето. Тя може да промени човешкия живот, както към по-добро, така и към по-лошо. Въпросът е до колко човек може да овладее наночастицата, за да я направи свои помощник?

6. Използвана литература

- http://www.nanotribo.org/research/x_ray_surface_force
- <http://www.rsfphysse.anu.edu.au/SFA/>
- http://wpcontent.answers.com/wikipedia/commons/thumb/f/f9/ScanningTunnelingMicroscope_schematic.png/400px-ScanningTunnelingMicroscope_schematic.png
- <http://www.ieap.uni-kiel.de/surface/ag-kipp/stm/stm.htm>
- <http://nano.mtu.edu/afm.htm>
- <http://www.emeraldinsight.com/Insight/viewContentItem.do?contentType=Article&hdAction=lnkhtml&contentId=1453984>
- <http://www.physik.uni-bielefeld.de/theory/cm/research/projects/friction.html>
- <http://www.lbl.gov/Science-Articles/Archive/sabl/2007/Nov/gap.html>
- <http://www.wag.caltech.edu/home/jsu/Thesis/node32.html>
- Nanotoday-october 2007, vol2, no5: Nanotribology of carbon-based materials (David S. Grierson and Robert W. Carpick), Biotribology inspires new technologies (Ille C. Gebeshuber) and Nanotribology and MEMS (Seong H. Kim, David B. Asay, Michael T. Dugger)
- Nanotribology – The road to no wear! (Richie Khandewal and Sahil Sahni)
- <http://maslata.blog.bg/nauka/2009/05/25/razvitei-na-mikro-i-nanotribologiia.339349>
- Economic Development Organization Forms Nanotechnology Unit – Cheryl Pellerin
- U.S. Agencies Hold First Public Meeting on Nanotechnology Safety - Cheryl Pellerin
- Вестник „Живот и Здраве”, брой 42 (95), 11-17.11.2009г. (год. III)

ЕКОЛОГИЧНИТЕ АСПЕКТИ НА ВЕЛОСИПЕДНИЯ ТРАНСПОРТ

Симона Янева
МФ, 2-ри курс- Машиностроене и уредостроене
ТУ - София
Студентски екип – TRIBOLAB
simona_qn@abv.bg

ECOLOGICAL ASPECTS OF BICYCLE TRANSPORT

Simona Yaneva
*Faculty of Machine-building , 2nd course; Machine-and device building
TU – Sofia,
Students' team – TRIBOLAB*

1. Въведение:

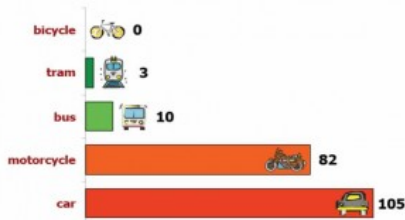
Слънчевата енергия идваща от космоса затопля земната повърхност. Фиг. 1 Част от тази енергия се излъчва обратно под формата на инфрачервена енергия от Земята, но друга се абсорбира в атмосферата от „парниковите газове”. Този естествен процес на задържане топлината в атмосферата се нарича „парников ефект”, без него температурата на Земята би била -18°C , а сега тя е $+15^{\circ}\text{C}$. Поради човешката дейност в атмосферата се натрупва въглероден диоксид, метан и диазотен оксид, причинени от изгаряне, разграждане на нефтени продукти и др. Тези газове увеличават проявлението на парниковите газове, като засилват естествения парников ефект и повишават температурата по света.



Фиг.1 – явлението парников ефект

2. Последствия от „засиления“ парников ефект.

От изминалите 1 000 години ХХ век е най-топлото столетие, а 90-те години на ХХ век - най-топлото десетилетие. Тази тенденция на затопляне продължава и до днес. Средната температура на повърхността на земята се е повишила с почти 1°C в Европа през последните 100 години. Ако стане покачване с още един градус, това може да има катастрофални и необратими последствия. Една четвърт от емисиите отделяни в ЕС, се пада на сектора на транспорта и е възможно тази цифра да отбележи ръст с 30 % до 2030 г. Нарастването на уличното движение в централните части на големите градове води до чести задръствания, а оттам до загуба на време и замърсяване на околната среда. Атмосферното и звуковото замърсяване, също се увеличават с всяка година.



Диаграма 1 – вредни емисии отделяни от различни превозни средства

Един нов автомобил води до отделянето на средно 160 гр/км емисии на CO₂ на човек, един самолет - 175 гр/км, един автобус – 60 гр/км, а един влак - 100 гр/км.

3. Действия за ограничаване на емисиите.

Европейската комисия предприема действия за ограничаване отделянето на въглероден диоксид, посредством въвеждането на нови нормативни актове. Целта на всички правителствени и неправителствени организации, борещи се срещу климатичните промени е да се постигне ниво не по-високо то максимално допустимата концентрация на CO₂ в атмосферата. В момента тя е 390 ppm а трябва да спадне до 350 ppm, така според експерти светът ще има шанс да се адаптира към настъпващите промени в климата.

Според холандско проучване огромни щети на хората и околната среда нанасят пътувания с абтомобил на разстояние 7,5 км. Близо 4 млн км се изминават дневно при такива пътувания. Това е причината да се обмислят предложения за приемане на административни мерки за забраняване на такива придвижвания и избор на алтернативни видове

транспорт, какъвто е велосипедът, който не произвежда парникови газове и не замърсява. Поради това той е най-малко замърсяващия вид транспорт.

4 . Изложение

За предимствата на велосипедния транспорт няма никакъв спор – той е евтин, екологичен, здравословен и бърз.

Ако 1 милион автомобили спрат да се движат по шосетата за един ден, ще се избегнат 20 000 тона емисии на CO₂. А когато човек кара колелото си той изгаря близо 300 калории за един час и при това изгаряне никакви газове не се отделят.

Замяната на автомобиля с велосипед, ще се окаже благоприятно не само върху спортната ни форма, но ще допринесе за намаляването на шума, емисиите и задръстванията по пътищата.

Експертите препоръчват каране на колело, поне три пъти седмично, като заявяват, че който се придвижва с колело по 3-4 пъти на седмица, отговаря на определените от Световната здравна организация параметри за минимум движение седмично.

5. Велосипедният транспорт по света

Според статистиката на ЕС, процентното разпределение на населението, които пътуват за работа с велосипеди (вкл.пеша) и тези с автомобили (вкл. мотоциклети) е: в Грац – 60% и 18%, в Люксембург – 68%, и 15%, в Кьолн – 64% и 13%, в Хамбург – 61% и 16%, Берлин – 55% и 13%, Дъблин – 63% и 20%, Хага – 51% - 30%, Амстердам- 51% и 25%, Мадрид – 42% и 8%, Барселона – 53% и 16%, Прага – 30% и 8% и т.н. ,като останалите проценти са на обществения транспорт.

Британското правителство ще отпусне 100 млн лири за развитие на велосипедния транспорт. 2,5 млн лондончани и 11 други града ще получат субсидии. Планът предвижда изградане на велоалеи свързващи централните части на градовете с техните околности. Пресечките с моторни превозни средства ще бъдат променени така, че да са максимално безопасни за велосипедисти.

Правителството ще помага на гражданите да поправят старите си велосипеди, ако нямат възможност да си закупят нови. Предвидено е изграждане на паркинги за велосипеди по градските площадки, където 30 минутен престой ще бъде безплатен , а всеки следващ час ще се заплаща с една лира.

През 2002 година федералното министерство на транспорта приема програма за насърчаване на колоезденето. И от тогава колоезденето в Германия изживява истински бум. Министърът на транспорта Волфганг Тифензее заяви, че от 2002-ра година насам броят на извършваните с велосипед придвижвания се е увеличил с 10 процента - до 28 млн. пътувания. Правителството отпуска ежегодно по 100 млн. евро за програмата, като в плана влизат и проекти за комбинирано придвижване –

с колело и с обществен транспорт. Според Карстен Клама от Федералния съюз на колоездачите „Германецът изминава средно по 300 км с колело, докато холандците и датчаните карат три пъти повече - по 900 км."



Фиг. 2 – датската полиция на колела Фиг.3–коледната елха в Копенхаген, захранвана от велосипеди

В Копенхаген зелените алеи са около 350 км. Предвижда се 50% от населението да премине на екологичен начин за придвижване – с колела. Това би спестило приблизително 80 000 тона въглероден двуокис.

Амстердам – градът с велосипеди навсякъде, буквално милиони, карани от хора с различно социално положение, раса, пол и тегло. Бизнесмени с костюми, домакини с деца, млади хора с размъкнати дрехи, спретнати пенсионери, пълни дами с широко облекло, служители на закона в униформи и т.н.

Там където няма място на тротоарите, лентите за велосипеди са на самите улици, а когато и там няма място, велосипедите са пълноправни превозни средства на пътя и колите винаги им дават предимство. Можеш да видиш как докато колоездят, хората говорят по мобилен телефон, пушат или държат чадър когато вали.

6. България

В България велосипедните алеи и налагането на този тип придвижване из градска среда са още в пожелателна форма. Може би първо трябва да бъдат изградени велоалеи, улесняващи придвижването в градовете.

Всеки последен петък от месеца, хора с колела, ролкови кърки и тротинетки се събират на едно място за да покажат своето отношение както към желанието си да живеят в един по-чист град, така и към здравето и тонуса си всеки ден!

В столицата, градът с най-натоварено движение, се работи усърдно в посока изграждане на велосипедна инфраструктура. В кв. Младост се предвиждат 45 км велоалеи. От бюджета догодина ще бъдат заложили около 2 млн. лева. Като се има предвид, че за изграждането на велоалеята покрай канала на бул. „Евлоги и Христо Георгиеви” в столицата бяха отпуснати 1 700 хил. лева. за дългата 2,5 км алея изградена от тротоарни плочки, не става ясно тези ще бъдат ли изградени от асвалт и по европейски стандарти. Активните велосипедисти намират велоалеята по канала идеална за пешеходци и хора които разхождат кучетата си там, но не и за алеи за колела, тесни са и на места отсъстват или пък просто продължават върху бордюра. Главният архитект на София Петър Диков заявява, че квартал „Младост” ще се сдобие и с велосипеди под наем. Велосипедите ще бъдат 20 на брой. Гражданите ще трябва да получат карта за определен брой пътувания, за да могат да вземат велосипед. До настоящият момент в София са изградени седем велоалеи. Предвижда се в следващите години да бъдат построени още 11 велоалеи.

В градоустройствения план на новоизбрания кмет Йорданка Фандъкова за превръщане на София в Зелена столица, включва изграждане на денонощни охраняеми паркинги за велосипеди пред входовете на метро станциите в столицата, както и множество велоалеи и свързани маршрути.



фиг. 4 – велоалея в столицата



фиг.5 – велоалея в столицата



Фиг. 6 – велоалея в столицата

В помощ на не леката задача са и една от главните неправителствени организации занимаващи се с проблемите касаещи активните велосипедисти в страната - Велоеволюция. Казусите който защитава са изграждане на адекватна и максимално полезна вело-инфраструктура, подобавашо асимилиране на отпуснатите за целта средства, както и толерантност на пътя както от страна на шофьорите така и от пешеходците.



Фиг. 7

7. Колоезденето има куп плюсове

Велосипедът като средство за придвижване за някои е хоби, за други необходимост, за трети страст, но има и хора за който това е начин на живот, не са малко примерите за хора който прекосиха континенти яздейки `железния кон`.

Един млад Българин в началото на 2010 г. ще направи третата от серията си експедиции REcycle, които се осъществяват под мотото „Рециклиране на мисленето в полза на опазване на околната среда“. Това е 33 годишния бесарабски българин Вячеслав Стоянов, който за контактка си с природата споделя: „Когато е на колело човек чува повече, вижда повече и усеща миризмите“. Последната експедиция е най-мощна, Вячеслав ще измине 23000 км прекосявайки три континента около приморието на средиземно море. Цели на експедицията му са 1) анализиране на замърсените крайбрежни участъци, плод на човешката дейност, 2) прокарване на туристически маршрут, 3) приключение и разбира се витална форма. Цялата експедиция ще продължи 239 дни.

Аз всеки ден пътувам до университета си с колело. Разстоянието от вкъщи до Студентски град е 12 км и ми отнема 40 минути, за да пристигна, и винаги съм заредена с енергия и тонизирана. За 50 минути се придвижвам до там ако използвам масов, градски транспорт. Предпочитайки велосипеда, изминавам около 30 км всеки ден. За сравнение с колегите ми от квартала, които пътуват с личните си автомобили, моето физическо здраве е струвало 5 кг по-малко CO₂ на атмосферата. Изминавайки ежедневно същото разстояние аз спестявам за една година - 1800 кг. вредни емисии на природата. Ако пет човека

направят като мен, това означава 9 тона по-малко емисии за 1 година. Хората желаещи да живеят „активно” се увеличат всяка минута, мислейки и за опазване на околната среда. И несъмнено броят им ще расте и нараства.

8. Заключение:

Особено в тези динамични времена, когато почти отсъстват допирните ни точки с природата, когато чакаме у дома обувките си, поръчани от интернет, и четем електронни книги си и учебниците, когато ни липсва движението, е добре да извадим старите прашни велосипеди от гаража и да покараме. Да пътуваме до работа с тях. Безспорно ще заживеем в един по-чист свят, контактувайки не само с природата и околната среда, но и с самите нас. По-малко сърдечно-съдови заболявания, по-малко стрес, по-чист въздух, по-приятни сами за себе си. В този смисъл мога да заключа, че велосипедът е може би най-екологичното изобретение на човека, то не само не вреди, то помага. Помага на природата и на човека. **Който кара велосипед, прави добро и на себе си, и на околната среда.**

Използвана литература и материали:

“Statistakal yearbook 2005, на EUROSTAT, стр.127.

www.ec.europa.eu

www.gtsofia.info

www.velobg.org

www.changer2008.eu

www.vyacheslavstoyanov.com

STABILITY AND IMBALANCE RESPONSE OF A RIGID ROTOR SUPPORTED ON PLAIN JOURNAL BEARINGS

Assoc. Prof. PhD **Juliana Javorova**¹, Prof. PhD **Bogdan Sovilj**²,
Ass. Prof. PhD **Ilija Andonov**³, Eng. **Ivan Sovilj-Nikic**⁴

¹ Department of Applied Mechanics,
University of Chemical Technology and Metallurgy, Sofia, BULGARIA

^{2,4} Faculty of Technical Science,
University of Novi Sad, Novi Sad, SERBIA

³ Department of Mechanics,
Higher School of Transport, Sofia, BULGARIA

УСТОЙЧИВОСТ И НЕРАВНОВЕСНА РЕАКЦИЯ НА ТВЪРД РОТОР, ПОДДЪРЖАН ОТ ПЛЪЗГАЩИ ЛАГЕРИ

Доц. д-р **Ю. Яворова**¹, проф. д-р **Б. Совил**²,
Доц. д-р **И. Андонов**³, инж. **И. Никич**⁴

Abstract: *The presented analysis is an attempt at derivation of the static and dynamic performance characteristics of short cylindrical journal bearings, with application to the dynamic forced performance of a rigid rotor supported on plain bearings.*

As dynamic performance characteristics are introduced rotordynamic force coefficients and their effect on the stability of a rotor-bearing system is thoroughly discussed. Cross-coupled force coefficients are solely due to journal rotation, such the magnitude (and sign) of the cross-stiffness determines rotordynamic stability. It was introduced and the whirl frequency ratio, which relates the whirl frequency of subsynchronous motion to a threshold speed of instability.

Key words: *plain journal bearings, static and dynamic performance characteristics*

1. Introduction

Hydrodynamic bearings are common components of rotating machinery. They are frequently used in applications involving high loads and/or high speeds between two surfaces that have relative motions. In the study of journal bearings many aspects of engineering are present and many different problems must be discussed and analyzed. For example: basic principles of hydrodynamic lubrication, the fundamental equation of classical lubrication theory, stability of the dynamic system, etc., [1-12].

The present work is an attempt at derivation of the static and dynamic performance characteristics of short cylindrical journal bearings, with application to the dynamic forced performance of a rigid rotor supported on plain bearings. It is known that in radial bearings, the Sommerfeld number defines a relationship between the static load and the journal eccentricity within the bearing. This important design parameter represents the static performance of the bearing when rotor speed increases. Rotordynamic force coefficients are introduced to show determination of the stability behavior of rotors. Detailed derivation of the eight oil-film coefficients is presented in our previous work [11], such now their effect on the stability of a rotor-bearing system thoroughly discussed. Cross-coupled force coefficients are solely due to journal rotation, and the magnitude (and sign) of the cross-stiffness determines rotordynamic stability. The whirl frequency ratio WFR relates the whirl frequency of subsynchronous motion to a threshold speed of instability. It is known that the desired WFR is null; however, plain cylindrical bearings show a whirl ratio of just 0.50, limiting the operation of rotating machinery to shaft speeds below twice the system first critical speed.

2. Equations of motion

The theoretical study on the oil whirl instability starts from the equations of motion of a bearing's journal. In the presented paper is presupposed that the reactive fluid forces generated by the oil film are known yet. At the derivation of equations of motion the several assumptions are introduced: The rotor consists of a single disk on a rigid shaft mounted on two identical plain journal bearings (Fig. 1.a); The symmetric rigid rotor of mass $2M$ supporting a static load ($2F_0 = W$) along the x axis; The mass of the shaft is small compared with the mass of the disk; The disk is fixed on the shaft between the two bearing supports; There is no misalignment.

The equations of motion of the rotating system at constant rotational speed Ω are given by [1]:

$$(1) \quad M\ddot{x} = F_x + Mu\Omega^2 \sin(\Omega t) + F_0;$$

$$M\ddot{y} = F_y + Mu\Omega^2 \cos(\Omega t),$$

where u is the magnitude of the imbalance vector (Fig 1.b), $x(t)$ and $y(t)$ are the coordinates of the rotor mass center, and (F_x, F_y) are the fluid film bearing reaction forces.

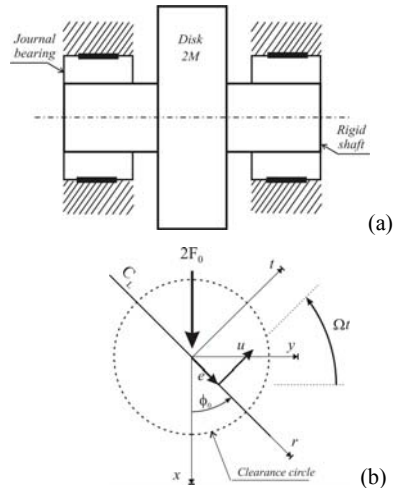


Fig. 1 Symmetric rigid rotor supported on journal bearings

Since the rotor is rigid, the center of mass displacements are identical to those of the journal bearings centers, i.e. $x(t) = e_x(t)$; $y(t) = e_y(t)$.

The bearing reaction forces balance the externally applied static load $F_0 = W/2$, and thus

$$(2) \quad F_0 = (F_{ro}^2 + F_{to}^2)^{\frac{1}{2}} = \eta \Omega r L \left(\frac{L}{c} \right)^2 \frac{\varepsilon \sqrt{16\varepsilon^2 + \pi^2(1-\varepsilon^2)}}{4(1-\varepsilon^2)^2},$$

where

$$(3) \quad F_{ro} = -\frac{\eta \Omega r L^3}{c^2} \frac{\varepsilon^2}{(1-\varepsilon^2)^2}; \quad F_{to} = \frac{\eta \Omega r L^3}{c^2} \frac{\pi \varepsilon^2}{4(1-\varepsilon^2)^{\frac{3}{2}}},$$

are the static radial and tangential forces. Here r is the journal radius [m], L - axial length [m], c - radial clearance [m], $\varepsilon = e/c$ is the dimensionless journal center eccentricity, η is the dynamic lubricant viscosity [Pa.s] and Ω is the rotor speed [rad/s].

The equilibrium attitude angle ϕ_0 between the static load direction and the eccentricity vector is defined by

$$(4) \quad \text{tang } \phi_0 = -\frac{F_{to}}{F_{ro}} = \frac{\pi \sqrt{(1-\varepsilon^2)}}{4\varepsilon}$$

and the bearing design parameter - modified Sommerfeld number σ , is introduces as

$$(5) \quad \sigma = \frac{\eta \Omega r L}{4F_0} \left(\frac{L}{c} \right)^2 = \frac{(1-\varepsilon^2)^2}{\varepsilon \sqrt{16\varepsilon^2 + \pi^2(1-\varepsilon^2)}}.$$

For a rated operating condition, σ is known since the bearing geometry, speed, fluid type (viscosity) and load are known. Then Eqn (5) gives a relationship to determine the equilibrium eccentricity ratio that generates the film force balancing the applied static load.

3. Force coefficients in fluid film bearings

Fluid film bearing stiffness $\{K_{ij}\}_{ij=x,y}$ and damping $\{C_{ij}\}_{ij=x,y}$ force coefficients are defined as [3, 1, 5, 11]

$$(6) \quad K_{ij} = -\frac{\partial F_i}{\partial x_j}; \quad C_{ij} = -\frac{\partial F_i}{\partial \dot{x}_j} \quad (i, j = x, y).$$

For example, $K_{xy} = -\partial F_x / \partial y$ corresponds to a stiffness produced by a fluid force in the x direction due to a journal static displacement in the y direction. By definition, this coefficient is evaluated at the equilibrium position with other journal center displacements and velocities equal to zero. The

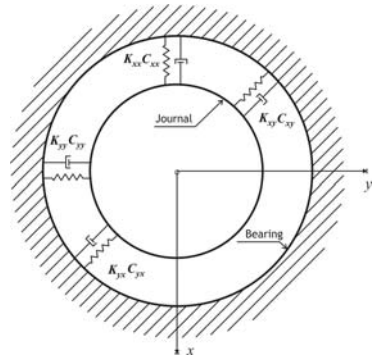


Fig. 2 Representation of dynamic coefficients in fluid film bearings

negative sign in the definition assures that a positive magnitude stiffness coefficient corresponds to a restorative force.

The coefficients (K_{xx} , K_{yy}) are known as the *direct* stiffness terms, while the coefficients (K_{xy} , K_{yx}) are referred as *cross-coupled*. Figure 2 provides a pictorial representation of the bearing force coefficients as physical parameters.

Inertia or added mass coefficients $\{M_{ij}\}_{ij=x,y}$ are introduced as

$$(7) \quad M_{ij} = -\frac{\partial F_i}{\partial \ddot{x}_j} \quad (i, j = x, y),$$

where $\{\ddot{x}, \ddot{y}\}$ are journal center accelerations. Inertia coefficients are of particular importance in superlaminar and turbulent flow bearings and seals. The inertia force coefficients or apparent masses have a sound physical interpretation and are always present in a fluid film bearing. Inertia coefficients can have a large magnitude especially for dense liquids. However, the effect of inertia forces on the dynamic response of rotor-bearing systems is only of importance at large excitation frequencies, i.e. high squeeze film Reynolds numbers.

With the given definitions, the bearing reaction forces are represented as [11]:

$$(8) \quad \begin{pmatrix} F_x(t) \\ F_y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_{x0} \\ F_{y0} \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} - \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} \\ C_{yx} & C_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \dot{x} \\ \Delta \dot{y} \end{pmatrix},$$

where $F_{x0} = F_0 = W/2$ and $F_{y0} = 0$.

It is important here to mention that the defined by this way force coefficients allow representing the forces of the dynamic fluid film bearing in terms of the fundamental mechanical parameters $\{K, C, M\}$. However, this does not mean that these coefficients must be in accordance with conventional knowledge. For example, the “viscous” damping coefficients may be negative, i.e. non-dissipative, or stiffness coefficients non-restorative.

In the considered case, the linear equations (1) for small amplitude motions of the rotor-bearing system become

$$(9) \quad \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \ddot{x} \\ \Delta \ddot{y} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} \\ C_{yx} & C_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta \dot{x} \\ \Delta \dot{y} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{pmatrix} = Mu\Omega^2 \begin{pmatrix} \cos \Omega t \\ \sin \Omega t \end{pmatrix}.$$

By the other hand these force coefficients in *dimensionless form* must represent as [3, 1, 11]:

$$(10) \quad \bar{k}_{ij} = K_{ij} = \frac{c}{F_0}; \quad \bar{c}_{ij} = C_{ij} = \frac{c\Omega}{F_0} \quad i, j = x, y$$

where F_0 is the static load applied on each bearing (in the x direction). It is important to remind that the total load $W = 2F_0$ is shared by the two bearings in a symmetric rotor mount.

At rendering into account (4) and (5) the static load is

$$(11) \quad F_0 = \frac{\eta\Omega(L/c)^2 Lr}{4\sigma}.$$

After that, using the Lund’s definitions [3]

$$(12) \quad f_{ro} = -\frac{F_{r0}}{F_0} = \cos \phi_0 = \frac{4\sigma \varepsilon^2}{(1-\varepsilon^2)^2}; \quad f_{io} = \frac{F_{i0}}{F_0} = \sin \phi_0 = \frac{\pi \sigma \varepsilon}{(1-\varepsilon^2)^{3/2}}$$

can be derived the analytical formulas for the short bearing dimensionless force coefficients. Detailed expresses for these coefficients are given in [11]. It is important to remark that the graphical visualizations (for example in [4, 11]) of dimensionless stiffness and damping force coefficients for plain journal bearing must be represent as functions of the journal eccentricity ε and of the modified Sommerfeld number σ , respectively. It is necessary [1, 4] since sometimes the journal eccentricity is known a priori; while most often, the design parameter, i.e. the Sommerfeld number, is known in advance. In general, the physical magnitude of the stiffness and damping coefficients increases rapidly (nonlinearly) as the journal eccentricity increases.

4. Stability analysis of rigid rotor supported on plain journal bearings

For small amplitude journal motions about the equilibrium position (e_0, ϕ_0) , the equations of motion of a rigid rotor supported on plain bearings are introduced yet as:

$$(13) \quad \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & M \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \ddot{x} \\ \Delta \ddot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} \\ C_{yx} & C_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \dot{x} \\ \Delta \dot{y} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} \\ K_{yx} & K_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = Mu\Omega^2 \begin{pmatrix} \cos \Omega t \\ \sin \Omega t \end{pmatrix}.$$

At substitution of the following dimensionless variables

$$(14) \quad \Delta X = \frac{\Delta x}{c}; \quad \Delta Y = \frac{\Delta y}{c}; \quad \tau = \Omega t; \quad \delta = \frac{u}{c}$$

into Eqn (13) gives:

$$(15) \quad p^2 \begin{bmatrix} \Delta X'' \\ \Delta Y'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{xx} & c_{xy} \\ c_{yx} & c_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X' \\ \Delta Y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} \\ k_{yx} & k_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} = p^2 \delta \begin{pmatrix} \cos \tau \\ \sin \tau \end{pmatrix},$$

where $(\prime) = \frac{d}{d\tau}$; $p^2 = \frac{cM\Omega^2}{F_0}$ is a dimensionless mass, and k_{ij} , c_{ij} are the dimensionless dynamic force coefficients.

In the considered here case it is of interest to study if the rotor-bearing system is *stable* for small amplitude journal center motions (perturbations) about the equilibrium position. To this end, set the imbalance parameter $\delta = 0$ in the equations above, the linearized equations of motions transform to:

$$(16) \quad p^2 \begin{bmatrix} \Delta X'' \\ \Delta Y'' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_{xx} & c_{xy} \\ c_{yx} & c_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X' \\ \Delta Y' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{xx} & k_{xy} \\ k_{yx} & k_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

If the rotor-bearing system is to become *unstable*, this will occur at a *threshold speed of rotation* Ω_s and the rotor will perform (undamped) orbital motions at a whirl frequency ω_s . //Here must be recall that in a mechanical system, an equivalent damping ratio greater than zero causes the attenuation of motions induced by small perturbations from an equilibrium position. A null damping ratio brings the system into sustained periodic motions without decay or growth, thus denoting the threshold between stability and instability (amplitude growing motions//. These orbital motions, satisfying Eqn (17), can be representing in the form:

$$(17) \quad X = Ae^{i\omega_s t} = Ae^{j\bar{\omega} \tau}; \quad Y = Be^{j\omega_s t} = Be^{i\bar{\omega} \tau}; \quad j = \sqrt{-1},$$

where $\bar{\omega} = \omega_s / \Omega_s$ is known as the *whirl frequency ratio*, i.e. the ratio between the rotor whirl or precessional frequency and the rotor onset speed of instability.

Substitution of (17) into equation (16) leads to:

$$(18) \quad \begin{bmatrix} -p_s^2 \bar{\omega}_s^2 + k_{xx} + j\bar{\omega}_s c_{xx} & k_{xy} + j\bar{\omega}_s c_{xy} \\ k_{yx} + j\bar{\omega}_s c_{yx} & -p_s^2 \bar{\omega}_s^2 + k_{yy} + j\bar{\omega}_s c_{yy} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

The determinant of the system of equations must be zero for a non-trivial solution of the homogenous system of equations, i.e.,

$$(19) \quad \Delta = (-p_s^2 \bar{\omega}_s^2 + k_{xx} + j\bar{\omega}_s c_{xx}) \cdot (-p_s^2 \bar{\omega}_s^2 + k_{yy} + j\bar{\omega}_s c_{yy}) - (k_{yx} + j\bar{\omega}_s c_{yx}) \cdot (k_{xy} + j\bar{\omega}_s c_{xy}) = 0.$$

After a serious algebraic manipulation, the real and imaginary parts of Δ above render,

$$(20) \quad p_s^2 \bar{\omega}_s^2 = k_{eq} = \frac{k_{xx} c_{yy} + k_{yy} c_{xx} - c_{yx} k_{xy} - c_{xy} k_{yx}}{c_{xx} + c_{yy}} = \frac{cM \omega_s^2}{F_0}$$

and

$$(21) \quad \bar{\omega}_s^2 = \frac{(k_{eq} - k_{xx})(k_{eq} - k_{yy}) - k_{xy} k_{yx}}{c_{xx} c_{yy} - c_{xy} c_{yx}} = \left(\frac{\omega_s}{\Omega_s} \right)^2.$$

4.1 Threshold speed, critical mass, equivalent stiffness and whirl frequency ratio

For a given value of journal eccentricity ε_0 , i.e. a given Sommerfeld number σ , first must be evaluate Eqn (20) to obtain the equivalent stiffness k_{eq} , and then Eqn (21) to get the whirl frequency ratio $\bar{\omega}_s$. This substitution then yields $p_s^2 = k_{eq} / \bar{\omega}_s^2$ (critical mass), which in turn renders the onset speed of instability Ω_s .

Figure 3 depicts the whirl frequency ratio versus equilibrium modified Sommerfeld number and equilibrium journal eccentricity, respectively. It is known that for near centered journal operation, i.e. large Sommerfeld numbers, the whirl frequency is 0.5, i.e. half-synchronous whirl.

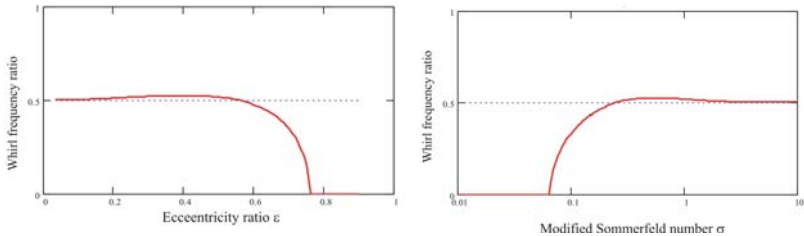


Fig. 3 Whirl frequency ratio vs. equilibrium modified Sommerfeld number and vs. equilibrium journal eccentricity

On the other hand, if one assumes that the current rotational speed Ω is the onset speed of instability, then from the relations above it follows the largest magnitude of half system mass M to make the rotor-bearing system unstable. This mass is known as

the *critical mass* M_c and corresponds to the limit mass which the system can carry dynamically. If the rotor mass is equal to or larger than twice M_c , then the system will become unstable at the rated speed Ω .

The whirl frequency ratio (WFR) $\bar{\omega} = \omega_s / \Omega_s$ is the ratio of the rotor whirl frequency to the onset speed of instability. This ratio, as given in Eqn (21), depends only on the fluid film bearing characteristics and the equilibrium eccentricity. The WFR is independent of the rotor characteristics (rotor mass and flexibility) [1].

As it was mentioned yet, the parameter k_{eq} is a journal bearing (dimensionless) equivalent stiffness. From the definitions of threshold speed $p_s^2 = M\Omega_s^2(c/F_0)$ and whirl ratio $\bar{\omega}_s = \omega_s / \Omega_s$, follows

$$(22) \quad M\omega_s^2 = k_{eq} \left(\frac{F_0}{c} \right) = K_{eq}.$$

Thus, the whirl or precessional frequency is

$$(23) \quad \omega_s = \sqrt{\frac{K_{eq}}{M}} = \omega_n,$$

i.e., the whirl frequency equals the *natural frequency* of the rigid rotor supported on journal bearings.

This value of whirl frequency ratio (WFR) is a characteristic of hydrodynamic plain journal bearings. The WFR shows that at the onset speed of instability the rotor whirls at its natural frequency equal to 50% of the threshold rotational speed. Furthermore, under no externally applied loads, $F_0 = 0$, as in vertically turbomachinery, the bearing possesses no support stiffness, i.e. $K_{eq} = 0$ and the system natural frequency ω_n is zero, i.e. the rotor-bearing system must whirl at all operating speeds.

Here must be underline that, if $k_{xy} = 0$, i.e. the bearing does not have cross-coupled effects, then the WFR = 0, i.e. no whirl occurs and the system is always dynamically stable. Cross-coupled effects are then responsible for the instabilities so commonly observed in rotors mounted on journal bearings. If the whirl frequency ratio is 0.5, then the maximum rotational speed that the rotor-bearing system can attain is just,

$$(24) \quad \Omega_{max} = \frac{\omega_s}{0.5} = 2\omega_s = 2\omega_n,$$

i.e., twice the natural frequency (or observed rigid rotor critical speed).

From the dependences of the whirl frequency ratio, dimensionless threshold speed p_s and critical mass p_s^2 from the Sommerfeld number and equilibrium journal eccentricity is evident that a rigid-rotor supported on plain journal bearings is *stable* for journal eccentricity ratios $\epsilon > 0.75$ (small Sommerfeld numbers) for all L/D ratios [1, 4].

Here is important that increasing the rotational speed of the rotor-bearing system determines larger Sommerfeld numbers, and consequently, operation at smaller journal eccentricities for the same applied static load. Thus, operation at ever increasing speeds will eventually lead to a rotor dynamically unstable system as the analysis results show.

4.2 Effects of Rotor Flexibility on stability of system

A similar analysis can be performed considering rotor flexibility [1]. The analysis shows that the whirl frequency ratio is not affected by the rotor flexibility. However, the onset speed of instability is dramatically reduced.

The relationship for the threshold speed of instability of a flexible rotor is:

$$(25) \quad p_{sf}^2 = \frac{P_s^2}{1 + k_{eq}(T/c)},$$

where the sub index f denotes the flexible rotor, K_{rot} corresponds to the rotor stiffness on each side of the center disk, and $T = F_0 / K_{rot}$ is the rotor static sag or elastic deformation at midspan.

The elastic shaft and bearing are mounted in series, i.e. the bearing and shaft flexibilities add (reciprocal of stiffnesses), and thus the equivalent system stiffness is lower than that of the bearings, and therefore the system natural frequency is reduced.

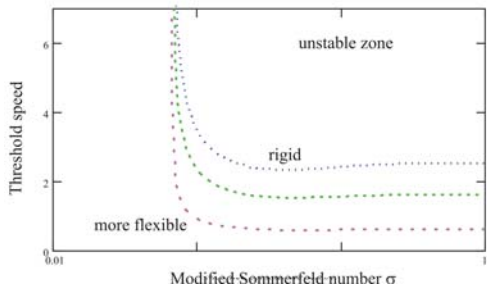


Fig. 4 Dimensionless threshold speed of instability (p_s) for flexible rotor vs. modified Sommerfeld number σ

Figure 4 shows the threshold speed of instability p_{sf} for a flexible rotor mounted on plain short length journal bearings. It is evident that the more flexible rotors have got the lower threshold speed of instability. If the fluid film bearings are designed too stiff (small Sommerfeld numbers), then the natural frequency of the rotor-bearing system is just $(K_{rot} / M)^{0.5}$, irrespective of the bearing configuration.

5. CONCLUSION

The presented study gives some of important formulas and their derivation about static and dynamic performance characteristics of short length cylindrical journal bearings, with application to the dynamic forced performance of a rigid rotor supported on plain bearings. It was introduced the modified Sommerfeld number and equilibrium eccentricity ratio, as well as stiffness and damping force coefficients, such their effect on the stability of a rotor-bearing system was thoroughly discussed. It was introduced and the whirl frequency ratio, which relates the whirl frequency of subsynchronous motion to a threshold speed of instability. It is evident that if it is possible

The big part of rotating machines as compressors, turbines, pumps; electric motors, electric generators, etc. are commonly supported on fluid film bearings. Most applications implemented common cylindrical plain journal bearings which are similar to the considered here cases. As machines have achieved higher speeds and larger power, rotor dynamic instability problems such as oil whirl have brought the need to implement and other bearing configurations (as axial groove bearings, lobe bearings, tilting pad bearings, etc.), which geometry presupposes reduction of the subsynchronous whirl instability problems.

Acknowledgments

The authors would like to appreciate to the Research and Development Sector at UCTM – Sofia for the support of this project.

References

- [1] CHILDS D., *Turbomachinery rotordynamics*, John Wiley and Sons, NY, 1993.
- [2] HAMROCK B.J, SCHMID S.R., JACOBSON B.O., *Fundamentals of Fluid Film Lubrication*, M. Dekker, N.Y, 2004.
- [3] LUND J., *Self-Excited, Stationary Whirl Orbits of a Journal in a Sleeve Bearing*, Ph.D. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y., 1966.
- [4] SAN ANDRES L., *Modern film lubrication, Dynamics of a rigid rotor-fluid film bearing system*. A&M Univ. Press, TX, 2002.
- [5] SZERI A., *Fluid film lubrication*, Cambridge Univ. Press. U.K., 1998.
- [6] VANCE J.M., *Rotordynamics of Turbomachinery*, Wiley Inter-Science Pubs, N. Y., 1988.
- [7] CHIANG H., LIN J., HSU C., CHANG Y., (2004) *Linear stability analysis of a rough short journal bearing lubricated with non-Newtonian fluids*, Trib. Letters, Vol. 17, 4, pp. 867-877.
- [8] HE M., BYRNE J., *Fundamentals of Fluid Film Journal Bearing Operation and Modeling*, Proc. of the 34th Turbomachinery Symposium, TAMU, 2005, pp. 155-176.
- [9] JAVOROVA J.G., ALEXANDROV V.A., STANULOV K.G., *Journal bearings dynamic performance in consideration of inertia forces and elastic deformations*, Proc of 15-th Int. Coll. On Tribology, Germany, Stuttgart, 2006.
- [10] JAVOROVA J.G., ALEXANDROV V.A., *HD journal bearing instability and modified criteria for stability of the system “lubricant –shaft”*, Proc. of Sci Techn Sess “Tribology 2003”, Sofia, 2003, p. 81-89.
- [11] JAVOROVA J.G., SOVILJ B., SOVILJ-NIKIC I., *On the derivation of dynamic force coefficients in fluid film bearings*, Monograph of FTS “Machine design”, Novi Sad, 2009.
- [12] SAN ANDRES L., (1991) *Effect of Eccentricity on the Force Response of a Hybrid Bearing*, STLE Tribology Transactions, Vol. 34, 4, pp. 537- 544.

МНОГОЛИКАТА ТРИБОЛОГИЯ

*Емилия Асенова,
Общество на триболозите в България
emiass@mailabv.bg*

MULTI-FACETS OF TRIBOLOGY
Emilia Assenova, Society of Bulgarian Tribologists

Въведение

Има четири големи предизвикателства пред трибологичните познания и моделиране на контакта. Първото и второто са свързани с материалите в процеса на триене: При материали с коренно различни свойства и състав могат да се получат сходни или еднакви кинетични коефициенти на триене и обратно, кинетичните коефициенти на триене за един и същ материал могат да се различават коренно при различните трибосистеми.

Третото е едно от най-големите предизвикателства пред моделирането в трибологията: това е обвързването на трибоефектите за машините, материалите (включително смазочните материали) и околната среда в количествени и прогностични модели.

Четвъртото предизвикателство е свързано с въпроса как да се примирят трибологичните явления, които настъпват на различни мащабни нива.

Ще спрем вниманието си върху това последно предизвикателство.

Трибологичните изследвания винаги са били винаги интердисциплинарни - в контакта между различните научни общности на физиката, химията, материалознанието и т. н. От всички тези научни области техниката на изследване в трибологията извлича голям брой методи, експериментални и теоретични, със стремеж те да се приложат върху трибологичните задачи.

В последните години бяхме свидетели на развитието на много нови методи, особено в областта на характеристиките и моделите на

повърхностите, които позволяват да се изследват трибосистемите в невъзможни досега детайли. И все пак, едно трайно предизвикателство в трибологичните изследвания си остана: то е свързването на процесите на микро / нано-ниво в контакта с макроскопичното му поведение.

Разглежданата тук тема се свързва с тези мащабни аспекти [1-7] и поставя ударението върху новите изследователски техники, основно от физиката и химията на повърхностите и тяхното приложение към специфични проблеми, свързани с трибологията.

Много-мащабни ефекти:

Поведението на трибо-контактите се формира на нано-ниво и е свързано с явления на макро-ниво.

Думата “nano” означава “една милиардна”. Представката идва от гръцкото „нанос” ($\nu\acute{\alpha}\nu\omicron\varsigma$), означава джудже, мъниче, малко дребно нещо, и е официално потвърдена като стандартна за системата SI през 1960 г.

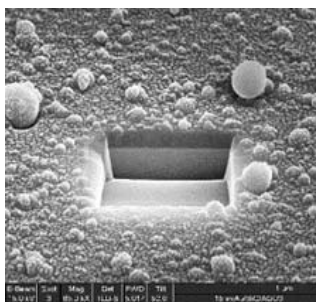
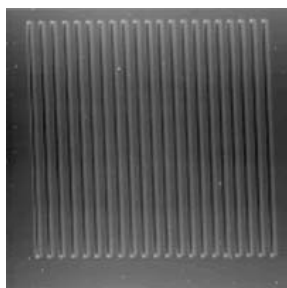
Един нанометър ($1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$) е една милиардна от метъра. Лист хартия е дебел около 100 000 нанометра, червеното кръвно телце е 1000 нанометра; една протеинова молекула може да бъде 10 нанометра, верижна молекула от 10 атома (например на витамин C) - 1 нанометър, а 1 атом е средно 0,1 нанометра.

Принципно в моделирането *Ab initio methods*, т. е. числени методи, основани на квантовата химия и физика; на дискретната динамика, молекулярната динамика и др. модели, описващи физиката на нанониво, не могат да бъдат пренасяни директно на макрониво (пространствено и времево), поради причини, залегнали в компютърната техника. Значи за предсказване на макроповедението са необходими друг тип модели.

Повърхностни свойства на материалите: Благодатни за трибологията се оказват инструменталните методи за повърхностни изследвания на микро и нано-ниво. Развитието на новите методи за повърхностен анализ (например с микроскопа на атомните сили AFM; с FIB **focussed ion beam milling** – фрезование с фокусиран йонен лъч; с рентгенова томография; със **Scanning Probe Microscopy SPM** – сканиращо сондиране, със **Scanning electron microscope SEM**; с микроскопската техника **NSOM/SNOM - Near-field scanning optical microscopy**, при която наноструктурите се изследват като се изследват свойствата на безкрайно малки вълни – детекторът се поставя на разстояние, по-малко от дължината на вълната; със съвременната молекулярна спектроскопия, често в комбинация с SPM

или NSOM/Раманова спектроскопия) позволи да се изследват и характеризират суб-микрометрични размери на структурните зърна и да се напредне много в разбирането на връзките между структура, механизми на деформация, механични свойства и други повърхностни и интерфейсни ефекти. Анализът може да осигури фундаментална информация за разработването на достоверни модели за много трибологични задачи, като например за граничното триене, за свойствата на поповърхностните покрития и др.

Все още се правят първи стъпки в тази насока. Ето някои примери [8]:



От голямо значение е връзката между геометрията на повърхността (ориентация, форма, размери и др.) и подобряването на трибосвойствата на контакта, при различни условия на смазване. Изследванията показват, че въвеждането на специфична текстура на микроноиво може на макроноиво да действа като депо за частиците от износване или резервоар за смазка; така се увеличава животът на плъзгащите контакти и се намалява коефициентът на триене.

Някои изследвания показват, че може да се предвиди фрикционното поведение при текстурирани на наноноиво повърхности за материали от технологичен интерес (Si, материали на Si-основа, метали). Текстурирането може да стане чрез фрезване с фокусиран йонен лъч (FIB) и наноиндентор от AFM. Така, с AFM равнинни на микроноиво осезатели, измерването на страничните сили се използва за изследване на зависимостта на триенето от специфичната повърхностна геометрия.

На първата фигура е дадена Si повърхност, нано-структурирана с FIB - фрезване с фокусиран йонен лъч.

Другата фигура представлява картина от SEM (при пробиване с FIB) на твърдо покритие SiC.

Към не-оксидните керамични материали, какъвто е SiC, се насочва голям интерес заради много добрите им трибологични характеристики (висока твърдост и нисък коефициент на триене). Една от задачите е да се увеличат знанията за корелацията между структурата и трибо-механичните свойства (твърдост, износване, адхезия) при тънки твърди покрития, като се използват различни техники на получаване на покритията (Channel Spark Ablation (отнемане на материал от повърхността), Sputtering (разпрашаване), плазмени покрития - Plasma Enhanced CVD, PVD).

Последните две десетилетия моделирането на микро/нано-ниво напредна много. Чрез манипулиране на атоми и молекули на повърхности се получаваха моделни блокове – структурни елементи от нано системи. Повечето от тези опити са правени със сканиращ тунелен микроскоп при криогенни температури. Сега се правят опити [9] да се използва друга сканираща техника, AFM-микроскопията, като инструмент, даващ възможност за създаване на наноструктури с пускане на атоми един по един при стайна температура.

Лекцията на Ричард Фейнман, изнесена през 1959 г., стана важен документ в историята на нанонауката [10]. В нея той призова изследователите да подобрят разделителната способност на електронния микроскоп. И те го направиха. Но промяната на разделителната способност е само част от събитието. Схващанията и въображението на Фейнман изиграха важна роля в развитието на нанонауката, което дойде доста по-късно. Ред е и на нанотрибологията да се възползва от големите възможности на инструменталната техника, за да извлече максимална полза за примиряване на многото лица на трибологичните явления, проявяващи се на различните мащабни нива.

Литература

1. I. L. Singer, H. M. Pollock. Fundamentals of Friction: Macroscopic and Microscopic Processes. Kluwer Pub., Dordrecht (1992).
2. G. He, M. H. Mueser, M. O. Robbins, Science 284, 1650 (1999).

3. S. Hyun, M. O. Robbins, Elastic contact between rough surfaces: Effect of roughness at large and small wavelengths, *Tribology International* (2007).
4. www.nanoforum.org
5. B. Bhushan. Handbook of Micro/Nanotribology, Second Edition (2007).
6. E. Assenova, M. Kandeва. Small-scale effects in some tribological problems. Proc. of the Int. Conference on Tribology SERBIATRIB'2007, Kragujevac, Serbia.
7. Y. Mo¹, K. T. Turner, I. Szlufarska, Friction laws at the nanoscale, *Nature* **457**, 1116-1119 (2009).
8. A. Borghi, L. Rettighiori, S. Valeri, et al. Nanostructures and biosystems at surfaces. National Center of CNR-NFM, University of Modena, Italy.
9. O. Custance, R. Perez, S. Morita, Atomic force microscopy as a tool for atom manipulation, *Nature Nanotechnology*, 4, 803-810 (2009)
10. R.P. Feynmann, R. P. Leighton, M. Sands. The Feynmann Lectures on Physics, Part I, Addison-Wesley, New York, (1963) 12-5.

ВЕСТИ ОТ РАБОТАТА НА МЕЖДУНАРОДНИЯ СЪВЕТ ПО ТРИБОЛОГИЯ (ИТС)

Емилия Асенова

NEWS FROM THE INTERNATIONAL TRIBOLOGY COUNCIL

Emilia Assenova

1. От секретариата на ИТС:

Секретарят на Съвета проф. Шерингтон напомня за необходимостта да се поддържа добра комуникация чрез бюлетина на Международния съвет по трибология - ИТС Newsletter и за необходимостта Международния съвет да се информира за подробности от страна на страните-членки, вице-президентите и член-кореспондентите . Бюлетинът излиза два пъти в годината и приема новини от обществата по трибология (до 3 параграфа и една снимка или фигура) на английски на адрес: isherrington@uclan.ac.uk).

За да се подобрят контактите, всяко общество трябва отново да изпрати: Име за контакт, пощенски адрес, телефон, факс, email и web-адрес), а също и детайли за конференции и други форуми. Тези данни ще влезнат в интернет-страницата на Международния съвет www.itctribology.org.

Сегашните данни за много от обществата липсват или са неточни.

2. Четвърти Световен конгрес по трибология в Киото (6-11 септември 2009)

В своя поздравителен адрес за откриването на четвъртия Световен конгрес по трибология Президентът на Международния съвет проф. Джост подчертава, че светът е много по-различен от този, когато се създаде Международния съвет от 9-те основатели. Днес затрудненията с енергията, материалите и храните са невиджани до сега. Един акцент върху трибологията би могъл да бъде да се даде “кратък отдих”, като се решават проблемите на околната среда, а трибологията да влезе в крак с основната политика за енергията и околната среда. На преден план излиза връзката на трибологията и екологията. При обсъжданията на “Green Tribology/

Зелената Трибология” в Института по инженерни науки и технологии IET (Institution of Engineering and Technology) в Обединеното кралство, Главният съветник на външния министър казва, че сега трибологията става съществена в световен мащаб. Според думите на проф. Джост “е дошло времето да мислим за целта на нашето съществуване на този свят”. Освен и преди подчертавания интерес на обществата по Трибология към образованието, микро и макроикономиката и начините, по които да отговорят на съвременните изисквания към научна и технологична дейност, те трябва да обърнат голямо внимание и на качеството на живот. Проф. Джост дава пример със съвременното развитие на биотехнологиите и цитира разработките за възможното използване на технологията на стволите клетки при внасянето на “смазочни слоеве” в увредените стави, които да удължат трайността им. Добре е обществата да изпратят доклади по тези въпроси, които да се включат в Бюлетина ITC Newsletter.

Проф. Кимура резюмира подготовката и провеждането на четвъртия Световен конгрес по трибология в Киото WTC IV. Отчита се големият успех на провеждането на конгреса и приносът на трибологията за напредъка на техническите иновации и устойчивото развитие в света. В резултат от икономическата криза са пристигнали по-малко делегати от очакваното (в крайна сметка в Конгреса в Киото са участвали 1400 души с над 850 доклада от 53 страни – от тях 124 студенти и аспиранти). В организацията на Конгреса са били въввлечени 80 души от Япония.

3. Пети Световен конгрес по трибология 2013 година

Комисията на ITC по утвърждаването, председателствана от проф. Кенет Холмберг, представя получените много добра за финална конкуренция предложения за страна-домакин: Италия (представена от проф. Енрико Чули) и Южна Африка (представена от проф. Филип де Ваал). Италия се смята за много силна страна в трибологията, с много силно въввлечане на индустрията, а и като географско положение е много близо до голям брой общества-членове на Международния съвет по трибология. Тя получи 13 гласа от събранието на ITC, срещу 5 гласа за Южна Африка. Петият Световен конгрес по трибология през 2013 година ще бъде в Торино, Италия.

4. Нови членове на Международния съвет по трибология

В доклада на Комисията по членство в ITC кандидатстващите за членове Алжир, Чили и Монголия са приети за Член-кореспонденти, а Бразилия и Швейцария - за пълни членове на Международния съвет по трибология.

При специални случаи повече от едно общество от дадена страна могат да бъдат членове на Международния съвет.

ТРИБОЛОГИЧЕН ЖУРНАЛ БУЛТРИБ

Година I, брой 01 (01), 2010

Доклади от 7^{-мата} Конференция по Трибология,
30 октомври 2009, София

Съставител: д-р М. Кандева
Издателство ТЕМТО
София, 2009

ISSN: 1313-9878