ОБЩЕСТВО НА ТРИБОЛОЗИТЕ В БЪЛГАРИЯ

SOCIETY OF BULGARIAN TRIBOLOGISTS

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA

ТРИБОЛОГИЧЕН ЖУРНАЛ БУЛТРИБ

Доклади от 8-та Национална конференция с международно участие

БУЛТРИБ '11

TRIBOLOGICAL JOURNAL BULTRIB

Papers from the 8th National Conference with International Participation

BULTRIB '11

28 октомври 2011, София | **Година II, брой 02 (02), 2012**

October 28th, 2011, Sofia | ***Volume II, Number 02 (02), 2012***

Трибологичният журнал БУЛТРИБ се издава със средствата на проект, финансиран от субсидията за „Дни на науката на ТУ - София – 2011”.

Tribological journal BULTRIB is published by The resources of a project funded by the grant for "Days of Science of TU - Sofia - 2011."

Трибологичен журнал БУЛТРИБ

Доклади от 8-мата Национална конференция по Трибология с международно участие BULTRIB '11, 28 октомври 2011, София

Съставил: доц. д-р инж. М. Кандева
Дизайн на корицата: маг. инж. П. Христов, маг. инж. А. Ердеклиян
Издателство ТУ-София
София 2012

ISSN: 1313-9878

СЪДЪРЖАНИЕ

1. Откриване и встъпително слово на доц. д-р М. Кандева, *Председател на Обществото на триболозите в България*.....*07*
2. Приветствие на проф. д-р Г. Тодоров, *Декан на МТФ-ТУ-София*……..*11*
3. Встъпително слово от проф. дтн Н. Манолов, *Основател на българската школа по трибология*.....*13*
4. Почетни дипломи на ИНГА за принос в развитието на трибологията и Балканската трибологична асоциация.....*15*
5. *Al. Vencl,* Композити с метална матрица, основани на хипоевтектична *Al-Si* сплав: трибологични свойства в условия на сухо плъзгане.....*17*
6. *C. SPÂNU, Cl. TELETIN, I. CRUDU*, Трибологично поведение на образци от хидрогенирана стомана *X-65*.....*24*
7. *B. Sovilj, M. Kandeva, G. Nikolcheva, J. Javorova, I. Kolev, Al. Makedonski, I. Sovilj-Nikic*, Специфични видове износване на профилни инструменти.....*33*

8. *Н. Костова, Т. Цончева, Л. Мицова, Н. Велинов, Е. Дуткова, М. Ахимовичова, П. Балаж,* Механохимично синтезирани FE_2O_3-TIO_2 смесено-оксидни катализатори за разлагане на метанол.....*43*

9. *З. Черкезова-Желева, К. Захариева, В. Петкова, Б. Кунев, И. Митов,* Синтез на феритни материали чрез механохимично активиране.....*49*
10. *Н. Велинов, Е. Манова, Т. Цончева, Д. Панева, Б. Кунев, К. Колева, И. Митов*, Механохимичен синтез на смесен *CU-CO* ферит.....*56*

11. *Д. Карастоянов, Вл. Котев, М. Кандева,* Устройство за изпитване на покрития на валове чрез микроманипулатор с пиезо задвижване.....*61*

12. *З. Карагьозова, В. Манолов, М. Тарасов,* Безтокови железни покрития с наноразмерни частици.....*73*
13. *З. Карагьозова, Ж. Калейчева, М. Кандева,* Износоустойчивост на покрития, получени чрез технологията ЕФТОМ-НИКЕЛ.....*80*

14. *А. Андонова,* Термографски контрол на износването на твърди покрития.....*91*
15. *П. Милушева*, Определяне на механичните характеристики на метални слоеве, нанесени върху кристален полистирол. *Част първа:* Получаване на металните слоеве.....*100*
16. *П. Милушева*, Определяне на механичните характеристики на метални слоеве, нанесени върху кристален полистирол. *Част втора:* Изследване на механичните характеристики на металните слоеве.....*105*

17. *П. Кузманов, В. Манолов, М. Кандева,* Износоустойчивост на модифицирани с наномодификатори чугун *GG25* и стомана *GX120MN12*.....*112*
18. *К. Стоичков*, Геометричен и кинематичен синтез и анализ на фрикционен вариатор с центроидни образуващи на работните повърхнини.....*125*

19. *К. Стоичков,* Геометричен синтез и анализ на фрикционен вариатор с центроидни образуващи на работните повърхини, по зададена първа предавателна функция на центроидния механизъм.....*133*

20. *К. Стоичков*, Геометричен синтез и анализ на фрикционен вариатор с центроидни образуващи на работните повърхнини по зададен закон за изменение на предавателната функция на вариатора.....*141*

21. *К. Стоичков*, Анализ на геометричното плъзгане при фрикционни вариатори с центроидни образуващи на работните повърхнини.....*149*

22. *Я. Софронов, А. Димитрова, И. Янкова, Н. Николов, Г. Тодоров*, Върху възможностите на лазерната технология за понижаване на грапавостта на стомана *ST 304*.....*157*

23. *Р. Димитрова, М. Тонгов, Р. Рангелов,* Създаване на междинен легиран слой в матрица от нисковъглеродна стомана чрез плазмено наваряване.....*176*

24. *И. Пейчев, М. Кандева,* Характеризиране на композитни покрития, нанесени чрез газотермична свръхзвукова струя (*HVOF*-процес) при различни технологични режими.....*187*

25. *М. Кандева, И. Пейчев, А. Димитрова,* Износване на композитни покрития, нанесени чрез газотермична свръхзвукова струя (*HVOF*-процес).....*198*

26. *В. Пожидаева, М. Кандева, Е. Асенова*, Метод за определяне на износването в зъбните предавки на редукторите от минни и обогатителни машини.....*213*

27. *А. Монов, С*тенд за ударно-абразивно износване. Особености при проектиране на ударния механизъм.....*219*

28. *А. Монов, М. Кандева,* Многокритериално изследване на композитни покрития при електродъгово равнинно наваряване.....*228*

29. *С. Демирова,* Структура и механични характеристики на високояка стомана *S700MC* след отгряване и заваряване.....*242*

30. *Т. Грозданова*, Характер и механизми на трибоемисията във вакуум.....*250*

31. *Т. Грозданова*, Трибологични характеристики и явления в алуминиеви материали в условията на висок вакуум.....*254*

32. *Т. Пеняшки*, Видове покрития и методи за нанасянето им върху металообработващи инструменти. Някои насоки за избора на подходящи материали и методи за нанасяне на покритията.....*258*

33. *П. Христов, А. Ердеклиян*, Рекламният потенциал на социалните интернет мрежи. Практическото приложение на трибологичния модел в социалните интернет мрежи.....*287*

34. *Е. Кожухарова,* Трибометаморфните слюдени шисти като лубрикант в тектонските зони на триене.....*298*

35. *П. Димитрова,* Проучване на взаимодействието между структурата, формата и цвета в съвременния дизайн на дамско облекло.....*305*

36. *Е. Асенова,* Седма международна конференция по Трибология "БАЛКАНТРИБ'11" в Солун, Гърция.....*317*

CONTENTS

1. Opening Speech by Assoc. Prof. Dr. Eng. Mara Kandeva, *Chairman of the Society of Bulgarian Tribologists* *08*
2. Welcoming speech by Prof. Dr. Eng. Georgi Todorov, *Dean of the Faculty of Machine Technology at the Technical University – Sofia*……*12*
3. Opening speech by Prof DSc Nyagol Manolov, *Founder of the Bulgarian School in Tribology*.....*14*
4. Honorary Diplomas of the Intedisciplinary Civic Academy for contribution in tribology and the Balkan Tribological Association.....*15*
5. *Aleksandar VENCL,* MMCS based on hypoeutectic al-si alloy: tribological properties in dry sliding conditions.....*17*
6. *Constantin SPÂNU, Claudiu TELETIN, Ion CRUDU,* Tribological behaviour of hydrogenated *X-65* steel samples.....*24*

7. *Bogdan Sovilj, Mara Kandeva, Galina Nikolcheva, Juliana Javorova, Ivan Kolev, Aleksandar Makedonski, Ivan Sovilj-Nikic,* Specific types of wear of profiled tools.....*33*
8. *N. Kostova, T. Tsoncheva, L. Mitsova, N. Velinov, E. Dutkova, M. Achimovicova, P. Balaz* Mechanochemically synthesized FE_2O_3-TIO_2 mixed oxides as catalysts for methanol decomposition.....*43*

9. *Z. Cherkezova-Zheleva, K. Zaharieva, V. Petkova, B. Kunev, I. Mitov,* Preparation of ferrite materials by mechanochemical activation.....*49*

10. *N. Velinov, E. Manova, T. Tsoncheva, D. Paneva, B. Kunev, K. Koleva, I. Mitov,* Mechanochemical synthesis of mixed *Cu-CO* ferrite.....*56*

11. *D. Karastoyanov, V. Kotev, M. Kandeva,* An inspection stand for shafts coatings using micromanipulator with piezo actuators.....*61*
12. *Z. Karaguiozova, V. Manolov, M. Tarasov,* Electroless iron coating on nanosized particles.....*73*
13. *Z. Karaguiozova, J. Kaleicheva, M. Kandeva,* Wear resistant coatings obtained by efftom-nickel technology.....*80*
14. *A. Andonova,* Thermographic inspections of hard coatings wear out.....*91*

15. *P. Milucheva,* Determination of mechanical properties of metal layers caused on the crystal polystyrene. *Part one:* Get metal layers.....*100*
16. *P. Milucheva,* Determination of mechanical properties of metal layers caused on the crystal polystyrene. *Part two:* Investigation of mechanical properties of the metal layers.....*105*

17. *P. Kuzmanov, V. Manolov, M. Kandeva,* Wear resistance of modified with nano-modifiers *GG25* cast iron and *GX120MN12* steel.....*112*
18. *K. Stoichkov,* Geometrical and kinematic synthesis and analysis of friction c.v.t. with centrode type contours of working surfaces.....*125*

19. *K. Stoichkov,* Geometrical and kinematic synthesis and analysis of friction c.v.t. with centrode type kontours work surfases, by the known first transmition function of the centrode type mechanism.....*133*

20. *K. Stoichkov,* Geometrical and kinematic synthesis and analysis of friction c.v.t. with centrode type contours working surfaces, received by known law for changing ratio of the c.v.t.....*141*

21. *K. Stoichkov,* Analysis of the geometrical sliding in friction c.v.t. with centrode type contours of working surfaces.....*149*

22. *Y. Sofronov, A. Dimitrova, I. Yankova, N. Nikolov, G. Todorov*, On the capabilities of the laser technology for smoothing the roughness of steel ST 304.....*157*

23. *R. Dimitrova, M. Tongov, R. Rangelov,* Creation of internal alloyed layer within a low carbon steel matrix by plasma arc surfacing process.....*176*

24. *I. Peichev, M. Kandeva,* Characterizing of composite coatings deposited through gas-thermal super sound stream (*HVOF*-process) at different technological regimes....

.....*187*

25. *M.Kandeva, I. Peichev, A. Dimitrova,* Wear of composite coatings deposited through gas-thermal super sound stream (*HVOF*-process).....*198*

26. *V. Pozhidaeva, M. Kandeva, E. Assenova,* Method for determination of speed reducer gearings wear in mining and ore-processing machines.....*213*

27. *A. Monov,* Bench impact-abrasion. Peculiarities in hammer mechanism.....*219*

28. *A. Monov, M. Kandeva,* Multi study of composite coatings in plane arc welding

29. *S. Demirova,* Structure and mechanical characteristics of ferritic steel *S700MC* after annealing and welding.....*242*

30. *T. Grozdanova,* Character and mechanisms of triboemissions in vacuum.....*250*

31. *T. Grozdanova,* Tribological characteristics and phenomena in al materials under high vacuum conditions.....*254*

32. *T. Peniashki*, Types of coatings and methods for their deposition on the machine tools. some guidelines for selecting suitable materials and methods for coating.....*258*

33. *P. Hristov, A. Erdeklian***,** Advertizing potential of social networks. Practical application of trybological model in internet social networks.....*287*

34. *E. Kozhoukharova*, The tribometamorphic micaschits as a lubricant in the tectonic zones of friction.....*298*

35. *P. Dimitrova,* An examination of the interaction between structure, shape and color in contemporary women's wear design.....*305*

36. *E. Assenova,* Seventh international conference on Tribology "BALKANTRIB'11" – Thessaloniki,
Greece…….....*317*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

Откриване и встъпително слово на Председателя на Обществото на триболозите в България

Уважаеми колеги-триболози и гости на конференцията „БУЛТРИБ'11”,

2011 година беше изпълнена с провеждането на активни мероприятия в областта на трибологията. Имам предвид балканската конференция „БАЛКАНТРИБ'11” в Солун, двете конференции „Контакт” на ИНГА към Балканската Трибологична Асоциация и настоящата „БУЛТРИБ'11”.

„БУЛТРИБ'11” е осмата поред конференция на Обществото на триболозите в България и особеното за нея е фактът, че тя е първата национална конференция с международно участие. Гости на нашата конференция са представители на трибологичните общества от Румъния, Сърбия и Турция. Друга особеност на „БУЛТРИБ'11” е, че тя за първи път се провежда на територията на ТУ-София. Всички останали конференции „БУЛТРИБ” досега са се провеждали паралелно с конференциите „Контакт” на ИНГА на територията на ФНТС. Последното обстоятелство е породено от факта, че трибологията получи признание в Машинно-технологичния факултет (МТФ) при ТУ-София в учебно-методически и организационен план, включително необходимото финансово спонсорство, предоставено от НИС към ТУ-София.

Настоящата конференция се явява събитие, което обогатява функционалното пространство на лабораторията по Трибология към ТУ-София като национален координационен център за страната. По инициатива на ОТБ и Центъра по трибология на настоящата конференция се подписва двустранно споразумение за дългосрочно сътрудничество между МТФ- ТУ-София и Машинския факултет в Университета в Белград.

Официални гости на нашата конференция са Декана на МТФ при ТУ-София проф. д-р Георги Тодоров и Председателят на ИНГА проф. дтн Нягол Манолов.

Имам удоволствието да предоставя думата на основателя и почетния председател на ОТБ проф. дтн Н. Манолов и да го поздравя за неговия Рожден ден 28 октомври 2011 година!

Доц. д-р Мара Кандева
Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

Opening Speech by the Chairman of the Society of Bulgarian Tribologists

Dear colleagues-tribologists and guests of the Conference BULTRIB'11,

Tribological initiatives were plenty in the year 2011. I have in view the conferences SERBIATRIB'11 in Kragujevac and BALKANTRIB'11 in Thessaloniki, the summer and autumn conferences CONTACT of the Interdisciplinary Civic Academy at the Balkan Tribological Association in Sofia, and the present conference BULTRIB'11.

BULTRIB'11 is the eighth conference of the Society of Bulgarian Tribologists. It is the first National Conference with International Participation. Delegates in our conference are representatives of the tribological societies of Romania, Serbia and Turkey. Another essential element of BULTRIB'11 is the fact that the Technical University of Sofia is host of the conference. The previous conferences BULTRIB were carried out in the Federation of the Scientific-Technical Unions in parallel with the conferences CONTACT of the Interdisciplinary Civic Academy. Last but not least is the feature that tribology gets its recognition in the Faculty of Industrial Technology at the Technical University of Sofia in the aspect of teaching-methodology and in organizational aspect, receiving also a financial support by the R&D Division of the Technical University.

The present conference is an event enriching the functional space of the Laboratory of Tribology at the Technical University – Sofia acting as National Coordination Center for the country. On the initiative of the Society of Bulgarian Tribologists and the Tribology Center, was signed the bilateral Agreement for long-term cooperation between the Faculty of Industrial Technology at the Technical University of Sofia and the Faculty of Mechanical Engineering at the University of Belgrade.

Official guests of the conference BULTRIB'11 are Prof. Dr. Georgi Todorov, Dean of the Faculty of Industrial Technology and Prof. DSc Nyagol Manolov, Chairman of the Interdisciplinary Civic Academy.

I am pleased to give the floor to Prof. DSc Nyagol Manolov, founder and honorary chairman of the Society of Bulgarian Tribologists, congratulating him with his birthday of today, October 28th, 2011!

Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva

Уважаеми професор Манолов,

Обществото на триболозите в България най-сърдечно Ви поздравява с Вашия рожден ден !

Всяка годишинина е повод за равносметка. За Вас тази равносметка е биографията на един талантлив и амбициозен човек. Биография на високия професионализъм и отдаденост на познанието.

За Обществото на триболозите, Вие сте човек който неуморно отдава своите сили и умения за преодоляването на всички трудности и превратности на нашето съвремие.

Вашият голям научен и административен опит, е пример за висок професионален стандарт.

В качеството си на основател на трибологичната школа в България и нейн дългогодишен ръководител, Вие успяхте да съхраните добрите традиции и под Вашето ръководство ние триболозите извървя един не лек път.

Нека този ден да не е само повод за равносметка. Нека той да бъде едно обещание, че заедно ще съхраним и продължим добрите традиции в областта на познанието като достойни граждани на света.

Честит Рожден Ден!
Желаем Ви от сърце още дълги години здраве, творчески успехи и лично щастие!

ПРЕДСЕДАТЕЛ НА ОТБ

Мара Кандева

Dear Professor Manolov,

Many happy returns of your birthday on behalf of the Society of Bulgarian Tribologists!

Each birthday is a reason to strike a balance. This balance is for you the biography of a talented and ambitious man; the biography of high professionalism and devotion to the science.

For the Society of Bulgarian Tribologists, you are a man who tirelessly lays down his forces and skills to overcome all difficulties and vicissitudes of our time.

Your great scientific and organizational experience is an example of high professional standard.

As founder and key man of tribology in Bulgaria, you managed to keep the good traditions: under your direction our Society made a non-easy way. We believe that you will continue your work in the typical for you hunger, developing tribology with the same ambition and great professionalism.

Let this day provides not only matter for balance: let it be a promise that we will continue our search for knowledge together.

Happy Birthday, Professor Manolov! We wish you long years of health, achievements and good luck!

Chairman of the Society of Bulgarian Tribologists

Mara Kandeva

ПРИВЕТСТВИЕ

на Проф. д-р инж. Георги ТОДОРОВ - Декан на Машинно-технологичния факултет при Техническия университет-София
към участниците в конференция „БУЛТРИБ'2011”

Уважаеми дами и господа, скъпи гости и участници в „БУЛТРИБ'2011”,

Предметът на дейност на нашия факултет – материалите, машините и технологиите, е органически свързан с проблемите на трибологията в областта на триенето, износването и мазането на телата.

Лабораторията по Трибология и нейният ръководител доц. д-р инж. Мара Кандева се включват активно в научно-изследователската и учебна дейност на факултета.

В навечерието на настоящата конференция „БУЛТРИБ'2011” подписахме Споразумение за двустранно сътрудничество, вкл. и по проблемите на трибологията, между нашия факултет и Машинния факултет към Университета в Белград – Сърбия.

Като Декан на Машинно-технологичния факултет бих искал да подчертая, че с дейността на лабораторията по Трибология се разширява и качествено се подобрява функционалното научно и учебно-методично пространство на нашия факултет.

Имам удоволствието да Ви поздравя с добре дошли и да Ви пожелая успешна и ползотворна работа по време на настоящата конференция с международно участие „БУЛТРИБ'2011”!

28 октомври 2011 г. ***Проф. д-р инж. Георги ТОДОРОВ***

София

WELCOMING SPEECH

by Prof. Dr. Eng. Georgi TODOROV,

Dean of the Faculty of Machine Technology at the Technical University - Sofia

to the participants in the Conference "BULTRIB'2011"

Ladies and gentlemen, dear guests and participants in the Conference "BULTRIB'2011",

The objects of interest for the activity of our faculty, i. e. materials, machines and technologies, are closely related to the problems of tribology in the field of friction, wear and lubrication of solids.

The Laboratory of Tribology led by Assoc. Prof. Dr. Eng. Mara Kandeva takes active part in the research and development, and in the educative work of our Faculty.

On the eve of the present Conference "BULTRIB'2011" we signed an Agreement between our Faculty and the Faculty of Mechanical Engineering at the University of Belgrade, for bilateral cooperation in the problems of tribology inclusive.

As Dean of the Faculty of Machine Technology I would like to underline the fact that the activity of the Laboratory of Tribology enlarges and improves the functional scientific and educational-methodological space of the Faculty.

I have the pleasure to welcome you and to wish you successful and beneficial work during the present Conference with international participation "BULTRIB'2011"!

October 28th, 2011 ***Prof. Dr. Eng. Georgi TODOROV***

Sofia

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ВСТЪПИТЕЛНО СЛОВО

от Проф. дтн Нягол Манолов,
основател на българската школа по трибология

Уважаеми колеги и гости,

Мои учители са били Александър Сергеевич Ахматов и Дмитрий Михайлович Толстой. Това са физици от Москва, като вторият е внук на Лев Николаевич Толстой.

През 1970 г. под тяхно ръководство защитих първия си докторат по проблемите на ултразвуковата проводимост на контакта.

В продължение и развитие на тяхните идеи беше основана и българската школа по трибология на територията на Техническия университет-София в катедра „Механика”.

Влияние върху развитието на тази школа оказаха крупни български специалисти в областта на механиката и машиностроенето като проф. Георги Данов, проф. Георги Ангелов, проф. Михаил Константинов, акад. Ангел Балевски, проф. Аркадий Стоянов, проф. К. Каишев, проф. А. Сучков, проф. Давидов и други.

Формирането на българската трибологична школа стана с активното участие на десетки мои ученици и сътрудници. След моето пенсиониране през 2000 г. дейността на тази школа пое доц. д-р Мара Кандева, която е и председател на Организационния комитет на настоящата конференция.

Обществените изяви на българската школа по трибология са:

1. Национална концепция за развитие на трибологията в България
2. Общество на триболозите в България
3. Балканската трибологична асоциация
4. Интердисциплинна гражданска академия ИНГА
5. Висша академична школа по трибология МАШ БАЛКАНТРИБ
6. Списание на Балканската трибологична асоциация на английски език и списание „Контакти” на ИНГА на български език.

Аз искам да Ви поздравя с Добре дошли от името на моите колеги, свързани с устоите на трибологията в България и в региона, и от тяхно име да Ви предам горещата надежда, че ще пренесете техните постижения в съвременната европеизираща се концепция на трибологията.

Тук съм и за да поздравя участниците в тази конференция от името на ИНГА като нейн президент и да поднеса признанието на Академичния съвет на ИНГА за заслугите на двама изявени триболози от Сърбия и Румъния, а именно проф. Александър Рац и проф. Минодора Рипа.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

OPENING SPEECH

by Prof. DSc Nyagol Manolov,
Founder of the Bulgarian School in Tribology

Dear colleagues and guests,

My teachers were Alexander Sergeevich Ahmatov and Dmitrii Mihailovich Tolstoy, grand-son of Lev Nikolaevich Tolstoy. They were both physicists in Moscow. In 1970 I defended my first Doctor degree elaborated on the subject of ultrasonic contact conductance under the direction of both of these great persons.

The Bulgarian School in Tribology was founded at the Technical University of Sofia – the Department Mechanics, as continuation and development of their ideas.

Eminent Bulgarian specialists in the area of mechanics and industrial technologies have influenced the development of the School, to enumerate just some of them: Prof. Georgi Danov, Prof. Georgi Angelov, Prof. Mihail Konstantinov, Acad. Angel Balevski, Prof. Arkadii Stoyanov, Prof. Kaishev, Prof. Suchkov, Prof. Davidov and many others.

The Bulgarian School in Tribology was established with the active participation of dozens of my followers and collaborators. After my retirement in the year 2000, the activities of the School were taken up by Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva who is also Chairman of the Organizing Committee of the present Conference.

The public contributions of the Bulgarian School in Tribology are as follows:

1. National conception for the development of tribology in Bulgaria
2. Society of Bulgarian Tribologists
3. Balkan Tribological Association
4. Interdisciplinary Civic Academy INGA
5. Higher Academic School in Tribology MASH BALKANTRIB
6. Journal of the Balkan Tribological Association in English and Journal "Contacts" of INGA in Bulgarian language.

I would like welcome you in the name of my colleagues related to the pillars of tribology in Bulgaria and in the region, and in their name to convey the ardent hope that you will transmit their achievements in the European style of the modern tribology.

I would also like to bring my greetings to you, the participants of the Conference, in the name of the Interdisciplinary Civic Academy INGA as its Chairman and to pay the respects of the Academic Council of INGA for the merit of two eminent tribologists from Serbia and Romania, namely Prof. Dr. Aleksandar Rac and Prof. Dr. Minodora Ripa.

INTERDISCIPLINARY CIVIC ACADEMY - ICA
SOFIA, BULGARIA

HONORARY DIPLOMA

Managing Council of the ICA
awards

Prof. Dr.
Aleksandar Rac

with Honorary Diploma and Medal of the ICA
for his significant contribution
to the organizing, development and success
of the Balkan Tribological Association
and BALKANTRIB

October 2011
BULGARIA

President of the ICA:
(Prof. DSc. N. Manolov, acad. of ICA)

INTERDISCIPLINARY CIVIC ACADEMY - ICA
SOFIA, BULGARIA

HONORARY DIPLOMA

Managing Council of the ICA
awards

Prof. Dr.
Minodora Ripa

with Honorary Diploma and Medal of the ICA
for his significant contribution
to the organizing, development and success
of the Balkan Tribological Association
and BALKANTRIB

October 2011
BULGARIA

President of the ICA:
(Prof. DSc. N. Manolov, acad. of ICA)

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

MMCS BASED ON HYPOEUTECTIC AL-SI ALLOY: TRIBOLOGICAL PROPERTIES IN DRY SLIDING CONDITIONS

Aleksandar Vencl

Tribology Laboratory, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Kraljice Marije 16, 11120 Belgrade 35, Serbia;
avencl@mas.bg.ac.rs; http://tribolab.mas.bg.ac.rs

Abstract: *This paper presents a short summary of the researches conducted in past few years concerning the MMCs with A356 Al-Si alloy matrix and different second phase. The results are divided in two groups. In the first group are the results that concern the influences of amount and size of reinforcement (Al_2O_3), and in the second group are the results that concern the influences of type of reinforcement (Al_2O_3 and SiC) and graphite.*

1. Introduction

Aluminium-silicon (Al-Si) alloys have attractive physical and mechanical properties. They are lightweight (app. 3x lighter then gray cast iron and steel), low costs production (with sand casting technology), easy to machine and have satisfactory mechanical properties with good recycling possibilities (up to 95 %). There are lots of applications of the Al-Si alloys, and one of them is replacing gray cast iron in engine cylinder blocks. Use of Al-Si alloys in this application has positive and negative aspects. Positive aspects are: reduction of engine mass, lower fuel consumption and reduced pollution; Shortcoming is, first of all, inappropriate tribological properties. Possible solutions for improving the Al-Si alloy tribological characteristics are: use of the tribological coatings, development of the new technologies of Al-Si alloys production (e.g. thixoforming) and production of the MMCs with Al-Si matrix [1,2].

2. Materials

The matrix material for all tested composites was A356 hypo-eutectic Al-Si alloy (EN AlSi7Mg0.3) with chemical composition shown in Table 1.

Table 1: Chemical composition (wt. %) of A356 Al-Si alloy

Element	Si	Cu	Mg	Mn	Fe	Zn	Ni	Ti	Al
Percentage	7.20	0.02	0.29	0.01	0.18	0.01	0.02	0.11	Balance

Tribological test were conducted in two phases: In the first phase influences of amount and size of reinforcement were investigated, and in the second phase influences of type of reinforcement and graphite were investigated. The materials that have been tested are as follows.

Phase I – Influence of amount and size of reinforcement:

- MMC 1 – A356 + Al_2O_3 particles (3 wt. %; 12 μm), ref. as 3-12;
- MMC 2 – A356 + Al_2O_3 particles (10 wt. %; 12 μm), ref. as 10-12;
- MMC 3 – A356 + Al_2O_3 particles (10 wt. %; 35 μm), ref. as 10-35;
- Reference material – gray cast iron, ref. as SL 26.

Phase II – Influence of type of reinforcement and graphite:

- MMC 1 – A356 + Al_2O_3 particles (10 wt. %; 35 μm), ref. as 10-35;
- MMC 2 – A356 + SiC particles (10 wt. %; 39 μm), ref. as 10-39;
- MMC 3 – A356 + SiC (10 wt. %; 39 μm) and Gr (1 wt. %; 35 μm) particles, ref. as 10-39-1;
- Reference material – matrix alloy, ref. as A356.

Technology for producing the composites was compocasting method. Experimental procedure and apparatus used in compocasting processing are described and discussed elsewhere [3]. Composite specimens were thermally processed applying T6 heat treatment regime, which consists of solution annealing at 540 °C for 6 hours, water quenching and artificial aging at 160 °C for 6 hours. Microstructures of the tested materials have been presented and discussed elsewhere [3-6]. Hardness and other mechanical properties for the phase I materials have been presented and discussed in [4,5,7,8], and for the phase II materials in [6,9].

3. Tribological test procedures

Both tests were under dry sliding conditions, in ambient air at room temperature. The phase I tests were carried out on the standard pin-on-disc tribometer with cylindrical pins made of tested materials. The phase II tests were carried out on the ball-on-barrel tribometer with linear (reciprocating) movement. Moving body with cylindrical geometry was made of tested

materials. Diagrams of the load, sample, counter body and the direction of movement for both tribometers are shown in Fig. 1. Main tribological test parameters are summarised in Table 2.

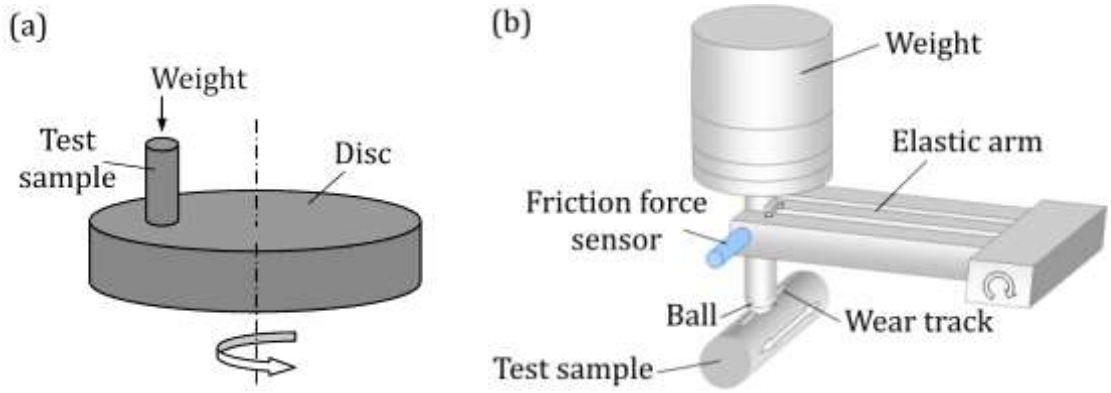


Figure 1: *Schematic drawing of tribometer used in: (a) phase I and (b) phase II*

Table 2: Main tribological test parameters

Test parameter	Phase I values	Phase II values
Sliding speed	1 m/s	0.038 m/s (average)
Normal load	1, 2, 3 and 4 MPa	1 N
Sliding distance	5000 m	500 m
Counter body	disc (nodular gray cast iron)	ball (alumina)

4. Results and discussion

4.1 Phase I – Influences of amount and size of reinforcement

The steady-state coefficient of friction values did not change significantly with the change of load and one mean value per material could be accepted for the whole applied load interval (Fig. 2).

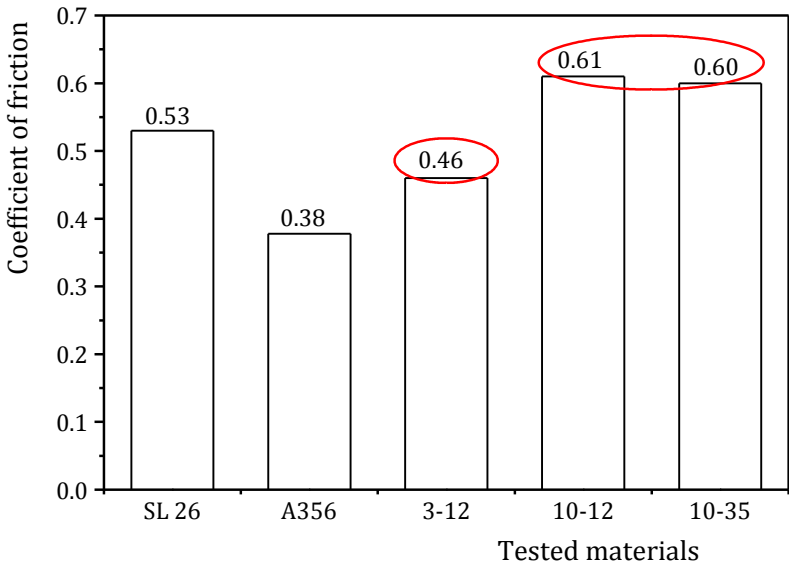


Figure 2: *The coefficient of friction average values of tested materials*

Attained values of coefficient of friction were in expected range for dry sliding conditions. Both composite materials with 10 wt. % of Al_2O_3 had higher values of the coefficient of friction than gray cast iron (SL 26), principally due to the presence of hard reinforcing particles. Confirmation for this statement is the value of the coefficient of friction obtained with composite containing 3 wt. % of Al_2O_3. In this case we have the same matrix and the same reinforcement but in lower amount, which induced lower coefficient of friction.

The wear rates (calculated for the steady-state period) at different loads are presented in Fig. 3. Tendency for all materials was the same, i.e. with the increase of specific load the wear rate also increases.

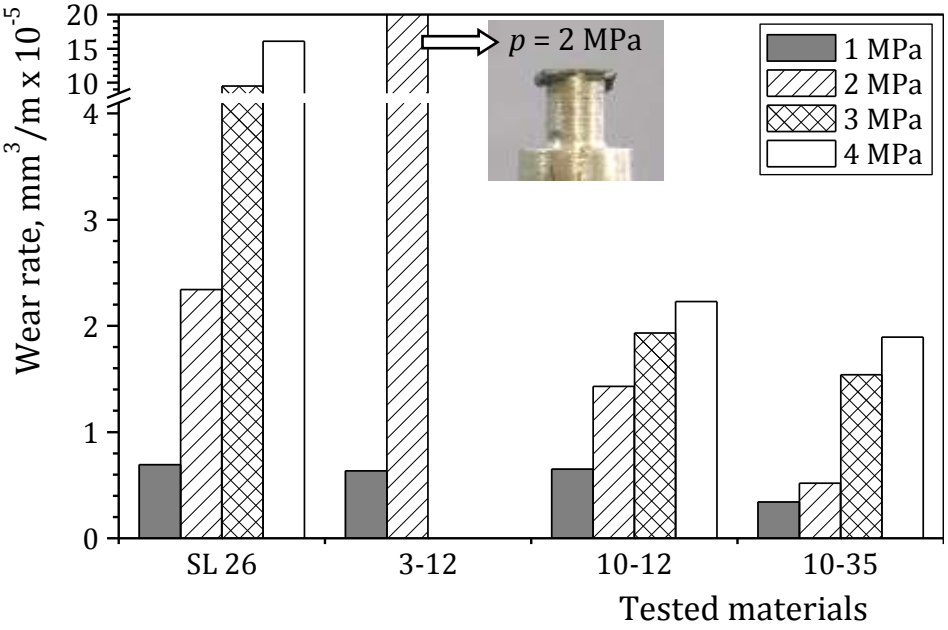


Figure 3: *Wear rates of the tested materials for different specific loads*

Comparison of the tested materials, by wear resistance, showed that 3 wt. % of Al_2O_3 was enough just for loads up to 1 MPa while both composites containing 10 wt. % of Al_2O_3 could be accepted as a possible substitution for the gray cast iron. Composite 10-35 showed the highest adhesive wear resistance in dry sliding conditions. For low loads bigger size (35 μm) of Al_2O_3 decreased the wear rate more than the smaller size, and for high loads the effect is less pronounced i.e. the wear rate starts to grow.

After the visual inspection, analysis of the worn surfaces was performed by scanning electron microscopy (SEM). At lower loads (1 and 2 MPa) gray cast iron samples were not in full contact with the counter body, and basic lamellar structure of the material could still be clearly noticed. At higher loads more intensive abrasive wear starts. Adhesive wear also occurs due to the presence of

high pressures and contact temperatures. Worn surfaces of both composites containing 10 wt. % of Al_2O_3 showed similar appearance indicating adhesion as dominant wear mechanism. At lower loads (1 and 2 MPa) presence of transferred counter body material to the samples could be noticed.

Wear products were also analysed by SEM. Morphology and size of wear products for all tested materials were similar. Mainly sharp edge, plate-like particles prevail, without any visible grooves on them, which is characteristic for adhesive wear. Only in case of composite 3-12 presence of the rod-like particles, longer than 50 μm were noticed, which indicates existence of severe wear. Dimensions of the wear products in case of all other materials were app. 10 μm (some of them were 20 to 30 μm in diameter, but less than 50 μm, i.e. severe wear did not occur).

4.2 Phase II – Influences of type of reinforcement and graphite

Obtained average steady-state values of coefficients of friction and wear rates are presented in Fig. 4. Values of coefficients of friction were in expected range for light metals in dry sliding conditions, and all tested materials showed very similar values.

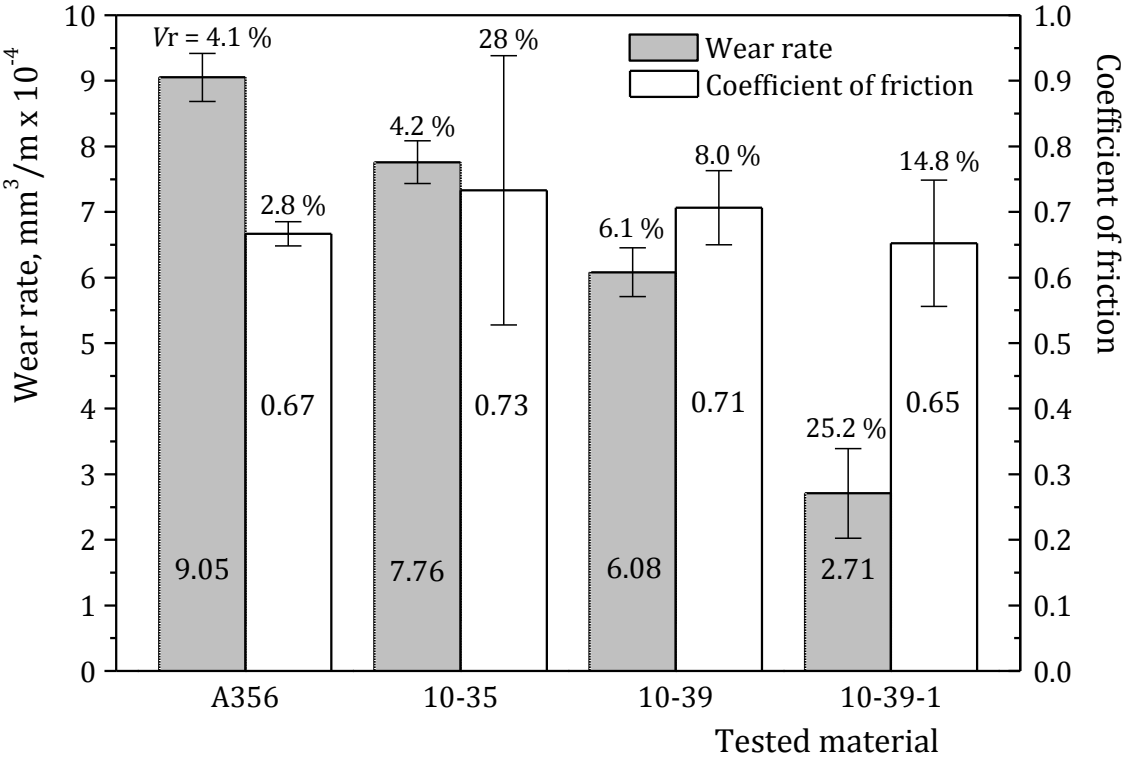


Figure 4: *Wear rate and coefficient of friction values of tested materials*

The A356 Al-Si alloy showed the smallest variation of results since it was the most homogeneous material. This material also showed the lowest wear resistance. Higher wear resistance of composites reinforced with SiC particles (10-39 and 10-39-1) in relation to composite reinforced with Al_2O_3 particles (10-35) can be explained by favourable arrangement of SiC reinforcing particles in the composite matrix, i.e. clusters B [10]. Addition of the graphite particles in composite 10-39-1 reduced wear rate and coefficient of friction. Since the presence of graphite was small (only 1 wt. %) this should be considered with caution and only noticed as a possible trend of behaviour.

SEM analysis of worn surfaces confirmed that the adhesive wear was dominant type of wear. Protruded SiC particles (more obvious for 10-39-1) protected the matrix and lower the wear rate. Presence of Al_2O_3 particles on the surface was not noticed. Morphology and size of wear products for all tested materials were similar. Mainly sharp edge, plate-like particles prevail, which is characteristic for adhesive wear.

The wear products of A356 matrix alloy and composite 10-35 showed variations in size and in some cases individual particles, larger than 50 μm in diameter, could be detected. This indicates existence of severe wear. The maximum sizes of wear products for composites 10-39 and 10-39-1 were smaller, with maximum particles sizes of app. 20 μm in diameter.

5. Conclusions

- The composite materials with better tribological properties in relation to matrix alloy can be obtained by compocasting process.
- For the investigated conditions (dry sliding, adhesive wear), some composites could be an adequate substitution for gray cast iron as a standard material for cylinder blocks.
- A hybrid composite (with SiC and Gr particles) showed the lowest values of wear rate and coefficient of friction in dry sliding conditions.
- Addition of graphite (1 wt. %) improved tribological properties but an optimal amount should be determined for each application.

References

[1] Vencl, A., Rac, A., New wear resistant Al based materials and their application in automotive industry, MVM – International Journal for Vehicle Mechanics, Engines and Transportation System, 30, Special Edition, 2004, 115-139.

[2] Vencl, A., Rac, A., Bobić, I., Tribological behaviour of Al-based MMCs and their application in automotive industry, Tribology in Industry, 26, 3-4, 2004, 31-38.

[3] Vencl, A., Bobić, I., Jovanović, M.T., Babić, M., Mitrović, S., Microstructural and tribological properties of A356 Al-Si alloy reinforced with Al_2O_3 particles, Tribology Letters, 32, 3, 2008, 159-170.

[4] Mišković, Z., Bobić, I., Tripković, S., Rac, A., Vencl, A., The structure and mechanical properties of an aluminium A356 alloy base composite with Al_2O_3 particle additions (MMC), Tribology in Industry, 28, 3-4, 2006, 23-27.

[5] Vencl, A., Bobić, I., Tribological properties of A356 Al-Si alloy base composite reinforced with Al_2O_3 particles (MMC), in: Proceedings of the 5th Congress of the Metallurgists of Macedonia, 17-20.09.2008, Ohrid, Macedonia, M8–07-E.

[6] Vencl, A., Bobic, I., Arostegui, S., Bobic, B., Marinković, A., Babić, M., Structural, mechanical and tribological properties of A356 aluminium alloy reinforced with Al_2O_3, SiC and SiC + graphite particles, Journal of Alloys and Compounds, 506, 2, 2010, 631-639.

[7] Vencl, A., Manić, N., Popovic, V., Mrdak, M., Possibility of the abrasive wear resistance determination with scratch tester, Tribology Letters, 37, 3, 2010, 591-604.

[8] Vencl, A., *The Research of the Al-Si Alloys Tribological Properties Improvement Possibilities in Sliding Conditions*, Ph.D. thesis, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Serbia, 2008 (in Serbian).

[9] Vencl, A. Bobic I., Stojanovic, B., Tribological properties of A356 Al-Si alloy composites under dry sliding conditions, Industrial Lubrication and Tribology, accepted for publication.

[10] Tszeng T.C., The effects of particle clustering on the mechanical behavior of particle reinforced composites, Composites Part B: Engineering, 29, 3, 1998, 299-308.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

TRIBOLOGICAL BEHAVIOUR OF HYDROGENATED X-65 STEEL SAMPLES

C. SPANU*, C. TELETIN, I. CRUDU
"Dunarea de Jos" University of Galati, Romania
E-mail: constantin.spanu@ugal.ro

ТРИБОЛОГИЧНО ПОВЕДЕНИЕ НА ОБРАЗЦИ ОТ ХИДРОГЕНИРАНА СТОМАНА Х-65

К. Спану, К. Телетин, Й. Круду

Abstract: *The paper presents tribological behavior of hydrogenated X-65 steel used for oil facilities (pipes and pressure recipients) aiming to determine how hydrogen affects the structure of the steel. The samples were assayed from the surface and from the middle of a slab that is obtained by continuous casting. The behavior has been determined using the friction coefficient developed during a sliding indentation test. To identify the influence of hydrogen on the tribological behavior of steel, some samples were hydrogenated 96 hours, others 192 hours and some remain nonhydrogenated. After testing it was observed a decrease in friction coefficient with the increasing of the hydrogenation time. The coefficient of friction for the surface samples is higher than for the samples from the middle of the slab.*
The tests shows that the hydrogenation impaired mechanical properties of steel.
Keywords: *sliding indentation, hydrogen embrittlement, friction coefficient.*

1. INTRODUCTION

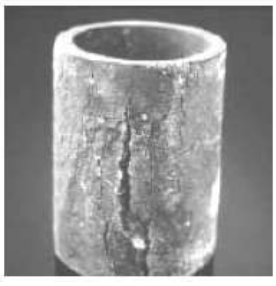


Fig. 1. Crack generated by hydrogen [1]

The steel for oil pipes and pressure recipients gets a particular attention due to the negative implications in environment, health and economic life [1],[2],[3],[4]. Such a steel is X 65 PSL 2 (according API 5L standard) that is the object of this paper.

The hydrogen exist in steel (called "metallurgical hydrogen") during elaboration and supplementary can be added from the petroleum products (sulphide compounds in special). Mainly in

* For correspondence.

the presence of the mechanical stress, all that hydrogen may damage the pipes and other parts of the installation [5],[6]. In Fig. 1 can be seen a crack due to hydrogen embrittlement.

In time the hydrogen diffuses to the surface from the moment of the steel elaboration. The concentration decreases and reaches to a constant value after a few days [7].

The chemical composition of the X 65 steel used in this research is presented in Table 1. The hydrogen in Table 1 is the metallurgical hydrogen.

Table 1. Chemical composition of the slab

Chemical composition [%]													H_2 [ppm]
C	Si	Mn	P	S	Al	Cr	Ni	As	Ti	Nb	Ca	N_2	
0,065	0,29	1,59	0,013	0,008	0,037	0,250	0,155	0,005	0,018	0,058	0,0010	0,0090	5,9

The action of the hydrogen embrittlement on steel can be appreciated by all the investigation test methods that deliver information about steel behavior during deformation and fracture processes [6]. Among the test methods it is used the classical mechanical hardness tests. Sliding indentation can be a better test method than hardness. It can determine some characteristics of the bulk and superficial layer of the steel, like plastic deformations, friction coefficient, type of plastic deformation etc.

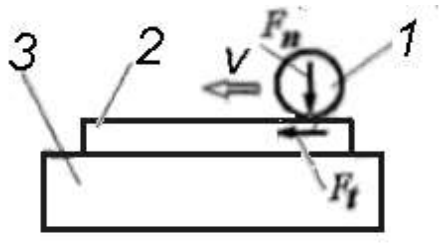


Fig. 2. The tribomodel for sliding indentation: *1*- indenter, *2* - sample, *3*- support surface, *v*- horizontal sliding speed, F_t - tangential force, F_n - normal indentation force

The sliding indentation method, [8],[9], where to the normal indentation force a tangential one is added, is more difficult to put in practice than hardness test but provide a more complex state of stress in the sample than simple indentation [10],[11].

2. SLIDING INDENTATION DEVICE AND THE SAMPLES

The tests were performed on a special designed device [12],[13]. In Fig. 2 it is presented the tribomodel for this test.

As indenter, a 12.675 mm diameter ball was used. The ball material is hardened Romanian steel RUL-1 (SREN ISO 683-17:2002).

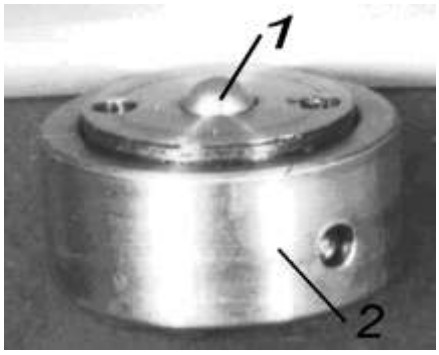


Fig. 3. The indenter *(1)* and the holder *(2)*

The holder of the indenter (Fig. 3) doesn't allow the ball rotation. For each test, a new ball was used. The sliding speed of the holder was v=0.172 mm/s.

Both normal and tangential force values were monitored and recorded. The measuring system consists of two identical force transducers, one for normal force and other for tangential one, and a data acquisition and processing system.

The test specimens were taken from the surface and the middle of a slab obtained by continuous casting. The surface ones are noted with S and the middle ones with M (Fig. 4).

For the study of the hydrogen influence on the mechanical characteristics of the X 65 steel, two specimens (S and M) were hydrogenated for 96 hours and coded S_96 and M_96. Other two specimens (S and M) were hydrogenated for 192 hours and coded S_192 and M_192. The remaining specimens coded S_0 and M_0 are nonhydrogenated (they contain only "metallurgical hydrogen").

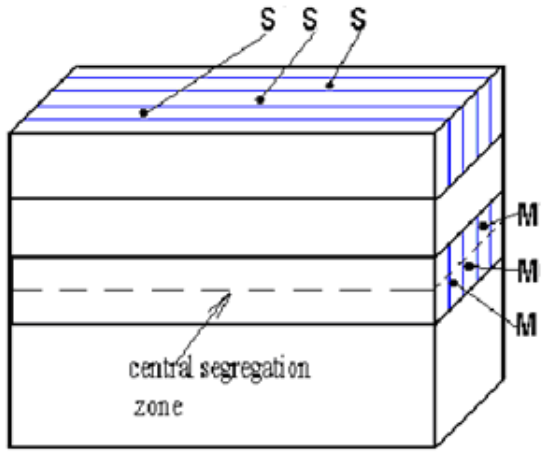


Fig. 4. The position of the samples related to the slab

The hydrogenation was done by bubbling sulphured hydrogen into acidulate salt solution (5% NaCl, 0.5% CH_3COOH). The test specimens are rectangular parallelepipeds 10 x 40 X 70 (the dimensions are in millimeters).

The slab is heterogeneous in its section, which can be seen form metallographic microscopy analysis and scanning electron microscopy (Fig. 5)

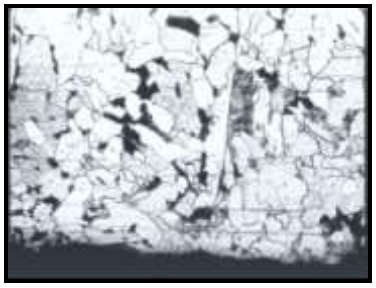
From the Fig. 5 for nonmetallic inclusions analyses (nonchemical treated samples) it can be observed that the samples taken from the slab surface (Fig. 5 a) have, in generally, some small nonmetallic inclusions only (many of then are oxides) and gas holes. Contrary, samples taken from middle of the slab (Fig. 5 b) have many gas holes and larger and denser nonmetallic inclusions, like a net. Inclusions are oxides, sulphides and nitrides like.

As concerning the microstructure analyze (2% nital treated samples) results that the samples taken from the slab surface (Fig. 5 c) have a ferrite-pearlite structure with smaller and inhomogeneous grains, right on the slab surface. The ferrite is lamellar and globular. Samples taken from middle of the slab (Fig. 5 d)

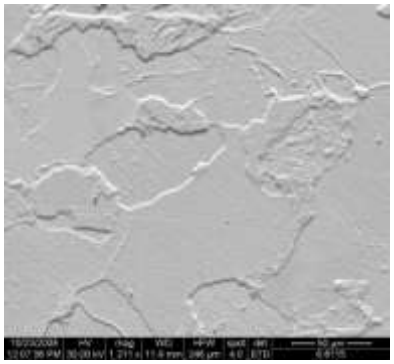
have a ferrite-pearlite casting structure with bigger and inhomogeneous grains. Borders between grains are not always obvious. It is noticed many gas holes specific to casting and chemical inhomogeneity.



a) Sample S_0 (100X) metallographic microscope nonchemical treated sample



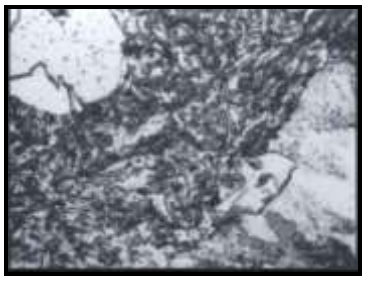
c) Sample S_0 (200X) metallographic microscope 2% nital treated samples



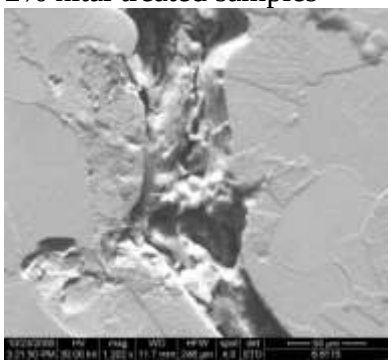
e) Sample S_0 (1211X) scanning electron microscope 2% nital treated samples



b) Sample M_0 (50X) **metallographic microscope** nonchemical treated sample



d) Sample M_0 (500X) metallographic microscope 2% nital treated samples



f) Sample M_0 (1202X) scanning electron microscope 2% nital treated samples

Fig. 5. Images from metallographic and scanning electron microscopy for S_0 and M_0 samples

The same things it can be observed from the scanning electron microscope images (Fig. 5 e,f). From the Figs. 5 b,d,f it can be seen the association of the nonmetallic inclusions and gas holes that forms a net. This observation is typically to the structure of the central segregation zone. So, the structure of the samples from the surface is superior to those from the middle of the slab.

The surface roughness has the value indicated in Table 2. For these values it was used a portable profilometer with a resolution of 0.01 – 0.04 μm.

The normal forces used for indentation were: 0.036; 0.7216; 1.4432; 2.1648; 2.8864; 3.608 in kN.

Table 2 Roughness values for test specimens

Specimens type	Average value (μm)
Nonhydrogenated	2.082
Hydrogenated 96 h	2.323
Hydrogenated 192 h	2.206

For each tests the indenter is pressed onto the surface with the above normal forces. Then the indenter is pushed and a tangential force is developed. During sliding indentation process, due to constant normal force, the indenter leaves on the sample surface concave tracks, Fig. 6.



Fig. 6. Indentation traces

3. EXPERIMENTAL RESULTS

In a previous paper [14] it were presented some experimental results concerning the tracks width and the type of the deformation during sliding indentation tests for the same steel. In this paper are presented experimental results concerning the tangential forces and friction coefficient developed during the same test.

3.1. THE TANGENTIAL FORCES COMPARISON

This forces were measured during the indentation at fixed intervals (0,2 s) and then an average of those data has been made. The number of data was the same for all the samples. The results are shown in Table 3.

Table 3. The averages of the tangential forces

Normal indentation forces F_n (kN)	The averages of the tangential forces F_t (kN)					
	Sample S_0	Sample S_96	Sample S_192	Sample M_0	Sample M_96	Sample M_192
0.7216	0.1010	0.0303	0.0048	0.0588	0.0452	0.0193
1.4432	0.1763	0.1828	0.0328	0.1169	0.0947	0.1324
2.1648	0.3317	0.3314	0.0470	0.2195	0.1748	0.2649
2.8864	0.2887	0.5351	0.2290	0.3328	0.2104	0.1592
3.608	0.3930	0.4799	0.2663	0.3987	0.3753	0.2486

Using this data, the chart in Fig. 7 was made. In the chart is was noticed that:

- for all samples, both the nonhydrogenate and the hydrogenated ones, there is a tendency of growth of tangential forces, together with the growth of normal indentation forces:
- there is a trend of reduction of the tangential indentation forces with hydrogenation time;

- tangential forces are smaller for the samples from the slab centre, than for those from the slab surface.

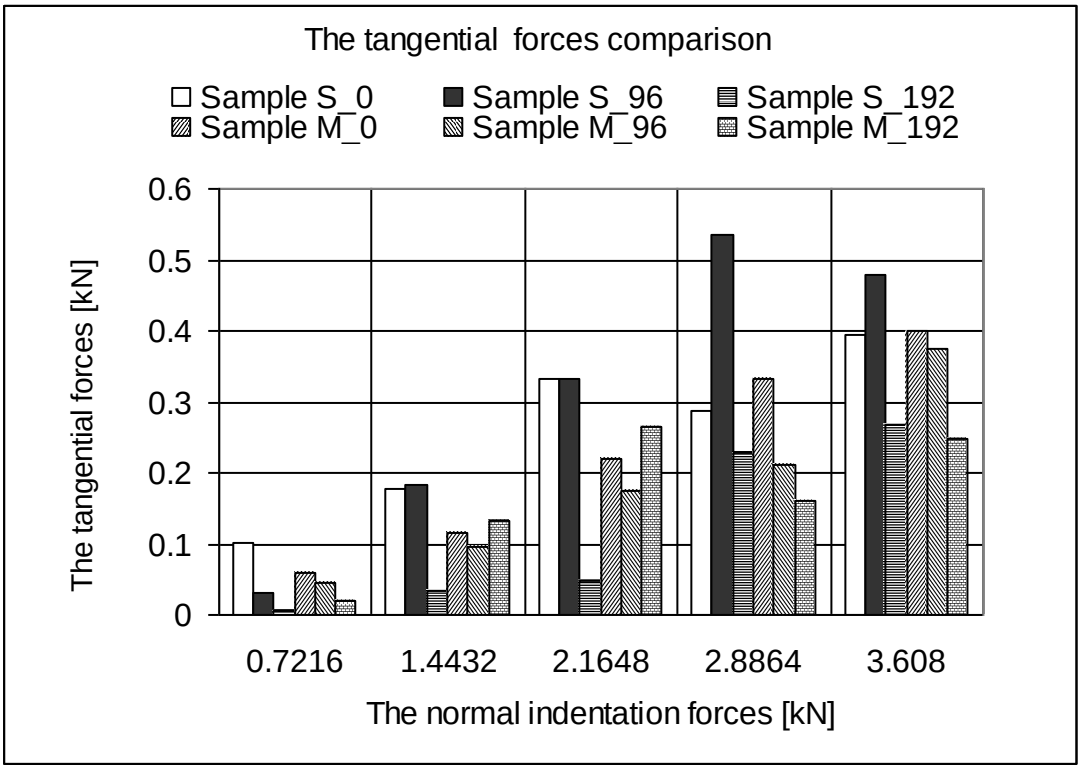


Fig. 7. The averages values comparison for tangential forces

3.2. THE FRICTION COEFFICIENT COMPARISON

Tribological behaviour of the X65 steel was determines by the friction coefficient, that was calculated with well-known formula:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n}$$

where:

μ is the friction coefficient;

F_t is the tangential force;

F_n is the normal indentation force.

The values of the friction coefficient are shown in the Table 4.

For the average values of the friction coefficient that correspond to a specific sample it was calculated the maxim and the minimum values with the formulas:

$$\mu_{min} = \bar{\mu} - t(P,k) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

and

$$\mu_{max} = \bar{\mu} + t(P,k) \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$$

where:

$\bar{\mu}$ is the average friction coefficient;

$t(P,k)$ is the value of the student distribution for 90% confidence level and a degrees of freedom k=n-1 (n is the number of values);

s is the standard deviation values.

Table 4. The values of the friction coefficient

Normal indentation forces F_n (kN)	The values of the friction coefficient					
	Sample S_0	Sample S_96	Sample S_192	Sample M_0	Sample M_96	Sample M_192
0.7216	0.1400	0.0420	0.0067	0.0815	0.0626	0.0267
1.4432	0.1222	0.1267	0.0227	0.0810	0.0656	0.0917
2.1648	0.1532	0.1531	0.0217	0.1014	0.0807	0.1224
2.8864	0.1000	0.1854	0.0793	0.1153	0.0729	0.0552
3.6080	0.1089	0.1330	0.0738	0.1105	0.1040	0.0689
	The average values					
	0.1249	0.1280	0.0408	0.0979	0.0772	0.0730

The minimum and maxim values of the fiction coefficient are presented in the Table 5.

Table 5. The minimum and maxim values of the fiction coefficient

Sample	Average values	Standard deviation values	Maxim values	Minimum values
S_0	0.125	0.022	0.146	0.104
S_96	0.128	0.053	0.179	0.077
S_192	0.041	0.033	0.073	0.009
M_0	0.098	0.016	0.113	0.083
M_96	0.077	0.017	0.093	0.061
M_192	0.073	0.036	0.108	0.039

The graphical representation of this values is shown in Fig. 8.

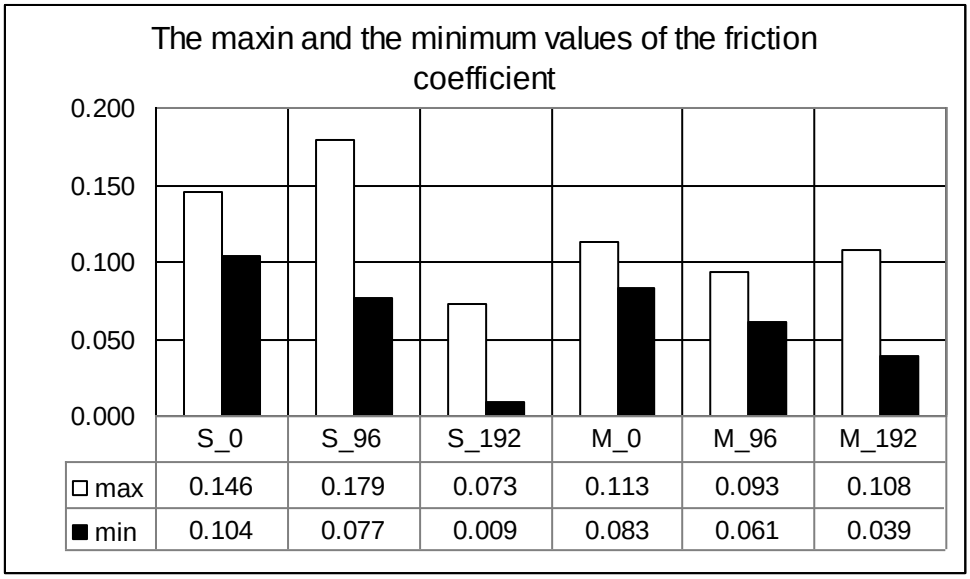


Fig. 8. The values of the friction coefficients

From the Fig. 8 it can be seen that for both samples (S and M) there is a decrease trend of the friction coefficient values with hydrogenation time. The cause is the embrittlement of the X65 steel. Also, for the surface samples (S) the values of the friction coefficient are bigger than for the middle samples (M), except those where the hydrogenated time was 192 hours. This behavior needs further investigation. The explanation is the structure with big grains and the association of the nonmetallic inclusions and gas holes (see Fig. 5).

4. CONCLUSIONS

The hydrogen introduced during hydrogenation process encounters on test-pieces (especially those from middle of the slab) non-metallic inclusions, lattice defects, goals, etc., which may consist of traps for hydrogen. The pressure created by trapped hydrogen, plus the increased level of internal tensions could lead to the emergence of microcracks. These internal tensions and microcracks decreases the mechanical properties of the hydrogenated samples.

From the roughness values it follows that the values are higher for hydrogenated samples than for the nonhydrogenated ones.

The sliding indentation test shows that:

1. the tangential forces have an increase tendency, with increasing of the normal indentation forces for all the samples;
2. there is a tendency to reduce the value of the tangential forces with the hydrogenation duration;
3. the tangential forces are lower for the samples from the middle of the slab, than for the surface, aspect that is connected with a higher hardness on the surface of the slab;

4. there is a decrease trend of the friction coefficient values with hydrogenation time, because of the embrittlement of the steel;
5. the values of the friction coefficient for the surface samples (S) are bigger than for the middle samples (M), aspect connected with the structure of the steel in the middle of the slab that have big grains associated with nonmetallic inclusions and gas holes.

REFERENCES

[1] R. A. ORIANI et al.: Hydrogen Degradation of Ferrous Alloys Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A. (1985).

[2] A. O. NOSOCHENKO, et al.: Properties of pearlite-free pipe steel of type 0.03C-1.5Mn-0.09Nb in strength class X65-X70, Metallurgist, Vol. 47, Nos. 11–12, pp. 491 (2003).

[3] B. FANG et al.: Stress corrosion cracking of X-70 pipeline steels by eletropulsing treatment in near-neutral pH solution, J. of materials science 40, pp.6545–6552 (2005).

[4] B. FANG et al.: Hydrogen in stress corrosion cracking of X-70 pipeline steels in near-neutral pH solutions, J. of materials science 41, pp 1797–1803 (2006).

[5] C. TELETIN, I. CRUDU: Hydrogen presence in the continuous casting process of steel, The Annals of the University "Dunărea de Jos" of Galaţi, Fasc.II, pp.102 – 112. (2007).

[6] A. MILLION, C. MILLION: L'hidrogène dans les aciers et dans les joints soudés, Les Editions Dunod, Paris (1971).

[7] C. TELETIN: Studies and researches on the presence of hydrogen in the steel continuous casting process, Ph.D. Thesis, Galaţi (2009).

[8] K.L. JOHNSON: Contact mechanics, Cambridge (1985).

[9] S.J. SHARP et al.: Material response under static and sliding indentation loads, Acta Metallurgica et Materialia, Vol. 41, No. 3, pp. 685-692 (1993).

[10] D. A. HILLS: Mechanics of elastic contacts, Butterworth - Heinemann ltd., Oxford (1993).

[11] A. SACKFIELD, D.A. HILLS: Some useful results in the tangentially loaded hertzian contact problem, Journal of Strain Analysis, Vol. 18, pp. 107-110 (1983).

[12] C. SPÂNU: Studies and researches on tribomodels as regards surface layer plastic deformation under rolling and sliding, Ph.D. Thesis, Galaţi (2002).

[13] C. SPÂNU: Tribomodel, specimen and device for the study of deformation into superficial layer during free rolling, The annals of Dunarea de Jos University of Galati, fascicle VIII, Tribology, pp. 102-104 (1997).

[14] C. SPÂNU, C. TELETIN, I. CRUDU, et al.: Sliding indentation behaviour of the X 65 hydrogenate steel, The annals of Dunarea de Jos University of Galati, fascicle VIII, Tribology, pp. 109-114 (2009).

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

SPECIFIC TYPES OF WEAR OF PROFILED TOOLS

***Bogdan Sovilj*[1], *Mara Kandeva*[2], *Galina Nikolcheva*[2], *Juliana Javorova*[3], *Ivan Kolev*[4] *Aleksandar Makedonski*[2], *Ivan Sovilj-Nikic*[1]**

[1] *Faculty of Technical Science, University of Novi Sad, Serbia*
[2] *Department of Mechanical Engineering, Technical University–Sofia, Bulgaria*
[3] *Department of Applied Mechanics, University of Chemical Technology and Metallurgy, Bulgaria*
[4] *Rusenski univerzitet "Angel Kančev", Ruse, Bulgaria*

Summary: *Nowadays in industrial countries as well as in our country, wear and corrosion of tools cause a great amount of costs. It is, therefore very important lo design proper hob milling tool, which will enable minimal costs in use of tools. This includes the constructive and cutting geometry of hob milling tool as well as the proper choice of material. The scarcity of information in this field as well as the present overall economic situation demand further development of research in this field. This paper presents the correlation between parameters in the hob milling process and chipping occurrence on the tool.*

1. INTRODUCTION

The development of the production tools, special industrial and civil engineering machines on the one hand, and prime movers on the other has brought about the occurrence of different designs of the power gear and turning moment, with the prominence of toothed gearing.

The problem of producing toothed wheel has been analyzed both in theory and practice in different ways; whereby the toothed wheel has been identified both as a part of a machine and as an element of production, that is a finished product.

The basic types and methods of serration, the basic and up-to-date tools for machining serration have been given in Fig. 1. The hob milling is most widely applied in the course of machining serration of the cylindrical gear due to the high productivity of the process.

The knowledge and investigation of the process of machining serration is of extreme importance for the manufacturers of the toothed gear.

The hob milling process is one of the most important elements in the chain of gear mechanical machining, since productivity; final geometrical accuracy and quality of serration surface depend heavily upon it.

The improvement of the hob milling process is important and useful in the production of both toothed gear and hob millers. The directions of improvement of the hob miller serration are presented in Fig. 2.

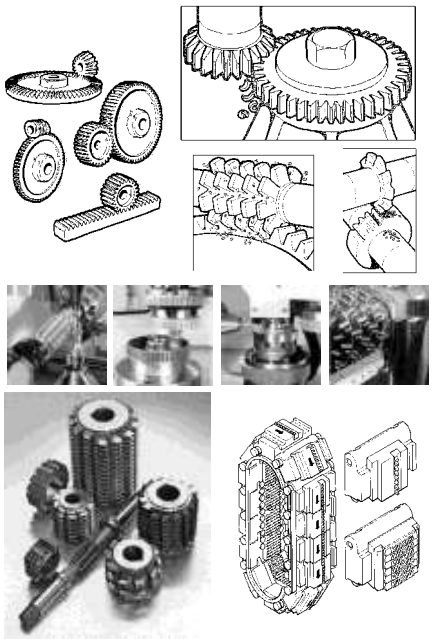


Fig. 1.*The basic types and methods of serration, the basic and up-to-date tools for serration machining*

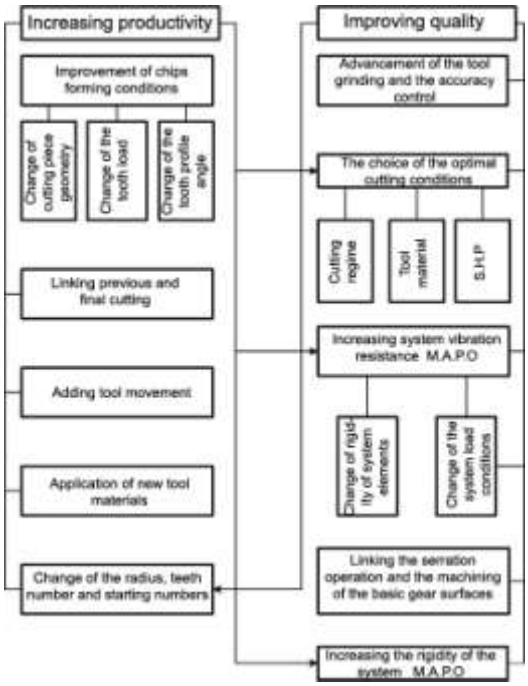


Fig. 2. *Directions of advancement of hob milling gear serration*

The wear is one of the utterly negative occurrences in the machining processes. A relatively high pressure and high temperatures on the contact surfaces of the conjugated pairs, as well as the relatively high speed of the conjugated pairs are thought to represent the basic causes for the occurrence and intensive progression of the tool wear process. The wear of the working elements of the cutting wedge is continuous at all points of the process, as well as in all technological conditions and working regimes.

A distinction should be made between the tool wear and wear-out. The wear is a form of hob miller wear-out, because we can divide the causes of the wear-out, that is the loss of the cutting properties of the tool, as shown in Fig. 3, into four basic groups.



Fig. 3. *The basic forms of the tool wear-out*

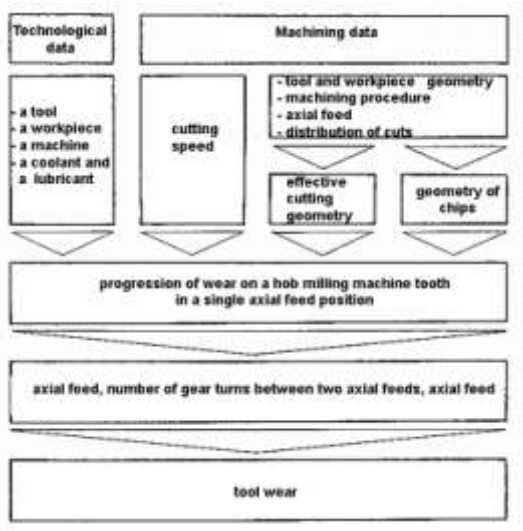


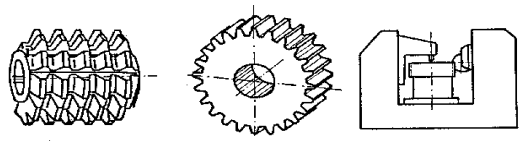
Fig. 4. *Parameters influencing the process of the wear of hob milling machine*

The process economy of the hob milling depends first of all on the type of tool wear. A great number of values and their alternating influence impede the research into the process of wear.

The wear of a single hob milling machine tooth depends, inter alia, on the size of axial feed and a number of the feeds. The progression of wear on a certain hob milling machine tooth depends, as well, on the combination of tool and workpiece material, the machine and the coolant and lubricant used; it also depends on the machining parameters presented in Fig. 4.

Tool and workpiece geometry and the milling procedures influence the hob milling machine wear (Fig. 5). In order to estimate the tool wear, it is necessary to know which factors influence the process of hob milling; the degree of influence of particular parameters on the process itself is presented in Table1.

Tool geometry Workpiece geometry Hob milling procedures



Modulus
Profile angle
Profile head height
Outer diameter
Number of feeds
Number of grooves
Profile correction
Direction of helix

Engagement angle
Gradient angle
Number of teeth
Profile feed
Head height factor

Axial
Slant
Diagonal
Radial-axial
i-milling
Uni-direction/uni-direction
Opposite-direction/uni-direction
Uni-direction/opposite direction
Opposite direction/opposite direction

Fig. 5. *Tool and workpiece geometry and milling procedures*

Table. 1. Matrix of factors influencing hob milling (x-significant impact, o-small or indirect impact)

Changeable influential factors / Characteristics of the cutting process		Conditions of cutting							Milling and cutting geometry						Materials	
		Cutting speed	Axial feed	Milling method	Milling procedure	Axial milling	Section distribution	Cooling conditions	Number of teeth - z	Number of choker teeth - i	Outer diameter - Dg	Rake angle γ	Clearance angle α	Profile correction	Workpiece material	Hob miller material
Chip geometry	Chip length		o				o		o	o	x					
	Chip shape		o	x	o		o		o	o				x		
	Chip thickness		x		o		o		x	o				x		
Chip detachment	Compression	o	x	o	x				o		o	x		o	x	
	Detachment disruption		o						o			o		x		
	Layers on the cutting edge	x	o					o				o	o		x	o
	Effective clearance angle			x	o				x				x			
Cutting process	Number of cuts		x			o	x		x	o						
	Cutting time	x				o	x				o					
	Temperature	x	x	o				x	x	o		o	o	o	x	x

For the last thirty years a considerable advancement has been made in creating new tool materials, new tool designs, in heat- treating and automatization of the machining process. Further research has been directed towards the problem of how to improve the surface of the tool for machining cutting.

Nowadays, parts and tools for machining cutting are more frequently made of composite materials; the core of these materials serves to ensure the hardness and rigidity while the surface layers serve as rust preventives, wear preventives; they have to meet optical, esthetical, heat-treat and electrical demands. Such materials can be produced by using different coating techniques. The importance of these technologies is characterized by a fact that by coating them with thin layers we can ensure that they bear the required load on the one hand, and that we economize with the basic material on the other.

On the basis of the analysis of the linkages among all the participants in the coating process (Table 2.), the need to inform the tool manufacturers about the specific additional requirements of coating their tool with materials having wear proof properties becomes evident.

Table.2. *Linkages among all the participants in the process of coating and their skills*

Tool manufacturer	Tool coating		Tool user
Specialized in: **- tool design,** **- tool manufacture,** **- tool material** Lacks knowledge in: - plasma physics, - highvacuum technique, - thin coats, - surface physics **However:** **he has been asked to supply the coated tools**	**Coating department,** **Setting the PVD center for coating** **Distributor**	Distributor	**The automobile and tractor industry recognizes the benefits of advantages of the coated tools** **-greater speed and feed** **-greater durability** **-better quality** **-shorter processing time** Therefore: Ask them to supply the coated tools

2. CHIPPING OCCURRENCE ANALYSIS

During cutting, the contact of the cutting tool and workpiece material is accomplished between sawdust spur wheel and cutting cotter front surface and hob mill back surface and the work piece-forming surface. Tribological processes, which occur in the course of front/back cutting surfaces of the tool, develop

under specific conditions [3]. The specific conditions for accomplishing contact between hob mills and workpiece material significantly complicate the recognition of the related tribological processes, so that today we know more of its influence upon the forming surface and tool cutting element, and less about its nature. Higher productivity is reached by reduction of costs of energy, lubricant, and work resources. In order to find the best tribological solutions for numerous cases in industry and transport, it is necessary to approach tribology both as a science and as a technology, in an interdisciplinary way.

The hob miller wear (Fig. 6) is one of the utterly negative occurrences in gear serration. A distinction should be made between the processes of tools wear and wear-out. Wear is one of the forms of hob milling wear, since the reasons for the wear, i.e. the loss of the tools' cutting attributes, can be divided into four basic groups:

- tools wear along the cutting elements;
- chipping of the cutting edge of the cutting tool;
- breaking of the cutting tools elements;
- plastic deformation of cutting tools elements;

Chipping and breaking are utterly negative forms of hob mill wear, because when they occur the tool will in a relatively short time stop working in the course of cutting. If the size of the chipped particles is from 0,03 to 1 mm, such a process of tool wear is called chipping, and if the size c: the particles is over 1 mm, then such a process is called breaking. Chipping and breaking often follow interrupted cutting and cutting of the workpieces of great strength and hardness.

Chipping and breaking, and state of stress and overload respectively, are influenced by the characteristics of the material, as well as by the tool and workpiece and the machining conditions, cutting regime, hob milling geometry etc. It is manifested in the occurrence of micro cracks in a short cutting interval. After the occurrence of micro cracks the stress in cutting cotter changes up to the critical condition when the chipping and breaking of the cutting parts of the tool appear. Besides, chipping and breaking appear when the wear of the back surface reaches the critical value after which the process of chipping and breaking begins. This can be avoided by means of the choice of wear-out (h) criteria below the critical value.

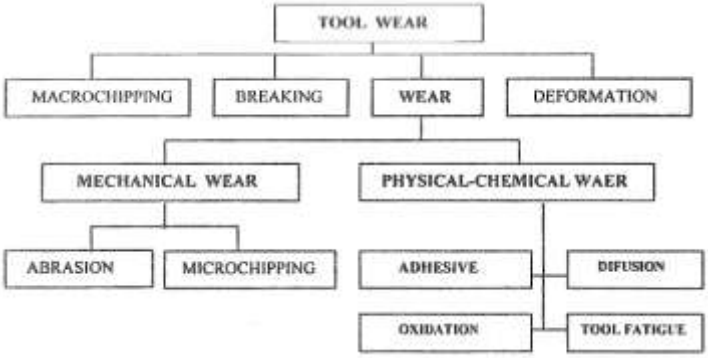


Fig. 6. *Hob miller wear*

Plastic deformation appears as a form of the wear of tools, in terms of high temperature and mechanical load of the hob mill gear in the process of gear serration machining. Chipping, breaking, plastic deformation and gear of the hob mill wear can be, up to a degree, lessened by choice of the appropriate conditions of machining and appropriate tools etc.; however, they can by no means be completely avoided, especially in the course of machining of the materials of great strength, which is always accompanied by high temperatures and stress in the cutting area. It is therefore necessary, from the point of view of the occurrence of these aspects of hob mill wear, to be extremely careful while choosing conditions and machining regime in the process of machining these and similar materials.

3. MATHEMATICAL ANALAYSIS

Owing to the affability of the organization's staff, the authors of this paper were allowed to conduct the experimental part of the research on all the machines used for machining gear serration by hob milling method; we were only asked not to impede the regular course of production.

The research was conducted on the workpieces, which were being produced in that particular period. Such an approach requires a minimum of expenses and allows obtaining results that correspond to production conditions in a production line of the gear serration. If data about all the relevant parameters of the hob milling are tracked and systematically gathered for a period lasting long enough, it would be possible to get ample useful data.

The initial experiments included a major part of workpieces, which were being produced at the time.

The following conclusions could be reached on the basis of the initial research:

- the miller wear-out (h) was lower than the optimal in most of experiments;
- even when the hob milling wear-out is low, me influence of chipping h_{max} is very evident and in most of experiments the size of chipped parts was greater than the optimal wear-out.

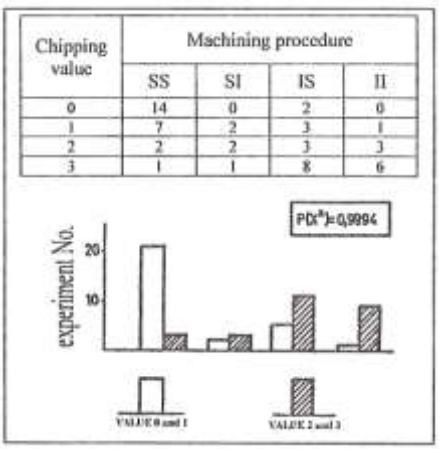


Fig. 7. *Correlation of the occurrence of chipping and a combination of approaches to machining serration*

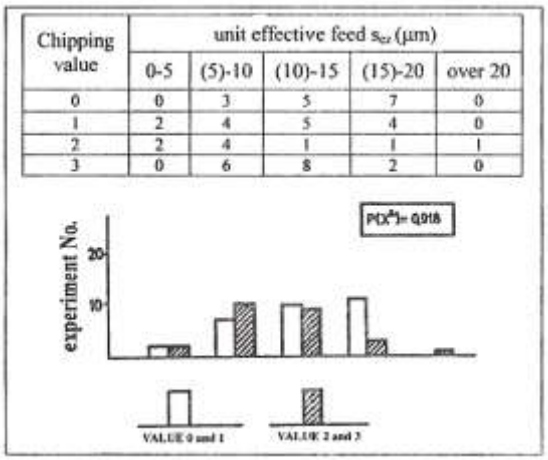


Fig. 8. *Correlation between chipping occurrence and unit effective feed*

We can conclude that we need to pay attention to the occurrence of chipping, because only when this has been obviated, hob millers can be used to the fullest potential. The occurrence of chipping, which has been considerable while conducting the experiment, was a limiting factor for work regime increase. There is scarce information about the chipping of the high-speed steel hob millers. While conducting the experiment, and in the regular course of hob millers' exploitation, the occurrence was frequent in a production line observed. Chipping appeared as an irregular breaking of bigger or smaller parts of the tool material and it, as a rule, happened on the transition from front to side cutting edge. The chipping occurred both at the inlet and outlet of the hob miller flank of a tooth. With some hob millers almost all the teeth in the area of engagement were caught, and with some a smaller number was caught. The aim of this paper is to point to some of the factors, i.e. parameters that have an influence on the occurrence of chipping. In order to show the correlation of the occurrence of chipping and the deployed combination of approaches to machining serration in an analytical way, the table of correlation was made and a program for testing the correlation was applied (Contingency table analysis); the results of the test are presented in Figure 7.

It has been said in the directions for obviating the occurrence of chipping [5] that one should work with saw dust greater cross-section, and in order to highlight this influence in the experiment a table of correlation of the occurrence of chipping and unit effective feed was given (Figure 8).

The result of the table analysis shows that there is a correlation between the chipping occurrence and unit effective feed, and the graph shows that the number of experiments with the chipping occurrence decreases with the increase of unit effective feed.

With uni-direction milling the cutting force radial component is greater than the same component's force at opposite direction milling. The presence of the radial force is the cause of system deformation: hob miller-workpiece-clamping equipment-machine. This is a critical occurrence in the initial period of hob milling when there is only one tooth in the area of engagement [2]. The force oscillates between a maximum value and zero. At the moment of tooth exiting the area of contact with the workpiece, a decrease of the radial force occurs and the forces caused by system elastic deformation press the hob miller close to the workpiece and cause a greater tool wear-out, so that it can lead to hob miller chipping under specific conditions. Analyzing the system: hob miller-workpiece-clamping equipment-machine and bearing in mind the influence of the axial force clamping of the hob miller upon the rigidity of the system, an attempt has been made to change the manner of hob miller clamping and determine its influence upon the occurrence of chipping.

When a nuts with hydraulic increase clamping force was applied, a few examples have shown that the manner of clamping can influence the occurrence of chipping. (Figure 9 and 10).

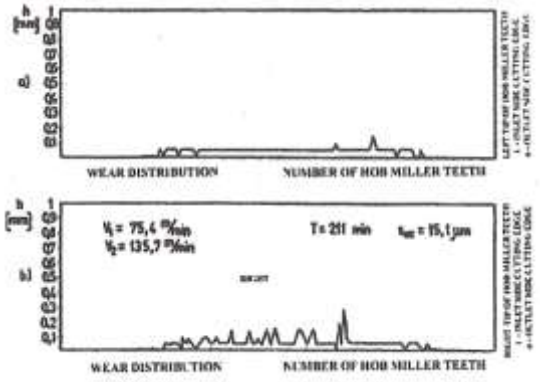


Fig. 9. *Distribution of wear upon hob miller teeth at hydraulic nut clamping*

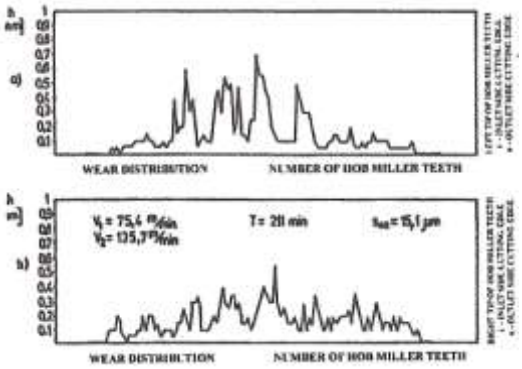


Fig. 10. *Distribution of wear upon hob miller teeth at clamping without hydraulic*

The analysis of the correlation table for a few cases with or without nuts with hydraulic increase clamping force shows that there is a certain, but weak connection between these parameters (Fig. 11). Very few experiments do not allow a deduction of a firm conclusion on the influence of hob miller clamping upon the occurrence of chipping. The experiments have nonetheless shown that it would be interesting for further investigation.

The possible causes of the occurrence of chipping could also be certain flank clearances, which differ considerably among machines; the experiment included hob millers of different age. The table of correlation between the occurrence of chipping and the machine is represented in the Fig.12 and it shows that there is no correlation between the occurrence of chipping and the machine on which the experiment was conducted.

The hob miller material and its thermal processing with its own characteristics could also be among factors influencing greatly the occurrence of chipping. Hob millers used in the experiment were made of steel S9780 (made in steel works Ravne), of Phonix steel K5M (imported from Austria) and from Poldi max special 75 Mo steel (imported from Czech republic), The analysis of the correlation table of origin and thermal processing of the hob miller material and the occurrence of chipping has shown that in the range of experiments presented in the paper, the hob miller material had no influence on the occurrence of chipping (Fig.13).

Chipping value	Nut with hydraulic strengthening	
	with	without
1	3	1
2	1	1
3	0	1

$P(X^2) = 0{,}82$

Experiment	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5	15.6	15.7
Nut with hydraulic clamping force increase	+	-	+	-	+	-	+
Chipping value	2	3	1	1	1	2	1

Fig.11. *Correlation of chipping occurrence and manner of hob miller clamping*

Chipping value	machine inventory No.				
	3222	3284	3914	3902	4354
0	0	0	0	1	0
1	1	0	2	2	0
2	1	1	4	2	2
3	2	1	7	0	5

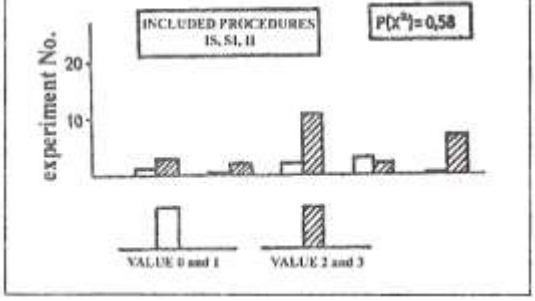


Fig. 12. *Correiation of chipping occurrence and the machine on which the machining was performed*

Chipping value	Hob miller material		
	R	PH	PO
0	1	0	0
1	2	1	0
2	3	0	0
3	1	2	1

$P(X^2) = 0,51$

Experiment	6.3	7.1	9.2	10.1	10.2	11.1	11.2	13.2
Hob miller material	R	R	PH	PO	PH	R	R	PH
Chipping value	1	2	1	3	3	2	2	3

Experiment	16.1	17.1	17.2					
Hob miller material	R	R	R					
Chipping value	3	1	0					

Fig. 13. *Correlation between chipping occurrence and hob miller material*

By means of the analyses presented in the paper we have tried to elucidate the occurrence of chipping in high-speed steel hob millers, which has very unfavorable effects on the machining costs and should be a subject of further research.

4. CONCLUSION:

On the basis of the analyses presented, directions and suggestions for obviating the occurrence of chipping in hob millers have been reached. The occurrence of cutting edge chipping is present in a considerable degree and has a very unfavorable effect on the overall expenses of gear serration in hob milling. The occurrence of chipping is more frequent in experiments in which cutting was uni-direction. With the increase of the unit effective feed the occurrence of chipping is present in a smaller degree.

If a nut with hydraulic increase clamping force was used, and that means that the rigidity of the system-hob miller-axle was greater, the occurrence of chipping was alleviated. The occurrence of chipping in the cutting regime and conditions used in the experiments did not depend upon the hob miller material and the machine on which it was machined.

REFERENCES:

[1] Barrov, G.: Wear of cutting tools, Tribology, 5, No. 1., 1972.
[2] Prapotnik, B.: Eksperimenialno utvrdjivanje optimalnih parametara rada odvalnim glodalima, Magistarski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 1982.
[3] Sovilj, B.: Identifikacija triboloskih procesa pri odvalnom glodanju, Disertaclja, Fakultet tehnickih nauka, Novi Sad, 1988.
[4] Sovilj, B.,Prapotnik, B. i dr.: Habanje odvalnih glodala u zavisnosti od jedinicnog efektivnog pomaka, MMA97, Sombor, 1997.
[5] Stanic, J.: Teorija obrade metala I, Masinski fakultet, Beograd, 1986.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University – Sofia

MECHANOCHEMICALLY SYNTHESIZED FE_2O_3-TIO_2 MIXED OXIDES AS CATALYSTS FOR METHANOL DECOMPOSITION

N. Kostova[1], T. Tsoncheva[2], L. Mitsova[2], N. Velinov[1], E. Dutkova[3], M. Achimovicova[3], P. Balaz[3]

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

[2]Institute of Organic Chemistry, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia, Bulgaria

[3]Institute of Geotechnics, Slovakian Academy of Sciences, 043 53 Kosice, Slovakia

МЕХАНОХИМИЧНО СИНТЕЗИРАНИ FE_2O_3-TIO_2 СМЕСЕНО-ОКСИДНИ КАТАЛИЗАТОРИ ЗА РАЗЛАГАНЕ НА МЕТАНОЛ

Н. Костова[1], Т. Цончева[2], Л. Мицова[2], Н. Велинов[1], Е. Дуткова[3], М. Ахимовичова[3], П. Балаж[3]

***Abstract**: Mixed oxides with Fe_2O_3:TiO_2 ratio of 1:1 were synthesized using mechanochemical activation of hematite and rutile powders in high-energy ball mill in argon atmosphere and varying milling procedure. The obtained materials were characterized by low temperature nitrogen physisorption, and Moesbauer spectroscopy. The catalysts activities were tested in a fixed bed continuous flow rector operating under atmospheric pressure. The Fe_2O_3-TiO_2 wet milling mixed oxide exhibited the best activity in test reaction methanol decomposition.*

***Keywords:** mechanochemistry, mixed oxides, Moessbauer spectroscopy, methanol decomposition*

INTRODUCTION

Hematite is one of the widely used oxides, with application in scientific and industrial fields. It can be used as catalyst [1], gas sensor [2] and semiconductor compound [3] As an important n-type semiconductor (Eg=2.1 eV), hematite is stable, nontoxic, low-cost, corrosion-resistant, and environmental compatible [4]. Titanium oxide has found photocatalytic application for environmental protection. It can decompose organic and inorganic pollutants [5]. Fe_2O_3-TiO_2

binary mixed oxides were reported to be good catalysts with improved photocatalytic properties and enhancement of visible light response [6].

Methanol decomposition to CO and H_2 has received significant interest not only because it is the reverse reaction of industrial methanol synthesis, but also because it is promising in several practical applications [7-11].

There are many methods for preparation of mixed oxides, such as hydrothermal method [12] and sol-gel technique [13]. Among the many types of preparation techniques, the non-conventional mechanochemical synthesis has been recognized as a powerful route to low-cost mixed oxides preparation 14-18]. In main properties of the mixed oxides which are involved in the catalytic process are redox, acidic and basic properties, presence of defects which are able to activate molecular oxygen [19].

Methanol is regarded as an alternative fuel for automobiles in the future, in order to solve the energy crisis and environmental pollution problems. The methanol decomposition to CO and hydrogen is of concern. The decomposition of methanol is an endothermic reaction.

In the present work, one-step synthesis of Fe_2O_3-TiO_2 mixed oxides via mechanochemical processing is reported. Our work reports of catalytic properties of prepared mixed oxides using methanol decomposition as test reaction.

EXPERIMENTAL

Mechanochemical synthesis of mixed oxides was performed in a laboratory planetary mill Pulverisette 6 (Fritsch, Germany) by high-energy milling of hematite powder and rutile powder in argon (dry milling, sample FeTi dry) or argon + isopropanol (wet milling, sample FeTi wet). The following experimental conditions were used for the mechanochemical synthesis: loading of the mill, 50 balls of 10 mm in diameter; material of milling chamber and balls, tungsten carbide; volume of milling chamber, 250 mL; mass of hematite and rutile, 2 g and 4 g, respectively; ball-to-powder ratio, 20:1; room temperature; rotational speed of the mill planet carrier, 400 min^{-1} milling time, 20 min.

Specific surface area was determined by the low temperature nitrogen adsorption method in a Gemini 2360 sorption apparatus (Micromeritics, USA).

The Mössbauer spectra were obtained at room temperature with a Wissel (Wissenschaftliche Elektronik GmbH, Germany) electromechanical spectrometer working in a constant-acceleration mode. A 57Co/Cr source and an α-Fe standard were used. The experimentally obtained spectra were fitted to mathematical processing according to the least-squares method. The parameters of hyperfine interaction such as isomer shift (IS), quadrupole splitting (QS), effective internal magnetic field (*H*eff), linewidths (FWHM), and relative weight *(G)* of the partial components in the spectra were determined.

The catalytic experiments were performed in a fixed-bed reactor (0.055 g catalyst) at a methanol partial pressure of 1.57 kPa, argon being used as a carrier gas. The temperature was raised with a rate of 1 K/min in the range 350–770 K. On-line gas chromatographic analysis was performed on a Porapak Q and a molecular sieve column using an absolute calibration method. Before the catalytic experiments the samples were pretreated in situ in air or argon at 650 for 1 h.

RESULTS AND DISCUSSION

Textural properties of initial hematite and rutile and mechanochemically synthesized mixed oxides are presented in Table 1.

Table 1. textural properties

Sample	S_{BET} m^2g^{-1}	Pore volume cm^3m^{-2}
hematite	3.0	0.002
Rutile	12.6	0.009
Fe-Ti wet	12.7	0.009
Fe-Ti dry	18.0	0.013

The specific surface area of the sample prepared by wet milling with isopropanol as similar to the that of initial rutile. The surface area and pore volume of the sample prepared in argon atmosphere with dry milling increase with 50% in comparison with that of initial rutile.

Figure 1 shows the methanol conversion as a function of reaction temperature over the two mixed oxides. There was difference in the methanol conversion between two samples, reflecting on the difference in the BET surface area, as mentioned before.

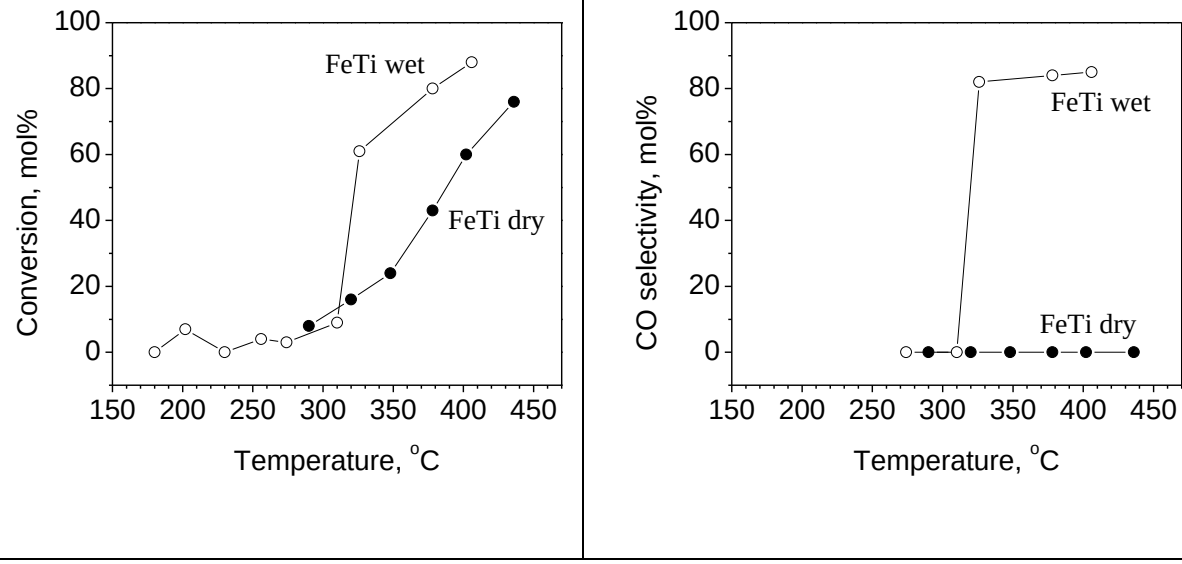


Figure 1. Conversion of methanol decomposition and CO selectivity at different temperatures over Fe_2O_3-TiO_2 catalysts

The selectivity to CO of both samples was low below 300 ^{o}C. It sharply increased for the FeTi wet sample above 315 ^{o}C as the reaction temperature increased, indicating the onset of CO selectivity. It suggests that methanol is decomposed into carbon monoxide and hydrogen over FeTi wet catalysts with high selectivity. By–products such as methane and dimethyl ether were detected under reaction condition. For the sample FeTi dry the CO selectivity retains low. Better selectivity to CH_4 and CH_3OCH_3 is registered for the sample FeTi dry. This behavior could be ascribed to some phase transformation with the catalysts by the influence of the reaction medium.

The experimental Mössbauer spectra of the initial samples represent sextets or combination of a sextet and a doublet. The mathematical processing has been carried out in accordance with the pattern of the spectra – for the sample "FeTi wet" a matrix has been used with a single component (sextet), while for the sample "FeTi dry" two components were involved – a sextet and a doublet. The sextet components in both cases possess parameters identical with those of the α-Fe_2O_3 (hematite) standard. The doublet component belongs to a compound having paramagnetic (for instance Fe_2TiO_4) or super-paramagnetic state. In all the cases the iron ions are high spin ones, in third oxidation state having octahedral coordination.

The values of the determined parameters are listed in the table below.

Sample	Components	IS, mm/s	QS, mm/s	H_{eff}, T	FWHM, mm/s	G, %
FeTi dry	Sx-α-Fe_2O_3	0.37	-0.09	51.5	0.46	93
	Db	0.36	0.61		0.56	7
FeTi dry After test	Sx1-Fe_3O_4	0.28	0.00	48.8	0.37	30
	Sx2-Fe_3O_4	0.67	-0.01	45.7	0.46	50
	Sx3-Fe	0.00	0.00	32.9	0.40	7
	Db-Fe^{3+}	0.38	0.68		0.55	13
FeTi wet	Sx-α-Fe_2O_3	0.37	-0.10	51.3	0.41	100
FeTi wet after test	Sx1-Fe_3O_4	0.28	0.00	49.0	0.37	39
	Sx2-Fe_3O_4	0.66	0.00	45.7	0.41	57
	Sx3-Fe	0.00	0.00	32.5	0.42	4

The spectra of the same samples after carrying out the catalytic test differ considerably. The „spent" catalyst sample "FeTi wet" displays superimposing lines of 3 sextets. The evaluated parameters of the first two sextet components of this superposition show the presence of Fe in different oxidation states:

- Sx 1 – Fe^{3+} ions in tetrahedral coordination (a component with a higher magnetic field)
- Sx 2 – Fe^{2+} ions in octahedral coordination (a component registering a magnetic field of lower effectiveness), Fe^{3+} ions in octahedral coordination,

which due to the occurring electron exchange are impossible to be distinguished are combined into 1 sextet component, corresponding tentatively to an oxidation state of the iron 2.5.

The parameters of the two magnetic sextet components (Sx1 and Sx2) show that the magnetite is non-stoichiometric i.e. magnetite with cationic defficiency ($Fe_{3-x}O_4$). One could suppose that the reason for this is the formation of vacancies in the octahedral sub-lattice. In order to determine the degree of non-stoichiometricity (i.e. the content of vacancies), denoted by $\boldsymbol{x}$ the formula of H. Topsoe was applied, in which the data from the Mössbauer spectrum of the magnetite are introduced as starting values:

$$x = \frac{2 - \frac{S_B}{S_A}}{6 + 5\frac{S_B}{S_A}}, \qquad (1)$$

where S_B and S_A are respectively the areas of the lines of octahedrally and tetrahedrally coordinated iron ions, whereupon it is supposed that the factor of Moessbauer-Lamb (the probability for resonance and recoil-free absorbance and emission of gamma-quants) of the iron ions, located in the two sub-lattices of the magnetite are identical.

Upon substituting the respective relative weights of the sextet components in Equation 1 for the FeTi dry sample after the catalytic reaction one obtains: x = 0.02 or non-stoichiometric magnetite of the formula: $Fe_{2.98}O_4$. For the non-stoichiometricity of Fe in the magnetite of the sample FeTi wet after the catalytic reaction a value of x = 0.04 is obtained or this is $Fe_{2.96}O_4$.

The third sextet (Sx3) in the spectra in accordance with the computed parameters belongs to α-Fe. On the basis of the determined relative content of Fe in the samples after the catalytic reaction, as well as based on the determined non-stoichiometricity of the magnetite in them, it can be supposed that the sample FeTi dry has been reduced to a greater extent in the middle of the catalytic process compared to the FeTi wet sample.

CONCLUSION

The physicochemical and catalytic results reveal a facilitated effect of the wet milling with isopropanol for mechanochemical preparation of Fe_2O_3-TiO_2 mixed oxides.

Different selectivity in methanol decomposition over Fe_2O_3-TiO_2 mixed oxides synthesized by wet or dry milling was observed depending on the reductive transformations of iron particles influenced by reaction medium as shown by Mossbauer spectroscopy.

Acknowledgements: The authors thank the NSF at the Bulgarian Ministry of Education, Youth and Science (project DO 02-295/2008) and bilateral project between the Slovak Academy of Sciences and the Bulgarian Academy of Sciences for the financial support.

REFERENCES

[1] S. Krishnamoorthy, J.A. Rivas, M.D. Amiridis, J. Catal. **193** 264-272 (2000).
[2] Q. Hao, L-M Li, X-M Yin, S. Liu, Q-H Li, T-H. Wang, Mater. Sci. Eng. B **176** 600-605 (2011).
[3] V.R. Satsangi, S. Kumari, A.P. Singh, R. Shrivastav, S. Dass, Intern. J. Hydrogen Energy **33** 312-318 (2008).
[4] Y. Xu, S. Yang, G. Zhang, Y. Sun, D. Gao, Y. Sun, Mater. Lett. **65** 1911-1914 (2011).
[5]A. Fujishima, T. Rao, D. Tryk, J. Photochem. Photobiol. C: Photochem. Rev. **1**, 1-21 (2000).
[6] A. Eliyas, L. Dimitrov, D. Paneva, E. Stoyanova, I. Mitov, Nanoscience & Nanotechnology **9**, edited by E. Balabanova and I. Dragieva (prof. Marin Drinov Academic Publishing House, Sofia, 2009, ISSN: 1212-8995, 58-60 (2009).
[7] H. Yoon, M.R., Stouffer, P.J. Dubt, F.P. Burke, G.P. Curran, Energy Prog. **5** 78 (1985).
[8] L. Pettersson and K. Sjostrom, Combust. Sci. Tech., **80** 265 (1991).
[9] W.H. Cheng, H.H. Kung, in W.H. Cheng and H.H. Kung (Editors), Methanol Production and Use. Marcel Dekker, New York, 1994. Ch. 1.
[10] K. Danjo, Proc. VIII Int. Symp. on Alcohol Fuels, Tokyo, Nov. 1988. p. 971.
[11] Abe, T. Suguki, E. Sugimoto, Proc. VIII Int. Symp. on Alcohol Fuels. Tokyo, Nov. 1988, p. 983.
[12] Z-H. Jing, S.H. Wu, Mater. Lett. **58**, 3637-3640 (2004).
[13] T.K. Kundu, M. Mukherjee, D. Chakrovorty, J. Mater. Sci., **33** 1759-1763 (1998).
[14] Peter Balaz, Mechanochemistry in Nanoscience and Mineral Engineering, Springer, 2008
[15] V. Sepelak, I. Bergmann, A. Feldhoff, P. Heitjans, F. Krumeich, D. Menzel, F.J.Lhers, S.J. Campbell, K.D Becker, J. Phys. Chem. C. **111**, 5026 (2007).
[16] E. Dutkova, P. Balaz, P. Pourgahahramini, A.V. Nguyen, V. Sepelak, A. Feldhoff, J. Kovac, A. Satka, Solid Sate Ionics **179** 124 (2008).
[17] M. Achimovicova, P. Balaz, T. Ohtani, N.G. Kostova, G. Tyuliev, A. Feldhoff, V. Sepelak, Solid State Ionics **192** 632-637 (2011)
[18] N.G. Kostova, B. Kunev, M. Shopska, G. Kadinov, E. Dutkova, P. Balaz, Tribological Journal BULTRIB, **1** 31-35 (2010.
[19] F. Trifiro, Catal. Today, **41** 21-35 (1998).

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

PREPARATION OF FERRITE MATERIALS BY MECHANOCHEMICAL ACTIVATION

Z. Cherkezova-Zheleva[1], K. Zaharieva[1], V. Petkova[2],

B. Kunev[1], I. Mitov[1]

[1]Institute of Catalysis, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St., Block 11, 1113

[2]Institute of Mineralogy and Crystallography, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev St., Block 107, 1113

СИНТЕЗ НА ФЕРИТНИ МАТЕРИАЛИ ЧРЕЗ МЕХАНОХИМИЧНО АКТИВИРАНЕ

З. Черкезова-Желева[1], К. Захариева[1], В. Петкова[2]

Б. Кунев[1], И. Митов[1]

Abstract: *The method of mechanochemical activation is a possibility to prepare new materials or their precursors with enhanced properties and highly disperse structure. This method allows to produce previously designed compositions under simpler preparation conditions in comparison to standard synthesis methods. In order to obtain highly disperse ferrite materials with nano-metric size and high dispersion, the first step of our investigation was to study preparation of their precursors. In the course of this study the choice of appropriate preparation conditions using mechanochemical activation method, was studied. The second step was to find the optimal conditions of thermal treatment of these precursors when nano-sized ferrite material will be prepared. The phase composition and dispersity of synthesized samples were studied by number of physicochemical methods - XRD, Moessbauer spectroscopy and thermal analysis.*

Key words: *mechanochemical activation, green rusts, ferrite materials.*

1. INTRODUCTION

The research in nanoscience can be framed with three aims: to synthesize, understand and explore new nanomaterials and the related phenomena. Nanoparticles of spinel ferrites are of great interest in fundamental science for addressing relationship between physical properties and their crystal structure and chemistry [1].

The properties of the ferrite materials, which decide the application areas are generally governed by the chemical compositions and procedures followed for their preparation. Thus the chemical aspect has become the most important factor in the design and preparation of nanoferrite materials as their properties are quite different from the bulk materials. Magnetic properties are considered as the most important parameters of ferrite, as they decide the significance of the materials for any technological consideration [2]. Magnetic properties of the ferrites strongly depend on the microstructure, particle size and surface-to-volume ratio. Various properties such as superparamagnetism and superferromagnetism are observed when the particle is reduced to nanometric size [3].

The spinel crystal structure is close packed face-centered cubic array of an ions with holes partly filled by the cations. The oxide spinel can generally be described by the formula $(A)[B_2]O_4$, where A and B denote divalent and trivalent cations, respectively. In the case of a normal spinel structure, all of the A atoms are tetrahedrally coordinated while the B atoms are octahedrally coordinated by oxygen atoms. In the case of an inverse spinel structure, the A atoms occupy half of the B sites [4].

Mössbauer spectroscopy has been effectively used in the study of cation distribution in spinel ferrites. The Mössbauer parameters are also influenced by the type of ferrites and the superparamagnetic behaviour due to smaller particle size [5].

Mechanical activation of solid substances is one component of modern scientific disciplines of mechanochemistry. At present, mechanical activation exhibits a wide range of potential applications [6-10]. One of them is the possibility to synthesize new materials and such with enhanced properties at easier and ecologically cleaner preparation conditions in comparison with conventional methods.

Thus mechanochemical method for preparation of nano-sized ferrite materials was studied in order to verify this possibility. Our investigation includes two main steps – preparation of: I.) precursor material by mechanochemical activation; II.) ferrite material by calcination of as-prepared precursor.

2. EXPERIMENTAL

The appropriate amounts 2:1 of $FeCl_3.6H_2O$ and $FeSO_4.7H_2O$ are mixed in a milling container with volume 250 ml. High energy planetary ball mill type PM 100, Retsch, Germany is used for mechanochemical treatment. The mass ratio of sample:balls is 1:20, air media, milling speed is 500 rpm and the activation time is varying 7, 17, 30 and 48 h. The obtained samples are characterized by Moessbauer spectroscopy, X-ray diffraction and TG, DTG and DTA analysis. The Moessbauer spectra are recorded with Wissenschaftliche Elektronic GmbH spectrometer (Germany) working in a constant acceleration mode (^{57}Co/Cr source and α-Fe standard). The parameters of hyperfine interactions are obtained by computer fitting - isomer shift (IS), quadrupole splitting (QS), effective internal magnetic field (H_{eff}), line widths (FWHM) and component relative weights (G). The XRD studies are made by TUR M62 apparatus (Germany), HZG-4 goniometer with Bregg-Brentano geometry 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.

The TG, DTG and DTA analysis are studied with a "Stanton Redcroft" (England) installation, connected to a PC at the following operating conditions: temperature interval of heating – 20 – 1000 ^{0}C; heating rate - 10 ^{0}C/min; gaseous medium – 100% air, debit – 1l/h; sample mass - 10.00 mg. Stabilized corundum crucible is used.

Ferrite sample was produced by calcination of mechanochemically prepared precursor. It was thermally treated for 2 h in air at annealing temperature 250 ^{o}C (furnace "Eurotherm", England).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The exact conditions of mechanochemical activation were varied within a wide range, while the formation of studied precursor material is observed.

The X-ray diffraction patterns of initial materials and mechanically treated samples at different activation times are shown on Fig. 1. The observed patterns indicate decreasing of the intensity of initial materials reflections. New broad and low intensive reflections appear attributed to new Layered Double Hydroxides (LDH) structure. An increase of the time of mechanical treatment up to 17 and 30h leads to a sharp decrease of the diffraction pattern of the precursors. The line shape broadening of patterns changes during the mechanochemical treatment, the latter indicating a change in the sample crystallinity degree. The disappearance of iron chloride and sulfate reflections was observed after 48 h mechanochemical treatment. Thus, the data obtained indicate that the mechanical activation of the initial mixture of iron chloride with

iron sulfate leads to the formation of green rust-type precursor material wit complicated chemical composition.

The results obtained with X-ray diffraction analysis were confirmed by the Moessbauer study of the samples. Moessbauer spectra of samples were registered at each step of mechanochemical treatment and are shown on Fig. 2. The spectra of initial materials are shown for comparison, also. Moessbauer spectra of mechanochemically activated samples include superposition of doublet lines only. The calculated parameter values of components of mechanochemically prepared material (bottom of Figure 2) could be attributed to iron (II) cations in hydrotalcite lattice. The sample has magnetic behavior - particles sprinkled on paper, can be dragged move by moving permanent magnet (B ≈ 1 T) on the back side of paper. Therefore the prepared precursor material shows the presence of both paramagnetic and superparamagnetic doublet-type spectra [11].

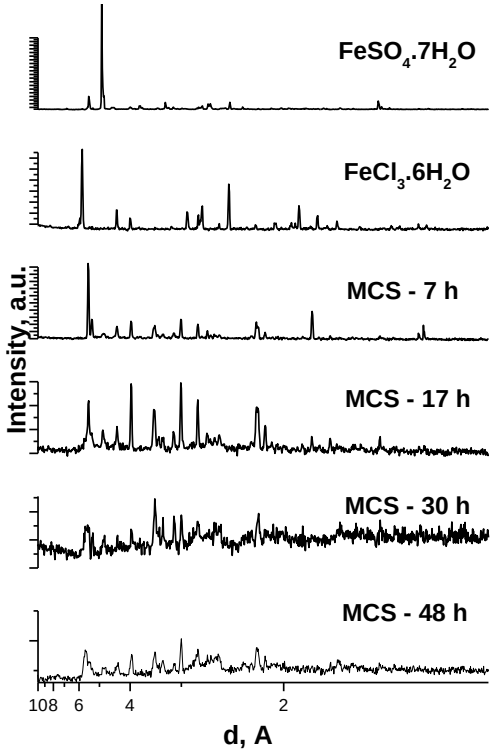


Fig. 1. *XRD patterns of precursors and activated mixture at different milling activation time : 7 h; 17 h; 30 h milling time and 48 h.*

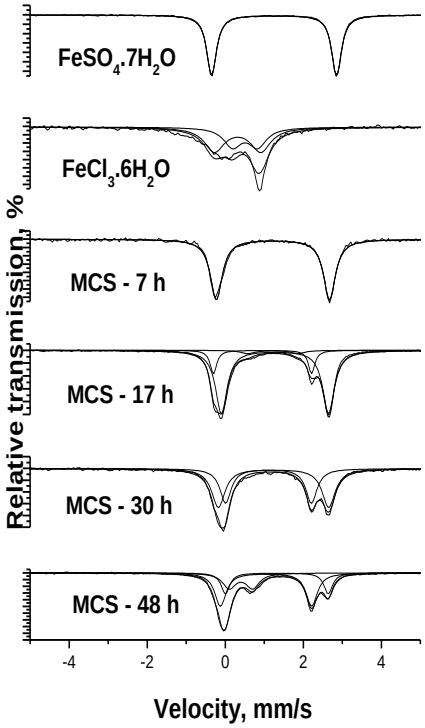


Fig. 2. *Moessbauer spectra of precursors and products of mechanochemical synthesis (MCS).*

DTA –TG method provide a great deal of information about the structural changes of mechanochemically prepared precursor material, which will be done during thermal treatment, as well as the appropriate calcination temperature.

Thermal decomposition of mechanochemically prepared precursor material was studied and the obtained results are in agreement with previously

investigated mineral samples [12]. The TG-DTG-DTA-curves are presented on the Fig. 3. They illustrated three main intervals of precursor material decomposition and Fe^{2+} ions oxidation: 20-200^{o}C, 250-500 ^{o}C and 550-800^{o}C. The main mass losses are in the first region - about 15% and in the second region - about 18%. In the third region the mass losses are about 7%. The first step of thermal treatment leads to the removal of water from interlayer space. The TG curve corresponds to multi-step decomposition process and broad DTA and DTG peaks indicate the overlapping decomposition processes. Endo-thermic effects observed at higher temperatures are likely to be connected with both the chlorine removal process and with the dehydroxylation of hydroxide packings. This leads to the rupture of the structure of initial compound and to the appearance of solid phase product during thermal treatment over 300^{o}C. X-ray diffraction pattern (Figures 4) and Moessbauer spectrum (Figures 5) of produced material after thermal analysis are registered. High temperature calcination (in air at 1000 ^{o}C) of the precursor material leads to preparation of hematite phase [13].

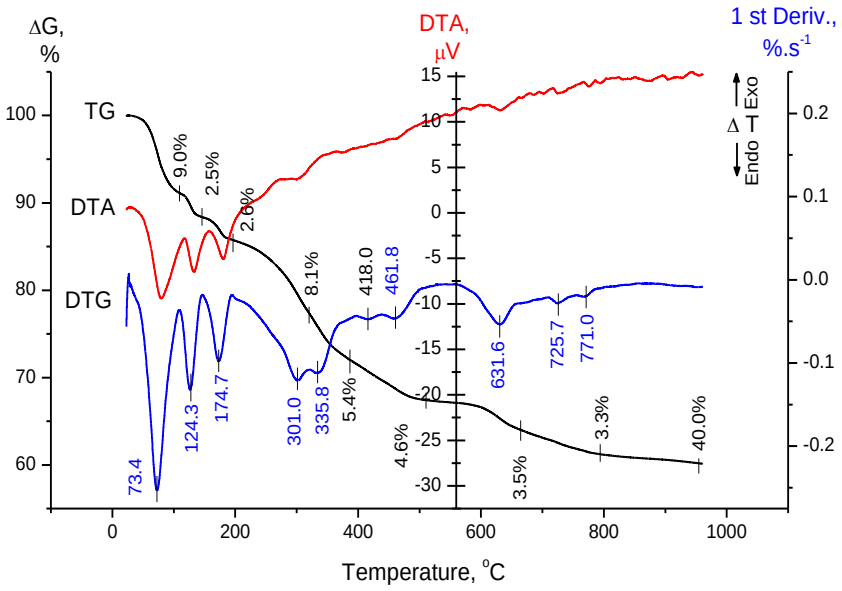


Fig. 3. *Thermal analysis of precursor material, prepared by mechanochemical activation.*

Taking into account the obtained data from thermal analysis the precursor was heated for 2 h at 250 °C and air media in order to obtain ferrite material. XRD pattern of calcination product (Figure 6) represents pattern of two phases – magnetite and hematite [13]. The registered Moessbauer spectrum of the calcinated sample confirms this result (not shown). As a result the single phase preparation of magnetite will be done at the same synthesis conditions, but in protection media.

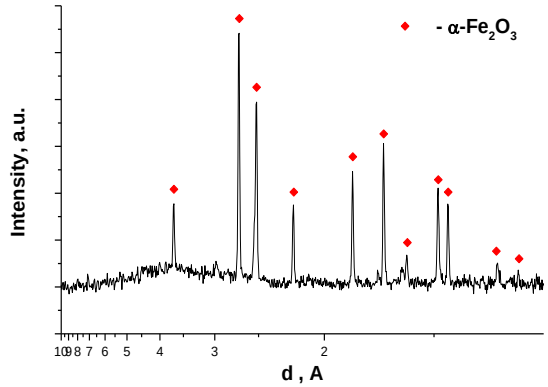


Fig. 4. *XRD patterns of obtained material after thermal analysis.*

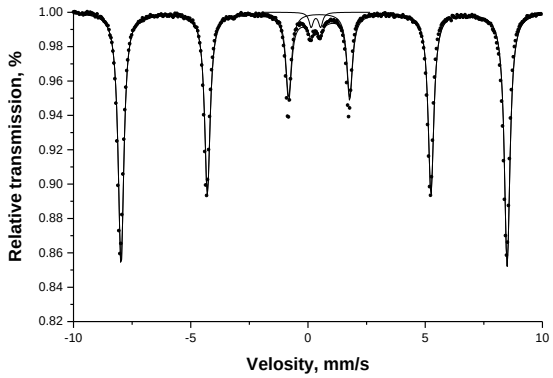


Fig. 5. *Moessbauer spectrum of obtained material after thermal analysis.*

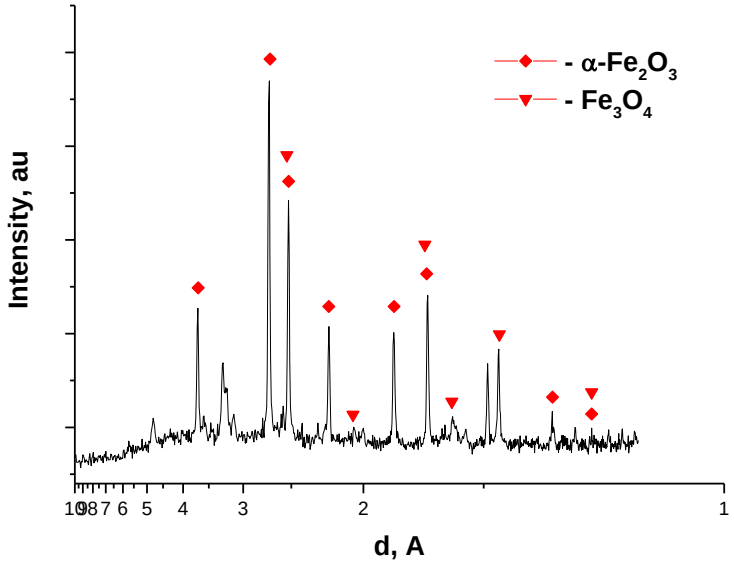


Fig. 6. *XRD pattern of obtained material after calcination for 2 h at 250 °C.*

4. CONCLUSION

The presented study shows that the mechanochemical activation is a suitable and easy way for preparation of green rust-type materials as precursors for magnetite-type compounds synthesis. On the other hand the easy ferrite synthesis provides the possibility to prepare new nanosize materials with enhanced properties. The chosen preparation conditions show the great impact of used initial materials on the preparation rate and synthesized products.

ACKNOWLEDGEMENTS: The presented investigations in this article are financially supported by the Bulgarian National Science Fund at the Ministry of Education and Science – Project DO 02-295/2008.

REFERENCES

[1] N.H. Vasoya, L.H. Vanpariya, P.N. Sakariya, M.D. Timbadiya, T.K. Pathak, V.K. Lakhani, K.B. Modi, *Ceramics International* **36** (2010) 947–954.
[2] B.S. Randhawa, Manik Gupta, H.S. Dosanjh, Nitendar Kumar, *Ceramics International* **37** (2011) 2207–2213.
[3] Shifeng Yan, Wei Ling, Enle Zhou, *Journal of Crystal Growth* **273** (2004) 226–233.
[4] O.M. Lemine, M.Bououdina, M.Sajieddine, A.M. Al-Saie, M. Shafi, A. Khatab, M. Al-hilali, M. Henini, *Physica B* **406** (2011) 1989–1994.
[5] R. Justin Joseyphus, A. Narayanasamy, K. Shinoda, B. Jeyadevan, K. Tohji, *Journal of Physics and Chemistry of Solids* **67** (2006) 1510–1517.
[6] J. Jiang, L. Gao, X. Yang, J. Guo,. H. Shen, *J. Mater. Sci Lett.* **18** (1999) 1781 - 1783.
[7] Y. Shi, J. Ding, H. Yin, *J. Alloys Comp.* **308** (2000) 290 - 295.
[8] P. Pourghahramani, E. Forssberg, *Int. J. Miner. Process.* **82** (2007) 96 - 105.
[9] V. Šepelak, Ann. Chim. *Sci. Mat.* **27** (6) (2002) 61 - 76.
[10] V. Isupov, L. Chupakhina, R. Mitrofanova, *J. Mater. Synth. Proc.* **8** (3/4) (2000) 251 - 253.
[11] Q. Jiang and X.Y. Lang, *The Open Nanoscience Journal **1** (*2007) 32-59.
[12] B. Ellis, M. Mortland, *Amer. Min.* **47** (1962) 371-378.
[13] D. M. Darby, D. G. Agresti, M. W. Schaefer, C. A. Grant, E. C. Sklute, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* **34** (2006) 83–125.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

MECHANOCHEMICAL SYNTHESIS OF MIXED Cu-Co FERRITE

N. Velinov[1], E. Manova[1], T. Tsoncheva[2], D. Paneva[1], B. Kunev[1], K. Koleva[1], I. Mitov[1]

[1] Institute of Catalysis, Bulgarian Academy of Sciences,

Acad. G. Bonchev Str., Bl. 11, 1113 Sofia, Bulgaria

[2] Institute of Organic Chemistry with Centre of Phytochemistry, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. G. Bonchev Str., Bl. 9, 1113 Sofia, Bulgaria

МЕХАНОХИМИЧЕН СИНТЕЗ НА СМЕСЕН Cu-Co ФЕРИТ

Н. Велинов[1], Е. Манова[1], Т. Цончева[2], Д. Панева[1], Б. Кунев[1], К. Колева[1], И. Митов[1]

Abstract: *Nanodimensional powders of cubic $Cu_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$ are synthesised by two-steps procedure of co-precipitation of copper-cobalt- iron hydroxide carbonates, followed by mechanochemical treatment. XRD, Thermogravimetry-Differential Scanning Calorimetry and Mössbauer spectroscopy are used for the characterization of the obtained materials. Their catalytic behaviour is tested in the reactions of 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 also by the concomitant ferrite phase transformations by the influence of reaction medium.*

Key words: *mechanochemical synthesis, copper-cobalt ferrite, Mössbauer spectroscopy, methanol decomposition.*

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, H_2, CH_4 and chlorobenzene etc. [1, 2]. It is well established, that depending on the preparation method, $CuFe_2O_4$ can crystallize either in tetragonal or cubic symmetry [3 – 5]. 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 catalytic behaviour of unsubstituted copper ferrite obtained by thermal decomposition [5] and mechanochemical synthesis [6] has been studied in reactions of methanol decomposition to H_2 and CO, as well as total oxidation of toluene.

The aim of the present work is to investigate the possibility of synthesizing mixed copper-cobalt ferrites, as nanodimensional powders by co-precipitation of the corresponding hydroxide carbonate followed by mechanochemical treatment and to investigate the influence of the structure on catalytic properties.

2. Experimental

Iron-copper oxide powders ($Cu_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$) were prepared by two-steps procedure of co-precipitation and mechanochemical treatment. The starting solution of $Fe(NO_3)_3.9H_2O$, $Cu(NO_3)_2.3H_2O$ and $Co(NO_3)_2.6H_2O$ was precipitated with drop-wise addition of 1 M sodium carbonate solution up to pH 9 at continuous stirring. The initially obtained precipitate was dried at room temperature (RT) to form precursor powder ($Cu_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$-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 samples are denoted by $Cu_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$-MSx, where x = 1, 2, 3, 5 is duration of mechanochemical treatment in hours.

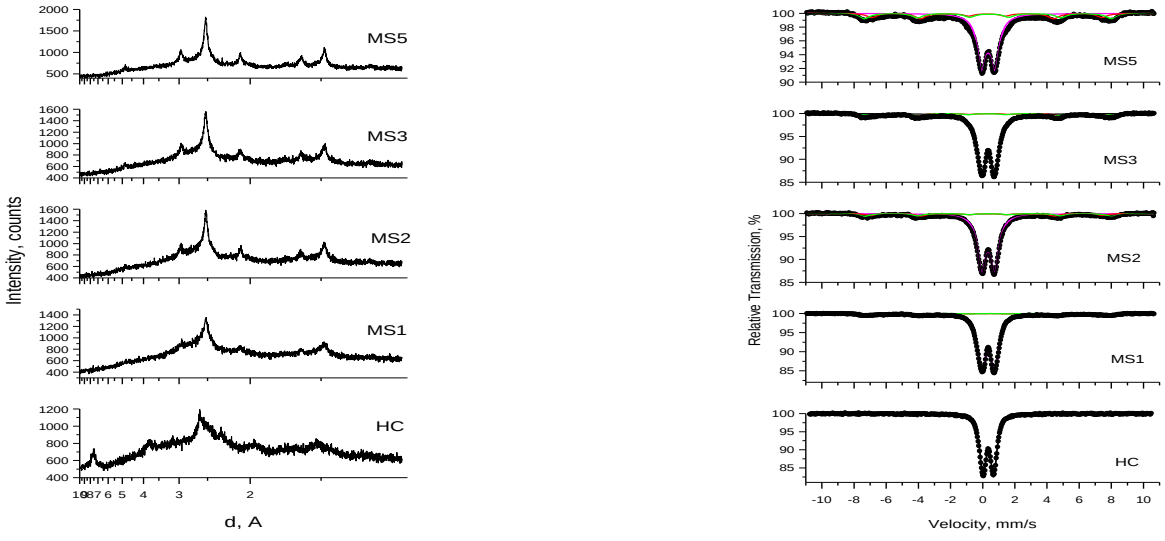
The powder XRD patterns were recorded using a TUR M62 diffractometer with Co Kα radiation. The observed patterns were cross-matched with those in the JCPDS database. The average crystallites size (D), the degree of microstrain (e) and the lattice parameters (a) of the studied copper ferrites were determined from the experimental XRD profiles by using the Williamson–Hall equation [7]. The RT Mössbauer spectra were obtained with a Wissel (Wissenschaftliche Elektronik GmbH, Germany) electromechanical spectrometer working in a constant acceleration mode. A ^{57}Co/Cr (activity ≅10 mCi) source and a α-Fe standard were used. The experimentally obtained spectra were fitted to mathematical processing according to the least squares method. The parameters

of hyperfine interaction such as isomer shift (IS), quadrupole splitting (QS), effective internal magnetic field (H_{eff}), line widths (FWHM), and relative weight (G) of the partial components in the spectra were determined [8]. The simultaneous Thermogravimetry-Differential Scanning Calorimetry (TG-DSC) was carried out by Linseis STA1600 thermobalance in static air at 10^{o}C/min heating rate. 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.

3. Results and Discussion

TG-DSC analysis of $Ni_{0.5}Zn_{0.5}Fe_2O_4$-HC sample represents several thermal effects. The endothermal effects are accompanied with mass loss of sample and could be assigned to hydroxide carbonate decomposition – dehydration, dehydroxylation and decarbonisation. The well expressed exothermal effect could be associated with formation of ferrite phase. Thermal effects are not observed at higher temperature therefore the spinel phase formation has been completed at temperature about 504^{o}C [8].

XRD patterns of the obtained materials are presented in Fig. 1A. Well defined reflections of cubic spinel phase (S.G.: Fd-3mS, No. 227) are registered even after one hour of milling and the process of crystallization continues with the increase of milling time. The degree of microstrain decreases from 9.69x10^{-3} to 4.40x10^{-3} with increasing the duration of treatment from 1 to 5 hours. The average crystallite size of the obtained ferrite nanoparticles varies between 8-11 nm depending on the duration of the milling procedure.

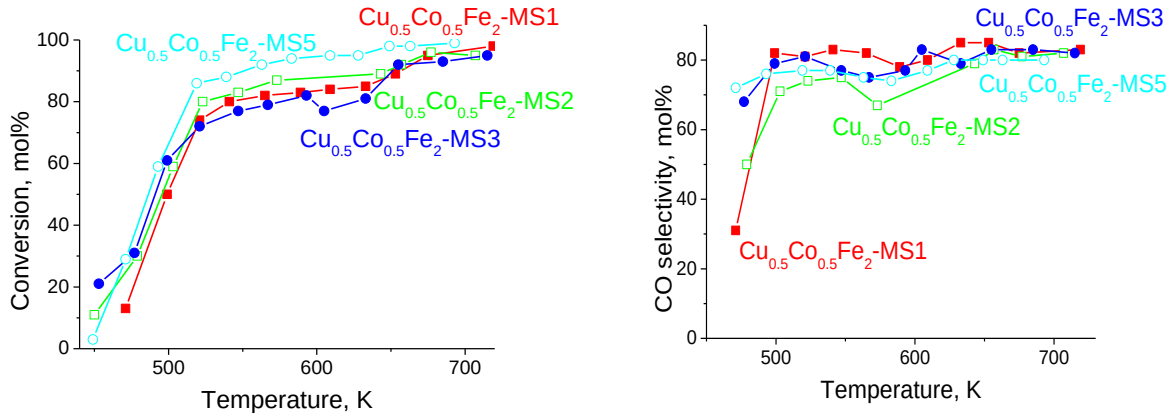


A **B**

Fig. 1. *XRD patterns (A) and RT Mössbauer spectra (B) of the investigated $Cu_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$ samples*

RT Mössbauer spectra of the samples are presented in Figure 1B. The $Cu_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$-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 62 to 88 %, in relation to time of samples treatment, and sextet components corresponding to Fe^{3+}_{octa}- and Fe^{3+}_{tetra}-coordinated ions in spinel ferrite lattice.

Data from catalytic behaviour of the samples in methanol decomposition to CO and hydrogen are presented in Fig. 2.



A **B**

Fig. 2. *Methanol conversion (A) and CO selectivity (B) vs. temperature for various $Cu_{0.5}Co_{0.5}Fe_2O_4$ materials*

The materials exhibit significant catalytic activity in methanol decomposition with a high selectivity to CO and hydrogen (Fig. 2) just above 500-550 K. Methane, CO_2 and negligible amounts of dimethyl ether and C_2-C_3-hydrocarbons are observed as by-products as well. Better catalytic activity and selectivity to CO and hydrogen is registered for the sample, obtained at longer mechanochemical treatment. Mössbauer analysis of the samples after methanol decomposition demonstrate significant changes in the phase composition due to the influence of the reaction medium. The Mössbauer spectra are well fitted with three sextet components with parameters typical of iron carbide (χ-Fe_5C_2) one sextet of iron-cobalt alloy, as well as two sextets of magnetite (Fe_3O_4) phase in MS1 sample [8].

4. Conclusions

The method of co-precipitation, followed by the high-energy ball milling results in the formation of nanocrystalline mixed copper-cobalt ferrites with cubic crystal structure. The crystalline size of the ferrite phase increases with increasing of duration of mechanochemical treatment. The preparation of highly active and selective catalysts is facilitated by the increase of mechanochemical treatment duration. The catalytic behaviour of the samples depends not only on their initial state but on the following phase transformations, which occur with the sample during the catalytic process.

Acknowledgments

Financial support of the National Science Fund of Bulgaria through project ДО 02-295/2008 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] T. Tsoncheva, E. Manova , N. Velinov, D. Paneva, M. Popova, B. Kunev, K. Tenchev, I. Mitov, Catalysis Communications **12** (2010) 105–109.

[6] E. Manova, T. Tsoncheva, D. Paneva, M. Popova, N. Velinov, B. Kunev, K. Tenchev, I. Mitov, Journal of Solid State Chemistry **184** (2011) 1153–1158.

[7] G.K. Williamson and W.H. Hall, Acta Metallurgica, **1** (1953) 22–31.

[8] N. Velinov, T. Tsoncheva, E. Manova, D. Paneva, B. Kunev, K. Koleva, I. Mitov, Mechanochemical activation as a method of reactive and disperse materials synthesis, will be published, 2012.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

AN INSPECTION STAND FOR SHAFTS COATINGS USING MICROMANIPULATOR WITH PIEZO ACTUATORS

Dimitar Karastoyanov[1], Vladimir Kotev[2] and Mara Kandeva[3]

[1] Institute of Information and Communication Technologies, Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria, dimikara@abv.bg

[2]Institute of Mechanics, Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria

[3]Technical University – Sofia, Bulgaria, kandeva@tu-sofia.bg

УСТРОЙСТВО ЗА ИЗПИТВАНЕ НА ПОКРИТИЯ НА ВАЛОВЕ ЧРЕЗ МИКРОМАНИПУЛАТОР С ПИЕЗО ЗАДВИЖВАНЕ

Димитър Карастоянов, Владимир Котев, Мара Кандева

Abstract: *A manipulator for inspection of coatings of renovating shafts is designed. The manipulator is a part of robotised systems for inspections of coatings with high mechanical wear-resistance and surface-smoothness for renovation of the working area of shafts for extruding sheet material (PVC, Plexiglas, other plastics) by laying and polishing of new types of highly wear-resistant coatings based on ultra disperse nickel coatings with nano-dispersoids and/or nano-particles included. Experimental results are presented. Three and four links manipulation mechanism with actuator links for the shafts coatings inspection are proposed.. Also simulations of displacement and stress due to driven forces of actuators are performed.*

Keywords: *micromanipulators, nickel coating, nano elements.*

I. INTRODUCTION

Extruding (pressing by pushing) of sheet material from non-metal materials (Plexiglas, PVC, other plastics) is widely used in households. Gifts, flowers, sugar and chocolate packing is made from thin aluminum sheets. Thin Plexiglas sheets are used to make pack-boxes, and thick nylon sheets are used to make bags, raincoats, etc. With the time and at high production rate shafts age, their surface wears out, and sometimes scratches appear in incidents. All this makes the shaft surface not precisely circular and even. Because of a new shaft's very high price, renovation of the defected shaft is applied in such cases by applying a new coating and polishing it to mirror shine.

A technological line for chrome based smooth shaft renovation should include at least the following technological cells and operations: 1. Grinding of the old chrome layer at a given roughness; 2. Coating of a new chrome layer in a galvanic (cyanide) bath; 3. Rough grinding of the coating down to a predetermined diameter and roughness; 4. Fine grinding of the shaft down to a predetermined roughness; 5. Polishing of the chrome to a predetermined smoothness (Ra ~ 0.02 - 0.03). The grinding of the old chrome layer is a routine and easy operation if one has lathes with long guides, accurate screws and good bearings. Usually 120 μm to 150μm of the old chrome are taken off, where greater roughness is required to enable the new chrome layer to stick better.

The laying of the new layer of chrome can be done in a galvanic bath where part of the shaft is dipped and it is slowly rotated. Thus relatively big thickness (120-150 μm) and unevenness of the coating is achieved. The evenness is improved through the next operation. The idea of polishing the steel base of the shaft to the necessary smoothness emerged on the basis of these studies and it also included laying a thin (15-25 μm) nickel coating with nano-particles in it, or a thicker one (25-40 μm) including other micro - and nano-dispersoids for increasing hardness and wearing out resistance.

A.Dispersoids of the micro-area

As dispersoids can be served micro-dusts of hard-fusible oxides, carbides, silicones, borides, nitrides, diamonds, ect. (Tabl. 1). Micro dusts are produced in two ranges of grains – wide and tight. The size of the grains of the basic fraction set by screening through two sieves – allowing and holding, for tight rage micro-dusts, and for wide range – through three [1].

Table 1: MICRO-AREA DISPERSOIDS

Dia-mond	Silicon Carbide	Electro-Corundum	Wolfram Carbide	Boron Carbide	Titan Carbide

B.Dispersoids of the nano-area

It is considered, that nano- technologies are one of the high achievement in the science for the last few years and they have found a hundreds applications in the wide range of areas – from medicine to solar panels, from ecology to coating fils with surprising new features.

Some of the companies offer different nano- elements, mainly nano- powders. These are Oxides, Carbides & Nitrides. Some of them, included in our experiments are:

C – Diamond Synthesized - 4-25 nm

SiC – Silicon Carbide - 50-60 nm

Al_2O_3 – Aluminum Oxide - alpha, 200 nm

The shafts for renovating have following properties: the biggest diameter - 3,5 m, max length-4,5m, mass-16t., the type of coatings is Ni+P and additional dispersion materials, 250 pieces per year. The requirements related to accuracy of geometrical form, dimensions and roughness are very high. These Requirements impose to achieve a high degree of automation of measurements and electronic reporting of measurement results [2].

The aim of the present study is to design a manipulator - holder for micro-nano-positioning and orientation of the touchless sensors and gauges for measuring roughness, thickness of coat, deviation from cylindricity or micro-hardness of the shaft coating. The manipulator is positioned on the mobile platform of a specialized robot for measuring shaft coatings. The co-operation of the macro and micro robots is necessary when the manipulated object has to be handled into a macro-space and carry out a precise finishing operation in a micro-zone. In mechanisms with incorporated macro – micro structures DoF, as well as the accessible area increase, the structures are compact and have fewer backlashes. Finally it will be investigated how the length variation of the piezo-ceramic links will influence the motion of the working tool.

II. THEORETICAL BACKGROUND

Nowadays the robotisation of various operations in domain of micro-biology, micro-electronics, nano technologies is developing rapidly. Robots with appropriate kinematic systems, gripping devices, actuated by piezo-actuators are under development [3-5]. The direct piezoelectric effect consists in the ability of certain materials to generate electric charge in proportion to externally applied force [6-8]. Effects are lasting if force or electric field is acting. Effects have been used for actuating/sensing functions in engineering applications. It is known a linear cylindrical piezo-element (actuator) with inherent physical properties. Some parameters of piezo-element or actuators which are necessary for control of devices for micro and nano technological operations can be defined from relations (1)–(4). The basic parameters of cylindrical actuators [9] are:

$$L = 3D, \tag{1}$$

$$V = \frac{4L}{\pi D^2} g_{33} F \tag{2}$$

$$\Delta L = d_{33} V \tag{3}$$

$$C = \frac{\pi D^2}{4L} - k_3^T \varepsilon_0 \tag{4}$$

where

L – length of element; D – diameter; V is the generated voltage; ϱ – voltage coefficient; F – force; d – charge coefficient (piezo-electric constant); ΔL – displacement (extension); C – capacity; k^T – relative dielectric constant; εT - dielectric constant. The lower number indices show the direction of parameters.

In this study three and four-links mechanisms for manipulators with actuators links (fig.1.c) are synthesized. The manipulator is intended to position and orientate the noncontact sensors for inspection of shaft coating. It is positioned on a mobile platform of a specialized robot. In the kinematic scheme (fig.1a) piezo-ceramic links are illustrated as prismatic pairs. It is seen from the structural scheme (fig. 1b) that the basic loop is a five-link with two DoF (with two piezo-ceramic links), one of the links being the quarter link 3, which is also a part of a second closed four-link loop. In link DE of this loop the third piezo-ceramic element is built-in and link CH (number 8) is the output link (OL) [10]. The small displacements realized by the piezo-ceramic links (actuators) require the use of elastic joints illustrated by arcs on the construction scheme of (fig.1c). OL of the manipulator can position point H and orientate link 8 in the plane of motion. According to equation (5) manipulator mechanism for micro positions has 3 DoF

$$h = 3n - 2p_5 = 3.7 - 2.9 = 3 \tag{5}$$

Where: h –number of DoF; n – number of mobile links; p_5 –kinematical joints with 1 DoF.

In most cases, when measuring roughness or hardness, as well as deviation from cylindricity of shafts and their micro-coating, it is required that sensors and gauges should be positioned exactly perpendicular to the shaft (along the shaft's normal). This requires that the output link of the manipulator (sensor or gauge) should to be orientated or shifted along the normal to the measured surface. This is the motivation for the synthesis of a mechanism (manipulator) that moves along rectilinear trajectory. Therefore the inverse problem of synthesis of manipulator must be solved, when a linear trajectory is given have to find a

configuration of mechanism and control of the actoators. Geometric relations of the 8-link manipulator mechanism for shafts coating inspections are shown on the figure 1 (a). The link 1 in the kinematic chain OAB is fixed. All linear and angle parameters are shown on the figure (fig.1a). The displacement of point C(x,y), and the rotation of links 2 and 3 are due to the variable lengths of links 2 and 3 wherein the piezo-ceramic elements are built-in. In the previous authors paper [11] the Forward problem of kinematics for the mechanism on fig. 1.c. are solved as well as the transmission ratios of actuators are determined.

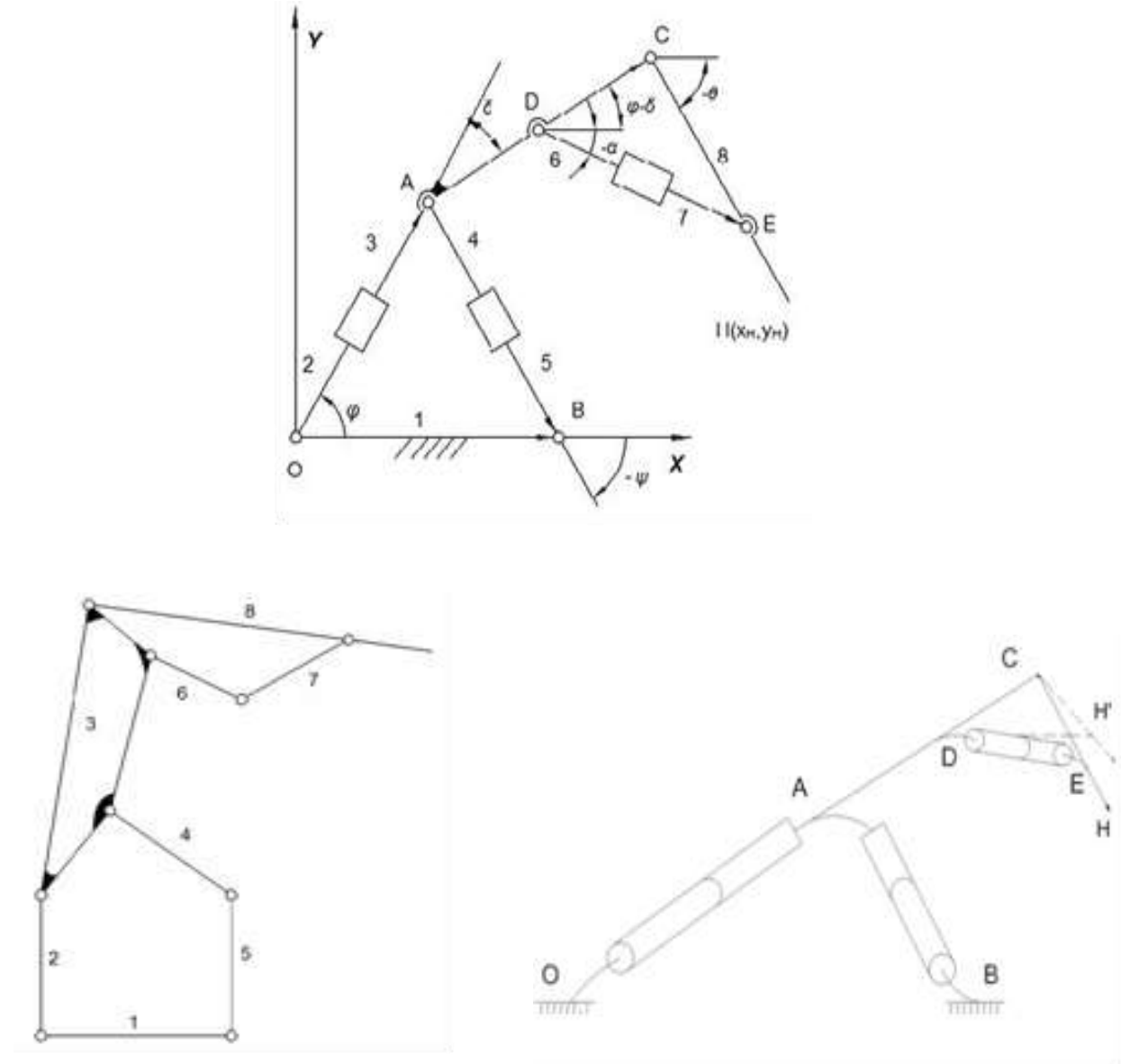


Fig.1. *(a) Kinematic; (b) structural; (c) construction schemes of the manipulator mechanism*

A. Inverse problem of synthesis of the manipulator for inspections of shafts coating

The objective of this study is to synthesize a rectilinear trajectory with dimensions of several nanometres. With given coordinates of point H (x,y) and H′(x,y) or line H-H′ of the mechanism's output link (fig.2). The problem of control of the manipulator will be solved if the following conditions are given (known):

- linear equation;
- angle of the slope of the straight line;
- linear equation passing through 2 points.

The strategies of control of manipulator as well as the transfer functions of actuators can be obtained from equations (6)-(10). We assume that the slope of line (κ) i.e. necessary linear trajectory is given.

$$k = tg\gamma \ , \tag{6}$$

Where γ is a given slope of the line.

$$K_{HH'} = \frac{y_H - y_H^{'}}{x_H - x_H^{'}} \tag{7}$$

From relations (6) and (7) the transfer ratios of the actuator - λ_1 and λ_2 or elongation of the links OA and AB can be find by equations (8)-(10)

$$x_c = x_H^{'} - l^* \cos\theta, \quad y_C = y_H^{'} + l^* \sin\theta \tag{8}$$

$$x_A = x_C - l_2^* \cos(\varphi - \delta), \quad y_A = y_C - l_2^* \sin(\varphi - \delta) \tag{9}$$

$$\lambda_1 = \sqrt{x_A^2 + y_A^2} \ , \quad \lambda_2 = \sqrt{x_A^2 + y_A^2} \tag{10}$$

where

$$l^* = C\overline{H} \ .$$

The obtained relations are at the base of the algorithm of control of manipulator mechanism. They are valid for two types of suggested mechanisms (fig.2.) for manipulators.

B. Graphcal analisis of the working area of designed manipulators

The micro-nano working area of manipulators is illustrated more clearly by graphical representation figure 2. It is seen the tetragonal working zone of the manipulators.

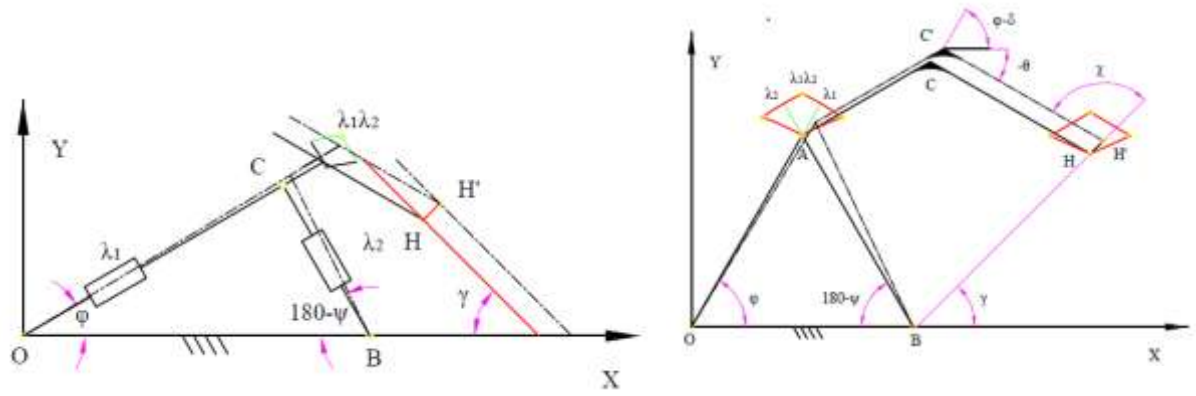


Fig.2. *(a) Accessible areas of the manipulators when actuators -* λ_1 *and* λ_2 *are switch on*

B. Simulations of manipulators

In this section virtual model and simulations of the two constructions of the manipulators are done. The simulations will help us to chose the most appropriate material, geometry and revolute joints to in order to make the manipulator. There are various type actuators and firms which make it. Multilayer piezo actuator P882.51 type of the firm PI are chosen. The maximal displacement and blocking force are 18μm and 210N, respectively. The following two types of plastic materials: Poly carbonate and ABC for manipulators are used in simulations.

We define relations between the driven force of the actuators and displacement of the construction and end-effector of manipulators (Fig.3 and 4). Also the stress and stiffness of the constructions due to actuators forces are defined.

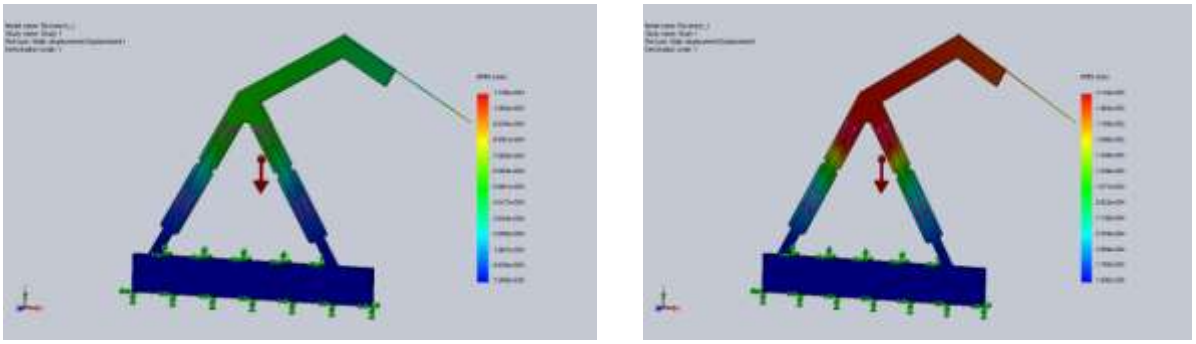


Fig.3.*(a) Displacement of the manipulator made of ABC material under the influence of the actuator's force 50N; (b) 170N.*

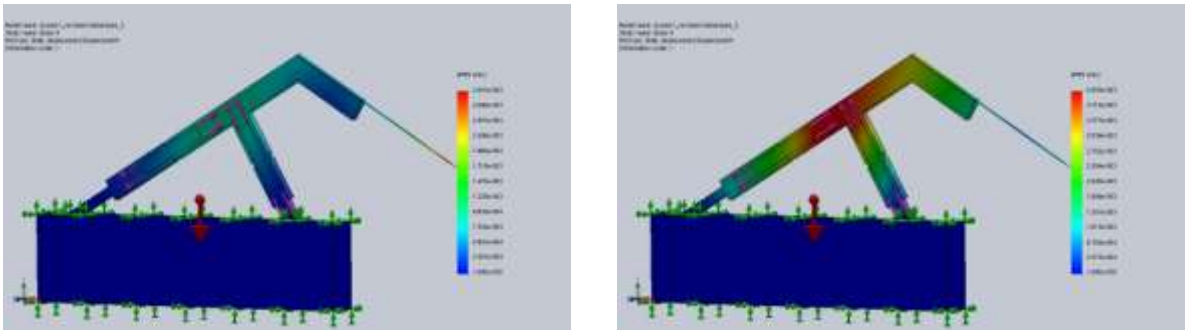


Fig.4.*(a) Displacement of the manipulator made of Poly Carbonate material under the influence of the actuator's force 50N; (b) 200N.*

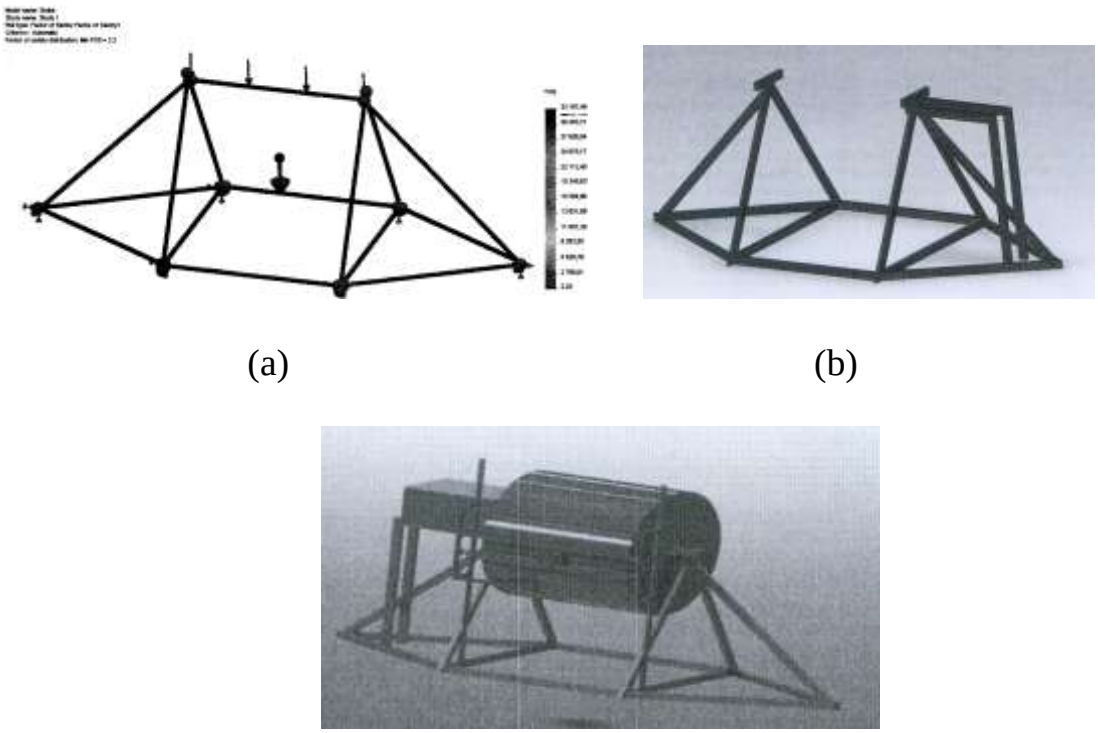
III. DESIGN OF THE FRAME OF THE MECHATRONIC SYSTEM FOR COATING INSPECTION

The shafts intended for coating are placed on the frame. The frame must bear the load of 16 tones. Also, the mechatronic system for coating inspection adds to the frame. In designing of the frame the Finite Element Method (FEM) is used. After some simulations are performed, we choose the profile Bosch Rexort – L200x100mm (fig.5) for making the frame.



Fig.5. *Bosch Rexort profile.*

The maximum stress inside the frame calculated by FEM was less than the allowable stress the aluminum alloy–100MPa. The results of stress analysis - 33 167,48 MPa demonstrated the sufficiency of the frame structure. The safety coefficient of the frame is about 3,01. Also after stress analysis we choose the appropriate geometry of the frame (fig.6).



(a) (b)

(c)

Fig.6. *The frame of the mechatronic systems for coating inspection. (a) FEM analysis of the frame; (b) and (c) CAD model of the frame.*

The driving unit for mechatronic system should be mounted on the body frame. After some calculations we chose motor with a planetary gearbox produced by company Frienteded Transmission machinery Ltd. The motor has to drive the shafts. The motor has the following properties: *P=0,14-75 kW, M=20-30 kN.m, n=9-87min*$^{-1}$.

IV. EXPERIMENTAL RESULTS

The laboratory experiments were made for chemical nickeling with nickel – phosphorus matrix with micro/ nano scale dispersoids addition – silicon carbide, diamond synthesized. As optimal temperature is assumed 90-92^0 C, optimal pH – 4,7 to 4,9 and relation between cultivated area and volume of the solution (S /V) 1-2 dm^2/l.

In approximately observing of the parameters above, the mass percents of phosphorus are between 8 – 10 mass %. This value is corresponding to the matrix relative weight. From here we deduced a theoretical (average) speed for coating – 24-25 μm/h.

The coating for combination of experimental models was made – fig.7. The combinations for the different models were chosen to be close to the assumed value of the relation S/V.

In this series of experiments, where silicon carbide nano-filter 700 nm was used, the concentration of the working solution was chosen to be 0,4 g/l. In the experiments the dispersoid we added on the 15-th minute from the beginning of the process.

The weight measures of the polishing plates from 0,25 dm^2 proved calculated deposition speed – 23,8 to 25,2 μm/h. The coating follows the relief of the base and keeps the same smoothness [12].

Same experiments were made also with nano-filter 150 nm

Same experiments were made as well with dispersoid– nano – diamond dust. The following depositions were made:

- Pure nickel – phosphorus matrix
- + Diamond Synthesized - 4-25 nm

The relief and smoothness of the coating are remaining.

In some of the experiments the temperature was increased (for about 40 min up to 96^0 C). Harmful effects (decomposition of the solution) were not observed.

For a test in working conditions we designed a stand for high temperature testing (200^0C) – fig.8.

The stand is consists of hollow shaft, driven by electric AC motor, and heater, blowing the shaft with hot air. A heat-resistant Teflon roller is pressed to the shaft, which serves as extruded material.

PLC Allen Bradley is used for stand control and inverter SEW Eurodrive (fig. 8) is used for driving mechanism. The personal computer is used to collect data regarding tests of wear resistance after continuous work, [13].

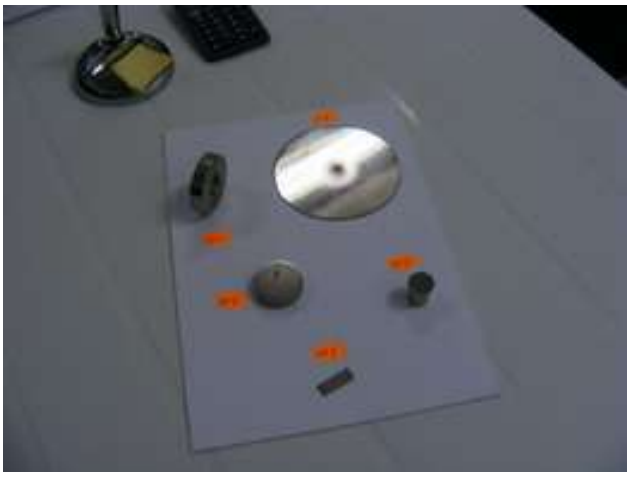


Fig. 7. *Coating of experimental models*



Fig. 8. *Experimental stand for testing in work conditions*

V. CONCLUSIONS

After the experiments in laboratory and work condinions, two types of mechanisms for shafts coating inspection manipulators are suggested. The manipulator is positioned on the mobile platform of a specialized robot for measuring shaft coatings. Manipulators have to micro-nano-positioning and orientation of the noncontact sensors and gauges for measuring roughness, thickness of coat, deviation from cylindricity or micro-hardness of the shaft coating. In most cases, when measuring roughness or hardness, as well as deviation from cylindricity of shafts and their micro-coating, it is required that sensors and gauges should be positioned exactly perpendicular to the shaft (along the shaft's normal). This requires that the output link of the manipulator (sensor or gauge) should to be orientated or shifted along the normal to the measured surface.

The paper provides also a design of a mechatronic system and technology for coating inspection of renovating shafts

ACKNOWLEDGMENT

The paper is supported by Bulgarian NSF (National Science Fund) Grant No D02-13/2009

REFERENCES

[1]. G. Gavrilov, „Nickelierung mit mikro-elements“, *Materialwissenschaf* , vol.29, pp. 56-61, 2004.

[2]. G. Gavrilov, "Nano – powders by nickeling", *G.,J.Electrochem.Soc*, vol.152, pp. 132-137, 2005.

[3] K. Kostadinov, R. Kasper, M. Al-Wahab, *Control Approach for Structured Piezo Actuated Micro/Nano manipulator*, H. Ulbrich and W. Guenthner (Eds.) "Vibration Control of Nonlinear Mechanisms and Structures", Springer, 2005.

[4] D. Chakarov, M. Abdel-Wahab, R. Kasper, K. Kostadinov, "Synthesis of tense piezo structures for local micro- and nano- manipulations". *8th Magdeburg days of mechanical engineering and 7th Mahreg innovation forume*. October 10-11, 2007. Magdeburg, pp.173-180, 2007.

[5] K. Kostadinov, Vl. Kotev, P. Genova, "Some ideas for cooperating of macro and micro robots", *Mechanics of Machines*, vol. 79, pp. 75-78, 2009.

[6] K. Uchino, *Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors*, Kluwer Academic Publishers, MA, 1997, 349.

[7] J. Madden, "Properties of electroactive polymer actuators", *9th IC on New Actuators*, Bremen, Germany, pp.338-343,2004.

[8] Y. Suzuki, K. Tani, T. Sakuhara, ″Development of new type piezoelectric micromotor,'' J. *Sensors &Actuators*, vol. 83, pp. 244-248, 2000.
[9] R. Bishop, *Mechatronic Systems, Sensors and Actuators*, The Mechatronics Handbook, CRC Press, 2008.
[10] Genova P., Kostadinov K., Kotev V., Tyankov T., Bulgarian Patent № 110597, 2010, Micro-electro-mechanical device for manipulators.
[11] Genova, P., Kotev, V., Ionescu, Fl., Kostadinov, K., "Linkage Mechanisms With Piezo- Structured Ceramic Actuators", *Proceedings of 2010 International Conference on Optimisation of the Robots and Manipulators*, Calimanesti, Romania, 28-30 May 2010. http://www.researchpubonline.com/proceedings/9789810858407/978-981-08-5840-7_SS11-5.xml
[12] G. Gavrilov, D. Karastoyanov, *Method for renovating of coating over steel surfaces*, Bulgarian Patent No 110745, announced 2.9.2010.
[13] Karastoyanov D., Control of mechatronic systems. Sofia, Academy Publishing House, 2006, ISBN-10: 954-322-169-3, ISBN-13: 978-954-322-169-1 (in Bulgarian)

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ELECTROLESS IRON COATING ON NANOSIZED PARTICLES

Karaguiozova Zdravka[1], Manolov Valentin[2] and Tarasov Michael[3]

[1] *Bulgarian Academy of Sciences, Space and Solar Terrestrial Research Institute, karazuzi@yahoo.com*

[2] *Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Metal Science "Acad. A. Balevsci" v.manolov@ims.bas.bg*

[3] *Bulgarian Academy of Sciences, Institute of mineralogy and crystallography "Acad. Ivan Kostov", mptarass@dir.bg, mptarassov@clmc.bas.bg*

ABSTRACT: *In this research, the electroless method for iron layering on super hard nanosized particles is investigated. The electroless plating on the surfaces is one well-known method for improving the surface properties. The main advantage of this method is the possibility to coat with metal films metals as well as dielectrics even if they have a complicated shape.*
In this study the electroless iron solution contains Fe^{2+} ions as a metal ion and $H2PO^{2-}$ as a chemical reducing agent. The optimal conditions for Fe deposition are specified. EDS and TEM analysis on the coated surfaces are also performed. TEM analysis proves the presence of new formed nanoglobules on the basic material of TiN. EDS analysis of the nanoglobules chemical composition shows presence of 0,174 mass% of iron in relation to TiN.

1. INTRODUCTION

The unique properties of nanosized particles in consequence of their small size are accountable for their increasing popularity in nanotechnology investigations. The improvement of materials properties is observed by addition of nanosized particles to different objects, namely [1-3]:

- increasing wear resistance,
- better corrosion resistance

- better wet ability in different surroundings
- improved lubrication.

But as it is mentioned in our previous work one of the big problems is that it is not easy to hold nanoparticles in place into the matrix [4]. A tighter connection effect and increase of the average service life could be achieved by metal plaiting of the nanoparticles [5-8]. Metallic coatings are deposited by electroplating, electroless plating, spraying, hot dipping, chemical vapor deposition and ion vapor deposition. Some important coatings are cadmium, chromium, nickel, aluminum and zinc [9].

Electroless metal plating is a chemical reduction process which depends upon the catalytic reduction process of metal ions in an aqueous solution (containing a chemical reducing agent) and the subsequent deposition of a metal without the use of electrical energy. In the plating process, the driving force for reduction of metal ions and their deposition is supplied by a chemical reducing agent in a solution.

This driving potential is essentially constant at all points of the surface of the component. Therefore electroless deposits are uniform in thickness all over the part's shape and size [10], what explains the scientist to be interested in electroless plaiting of nanoparticles.

The aim of the present study is to investigate possibility for plating nanosized particles with electroless iron solution. SEM and TEM analysis of the coated particles is carried out.

2. EXPERIMENTAL AND RESULTS

Starting material: TiN nanosized powder with physical properties as represented by Table 1 below (delivered by Neomat Co, Latvia) is used in this investigation.

Table 1. *Physical properties of nanosized TiN*

Avarage size, nm	Weight, г	Specific surface area (m^2/g)
70±5	5	25±5

TiN surface does not have catalytic activity towards electroless iron solution. Sansitization and activation of the surface with 40g/l stannous chloride (SnCl2) with 3,5 g/l hydrochloric acid (HCl), and 1 g/l palladium (II) chloride (PdCl2), are used as sensitizer and activator, respectively.

Electroless plating solutions consisting of FeSO4·7H2O (20-40 g/l) and reducer natrium hypophosphyte (NaH2PO2.H2O - 5-15 g/l) is used for iron deposition. The TiN concentration is fixed at 2,0 g/l. The plating process is performed in a 1 l glass reaction vessel with a heater and a stirring device.

The pH of plating bath in the range of 8-11,5 is controlled by sulfuric acid (H_2SO_4) and sodium hydroxide.

The work conditions are the following:

pH: 8,0 - 10;

T = 50 ± 80°C;

coating time –30 - 60 minutes.

Covered nanoparticles are washed few times with distilled water to pH 7. The solid phase is separate and dried in rotary vacuum evaporator.

Composition and surface characteristics of TiN powder covered with iron are investigated using Philips TEM 420 and analytical system EDAX 9100/70 on increasing accelerating voltage of 100 kV.

The tests are carried out by Institute of Mineralogy and Crystallography – BAS. The investigations consist of obtaining and processing of nanoparticles lighting images, micro diffractions and EDS analysis. TEM objects are prepared by ultrasonic material dispersion in alcohol. The resulting suspension is placed on copper grids with carbon padding.

mechanism of plating process

In order to initiate the deposition of metallic iron species, the active sites are required. Such Pd0 active sites are formed on the surface of the TiN particles followed by activating and sensitizing steps:

$Pd2+ + Sn2+ \rightarrow Sn4+ + Pd0$

The electroless iron deposition using hypophosphite as a reducer can be divided in two processes: (1) anodic and (2) cathodic reactions.

The anodic reaction is the oxidation of H2PO−2 on the catalytic surface (1).

The cathodic reactions are: (2) reduction of iron ions, (3) reduction of hypophosphite, (4) reduction of hydrogen ions.

$$[H2PO2]^- + OH^- \rightarrow H+ + [H2PO3]^- + H + e \quad (1)$$

$$Fe2+ + 2e \rightarrow Fe \quad (2)$$

$$[H2PO2]^- + e \rightarrow P + 2OH^- \quad (3)$$

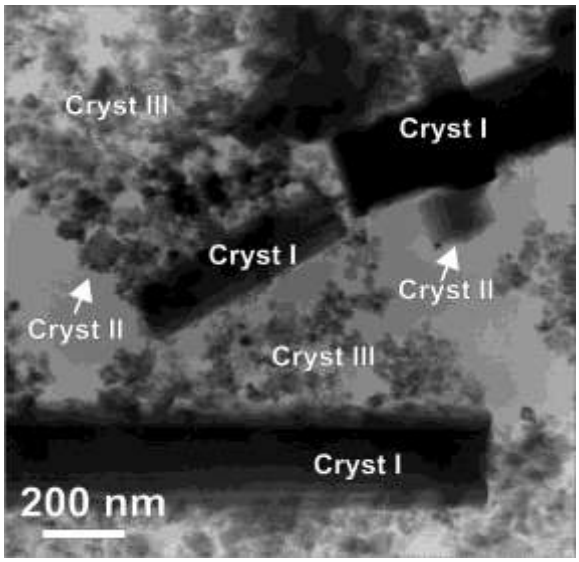
$$H + H+ + e \rightarrow H2 \quad (4)$$

The chemical reaction for Fe deposition reduced by hypophosphite can be expressed as follows:

$$2[H2PO2]^- + 2OH^- + Fe2+ \rightarrow 2[H2PO3]^- + Fe + H2$$

TEM analysis proves the presence of new formed nanoglobules on the basic material of TiN (Figure 1).

Figure 1: Morphological type particles (crystals I, II, III)

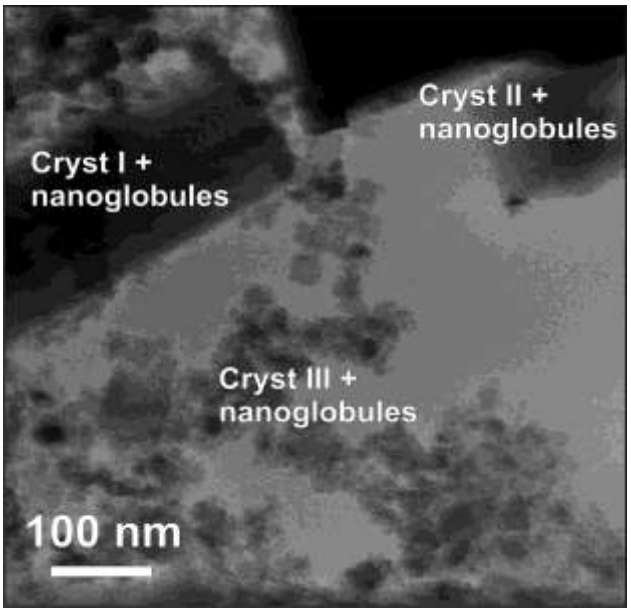


Morphological type particles specified in the nanopowder are 4 types differing from one another in size and in morphology:

(а) longprismatical crystals: from 500 nm to 1-2 mm (type I - Figure 1)

(б) flat, short prismatic and slab crystals: 100-300 nm (type II – Figure 1,2)

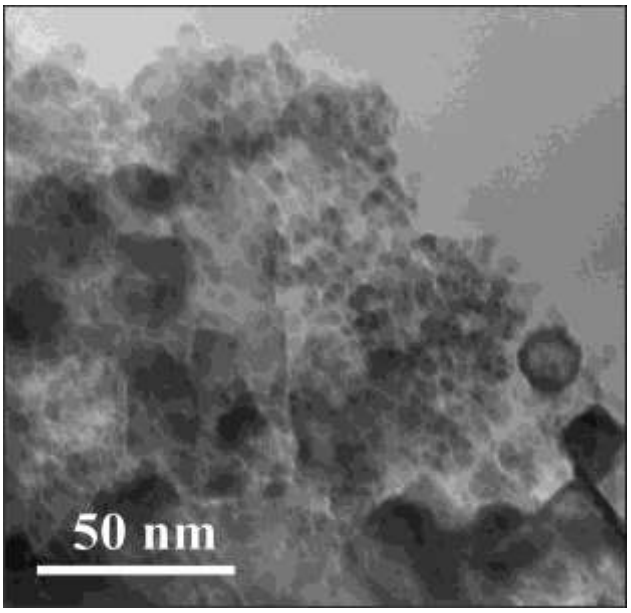
Figure 2: Morphological type particles (crystals I, II, III, covered with nanoglobules)

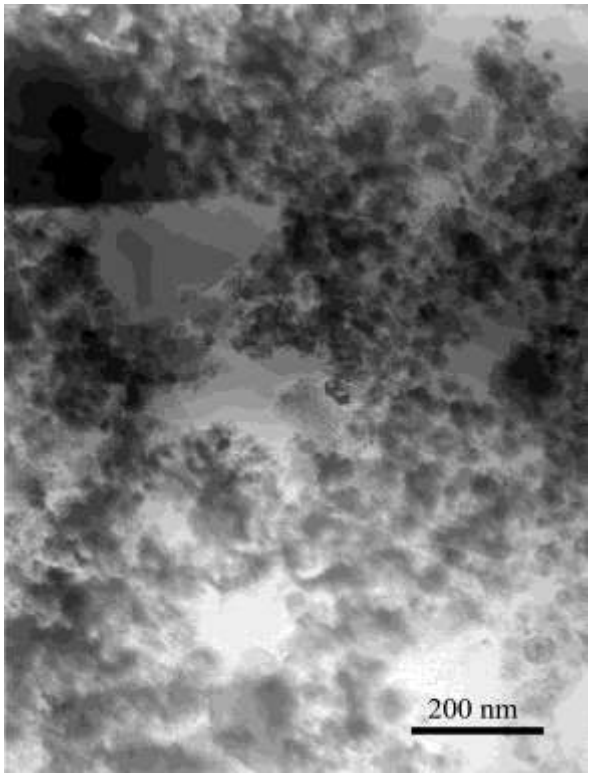


(в) cubic and slab nanocrystals: 20-60 nm (type III Figure 1,2)

(г) nanoglobules: 2-5 nm (Figure 2,3).

Figure 3: Nanoglobules covering the basic crystals of TiN





EDS analysis of the nanoglobules chemical composition shows presence of 0,174 mass% of iron in relation to TiN.

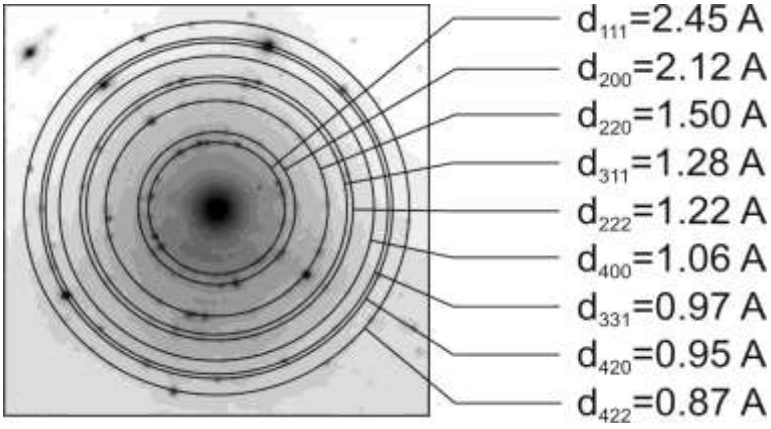
Phase composition and structure of tested nanomaterial

The crystals of the base material correspond to the TiN phase with a cubic structure.

This correspondence is confirmed by EDS analysis as well as by X-Ray diffraction analysis.

X-Ray diffractograms of the TiN crystals and nanoglobules represent polycrystalline diffraction images with point reflexes, grouped in cycles, corresponding to TiN dhk (Figure 2). There are sporadic point reflexes not typical for TiN phase. We suppose they are due to the new formations of Nanoglobules resulting of the chemical treatment.

Figure 4: Polycrystaline diffraction image of TiN crystals and nanoglobules



There are no new additional circle reflexes on the X-Ray diffractogram, which suggests very low stage of structure arrangement or amorphous conditions of the nanoglobule's material.

Chemical condition and relationship between nanoglobules and nanocrystals in the tested nanomaterial

(a)The observed nanoglobules form very compact layers on the surfaces of the nanocrystals. The bond between the nanoglobules and the crystal surface is stronger than the bond between the nanoglobules. It is also visible in the fact that the nanocrystals are covered with monolayer of nanoglobules.

(b) Chemical composition: Sn, Fe, Pd и Ni. Assumed quantity of Fe in % in the nanoglobules is 49,9%.

3. CONCLUSIONS:

- The technology for layering of nanosized TiN powder with iron is developed
- It is proved the iron coating is a layer from nanoglobules
- The nanoglobules are with very low stage of structure arrangement or they are in amorphous conditions
- The nanoglobules size is 2-5 nm
- The nanoglobules form very compact layers on the surfaces of the nanocrystals
- The nanoglobules form monolayer on the surface of the TiN nanocrystals.

Acknowledgement

The authors are grateful to the National Science Fund, Ministry of Education and Science of Republic of Bulgaria (Contract TK01/076) for the financial support of the project.

REFERENCES:

[1] D. Vollath and D.V. Szabó , *Journal of Nanoparicle Research*, v.1 N 2/ June (1999)

[2] Parkinson, R., *Nickel Development Institute*, "Properties and Applications of Electroless Nickel," (1997)

[3] A.Gurga, V.Mochalin, D.Pepe, C.Picardi, "Nanoindentation Study Of The Effect Of Nanodiamond Additives On Electroless Deposition Nickel-Boride Coating", *AZjomo*, DOI : 10.2240/azojomo0227

[4] S.Stavrev*, Z.Karaguiozova, Yu.Karadjov, I.Dragieva, *7-th Workshop "Nanoscience & Nanotechnology* (2005), Sofia, Bulgaria

[5] www. Coated saw Grits

[6] S.Stavrev*, Z.Karaguiozova, Yu.Karadjov, D.Mitev, L.Markov, A.Petrova, *SENS 2006*, Varna, Bulgaria (2006)

[7]www.attawaygems.com/NMF6 /cabinet_makers_and_chain_saws.html

[8]*GEMicronProducts*,www.geplastics.com/micron/content/products/coated.htm

[9] V. Heffernan, *Nickel magazine*, March, 2004, v. 19, N 2,

[10] S.Stavrev*, Z.Karaguiozova, *8-th Workshop "Nanoscience & Nanotechnology* (2006), Sofia, Bulgaria

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

WEAR RESISTANT COATINGS OBTAINED BY EFFTOM-NICKEL TECHNOLOGY

Zdravka Karaguiozova[1], Julieta Kaleicheva[2], Mara Kandeva[2]

[1]Space and Solar Terrestrial Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences, karazuzi@yahoo.com
[2] Technical University of Sofia,
jkaleich@tu-sofia.bg, kandeva@tu-sofia.bg

Absract: *Composite nickel coatings composed of Ni; Ni + TiN are investigated. EFFTOM - Nickel Method for electroless nickel plating is applied. Nanosized TiN particles (50nm) are used as a strengthening material. The coatings are plated on samles from ductile cast iron. The wear tests of the coatings are carried out using a classic design "back-to-back" disc on a TABER ABRASER test machine. The investigations on the samples microstructure and the microhardness measurements by Knoop Method are performed. The wear resistance, the thickness I microhardness of the samples before and after thermal processing at 290 ^{o}C, 6 h are defined.*

1. INTRODUCTION

Ductile iron is a family of cast graphitic irons which possess high strength, ductility and resistance to shock. cast ductile iron can be bent, twisted or deformed without fracturing. Its strength, toughness and ductility duplicate many grades of steel and far exceed those of standard gray irons. Yet it possesses the advantages of design flexibility and low cost casting procedures similar to gray iron. The structure of ductile iron, which is graphite nodules in a relatively pure iron matrix, has several useful properties. Firstly, the metal expands slightly on solidifying as the graphite precipitates, resulting in sharp, well defined castings. The graphite content also offers good corrosion resistance, particularly when compared to mild steel. Due to the shape of the graphite, ductile iron is not brittle like normal cast iron and can therefore be used where toughness and resistance to shock loading is required. The mechanical properties of ductile irons are more that of basic cast steels and ductile iron can often be

used as a cheaper alternative, whilst still offering acceptable service performance. Graphite also acts as a lubricant, improving wear resistance(1).

The wide range of properties mean that the various grades of ductile iron can be used in a variety of applications. Ductile iron castings have production and machining cost advantages over steel fabrications, forgings and castings within the limitations of the ductility and impact properties and have strength to weight advantages over grey iron castings where breakage is a problem (2).

Austempered ductile iron (ADI) is an austemper-treated ductile iron containing acicular ferrite and high-carbon austenite constituents in its microstructure (3). It is well known that the traditional surface treatment at high temperature is not available to treat ADI because of the austempering temperature in the range of Ms ~ 450 °C. This study utilized electroless nickel (EN) and cathodic arc deposition (CAD) technologies with lower processing temperature to treat ADI and then evaluated the availability of applying the EN and CAD-DLC duplex coatings on ADI. Characteristics of the resultant coatings such as roughness, hardness, and adhesion were analyzed and microstructures of ADI before and after surface treatment were observed. Also, polarization curve test was carried out for further understanding the effects of the coatings on the corrosion resistance of ADI. The results showed that microstructures of ADI did not deteriorate after EN and CAD surface treatments. Moreover, both the EN and CAD-DLC coatings were identified to be amorphous type and they could be well deposited on the ADI substrate. The surface of CAD-DLC-coated specimen was rougher than that of EN-coated specimen due to the globular particles deposited by CAD process. In the case of hardness, it showed that the duplex coated DLC/EN-ADI had the highest hardness (1312 $HV_{0.05}$), followed by DLC-ADI (1088 $HV_{0.05}$), EN-ADI (409 $HV_{0.05}$) and then uncoated ADI (396 $HV_{0.05}$). In the performance of corrosion resistance, all coated specimens were better than that of the uncoated one in 3.5 wt.% NaCl aqueous solution, and the sequence was DLC/EN-ADI > EN-ADI > DLC-ADI > ADI. Also, corrosion resistance of uncoated ADI was better than that of uncoated as-cast iron due to ADI's unique microstructure. It implied that the austempering treatment could improve the corrosion resistance of ductile iron in NaCl solution.

Austempered ductile iron (ADI) is an austemper-treated ductile iron with acicular ferrite and high-carbon austenite as the matrix of microstructure. In general, the austempering is isothermally treated about in the temperature range from M_s to 450 °C, thus the traditional case hardening of high temperature cannot be available to treat ADI. In recent years, physical vapor deposition (PVD) technique using lower processing temperature has been widely adopted to coat various films, such as diamond-like carbon (DLC), CrN, TiN and so on, on the engineering material for surface modification. In particular, DLC film possesses excellent mechanical properties such as high hardness and low friction coefficient. Electroless nickel (EN), another lower temperature coating process, has also a wide field of application such as the industrial components and

machine parts. Thus, the purpose of this study is to investigate the effect of EN and PVD–DLC surface coatings on mechanical behaviors of ADI, especially the tensile and fatigue properties. Analyses of the resulting films were also performed for correlating the mechanical properties attained to the coating characteristics (4).

The aim of this study is to investigate the microstructure, mcrohardness and wear resistance of the composite nickel coatings with nanosized strengthening particles of TiN, deposited on ductile cast iron samples.

2. MATERIAL AND INVESTIGATION METHODS

2.1. Material, composition and heat treatment of the coatings

The nanocomposite nickel coatings were obtained by electroless nickel plating method EFTTOM-NICKEL. This method was developed in Technical University – Sofia (5). Nanosized TiN powder (50 nm) is used as a strengthening material.

The composite coatings are deposited on alloyed with copper ductile cast iron samples. The samples composition is: Fe – 3,63C – 2,59Si - 0,30Mn – 0,010S - 0,034P-0,53Cu wt %. Cast iron samples are in casting condition with a ferrite, perlite and graphite structure (Figure 2(1)).

Table 1. *Samples' material, thermal processing, microhardness and coatings' thickness*

Sample number	Coating			
	Composition	Thermal processing	Microhardness HK0,02	Coating thickness δ, μm
1	Ni	-	466	10
2	Ni	290 ^{o} C, 6 h	950	10
3	Ni + TiN	-	604	8
4	Ni + TiN	290 ^{o} C, 6 h	1020	8

Two types of coatings are investigated: electroless nickel coating Ni and composite nickel coating with nanosized TiN (Ni + TiN) (Table1).

After plating procedure some samples are thermally processed at 290 ^{o}C, 6 hs for adhesion improvement of the coating and for microhardness increase (Table 1).

The microstructure of the padding and coatings, and coatings' thickness δ are investigated on optical metallographic microscope GX41 OLIMPUS.

The microhardness measurements are carried out by Knoop Method at 20g loading.

2.2. Device and method for wear resistance testing

The experiments on the wear resistance of nickel coatings are carrying out using a classic design "back-to-back" disc on a TABER ABRASER test machine 503, modified in accordance with the developed by the authors' method. The device design is shown on Figure 1.

The ring shaped sample 1 (solid) with a coating 2 is fixed on a horizontal disc 3, which is moved by an electric motor 4 with a constant angular speed ω. The antibody 5 is a disc from a special abrasive material CS10, mounted on a horizontal axis 6 in a device, which is set the desire normal load P in the contact surface K. In this way the body 1 and antibody 5 are fixed on two cross axes and upon the constant angular speed $\omega = const$ of the sample 1 and upon a constant nominal contact pressure $p_a = const$ through the friction in the contact surface K a constant rotation speed of the antibody 5 is kept.

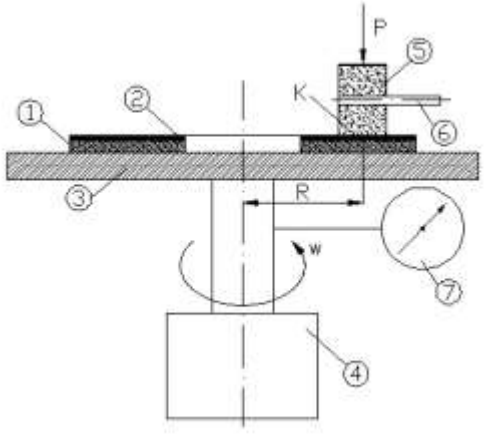


Figure. 1

The test method description:

1.All samples with the same ring shape and size, before the coating process are subjected to a mechanical treatment, namely grinding and polishing to ensure an equal surface roughness $Ra = 0{,}4\mu m$. This is a binding requirement for the reliability of the wear testing, because the electroless coatings "copy" the samples surface by the plating process and the coatings thickness is in the range of few microns.

2.When choosing the integral parameter "massive wear" the weight of the sample is weighed before and after a determinate number of the disc rotation by an analytical balance WPS 180/C/2 précised to 0,1 mg. The samples are treated with a special solution to neutralize the static electricity before the weighting.

3. Sample 1 is fixed on a horizontal disc 3 and by the lever system the desire normal load P is set. The friction road L is determined by the number of cycles N, accounted with a cyclometer 7.

Test basic parameters are:

- absolute massive wear m, $[mg]$- this is a coating lost weight in the process of the wear, estimated as a difference between the samples weight before and after the appointed number of friction cycles.
- speed of massive wear $\dot{m}$ $[mg/\min]$ - the lost weight of the coating for a minute.
- intensity of wear i - this is the lost coating thickness for one friction cycle. The result is a dimensionless number, which could be calculated by the formula having in mind the lost weight:

$$i = \frac{m}{\rho.A_a.L}, \ \frac{kg.m^3}{kg.m^2.m} \tag{1}$$

where:

ρ is the coating density (in our case this is Nickel density): $\rho = 7{,}8.10^3, [kg/m^3]$

$A_a = 26.10^{-6}, [m^2]$ is the nominal interaction contact surface:

L, $[m]$ is the friction road, estimated by the number of cycles N:

$$L = 2\pi.R.N \tag{2}$$

where R is the distance between the rotation axis of the bearing disc and the mass center of the contact place between the sample 1 and the contra body 5 (see Figure 1).

- absolute wear resistance I - this is a dimensionless number and it is determined as a reciprocal value of the wear intensity, namely

$$I = \frac{1}{i} = \frac{\rho.A_a.L}{m} \tag{3}$$

- *nominal contact pressure* $p_a, [N/cm^2]$ is the normal load, per a unit of a nominal contact interaction surface A_a, i.e.

$$p_a = \frac{P}{A_a} \tag{4}$$

- comparative index of wear resistance ε_{ie} what means the ratio between the wear resistance of the tested sample I_i and the wear resistance of a sample-standard I_e, i.e it is a dimensionless number, indicating how many times the wear resistance of the tested sample is higher compared to the sample-standard under the same contact interaction conditions:

$$\varepsilon = \frac{I_i}{I_e} \tag{5}$$

The parameters of the contact interaction are presented in Table 2.

Table 2: *Test parameters*

Nominal contact surface A_a, $[m^2]$	26.10^{-6}
Nominal contact pressure p_a, $[N/cm^2]$	47,15
Average speed of sliding V, $[cm/s]$	17,90

2.3. Experimental results and analysis

In Table 1 and in Figure 3 the results of the microhardness measurements HK 0, 02 of the tested coatings are presented.

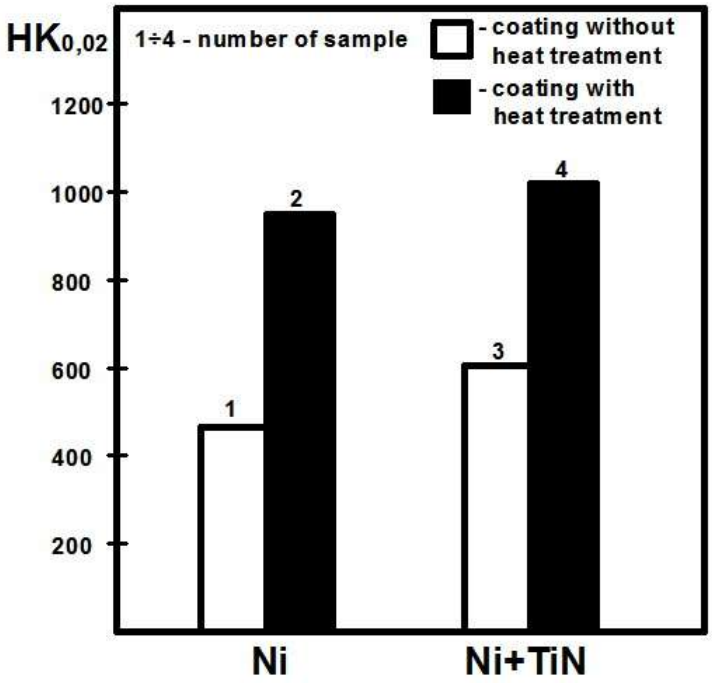
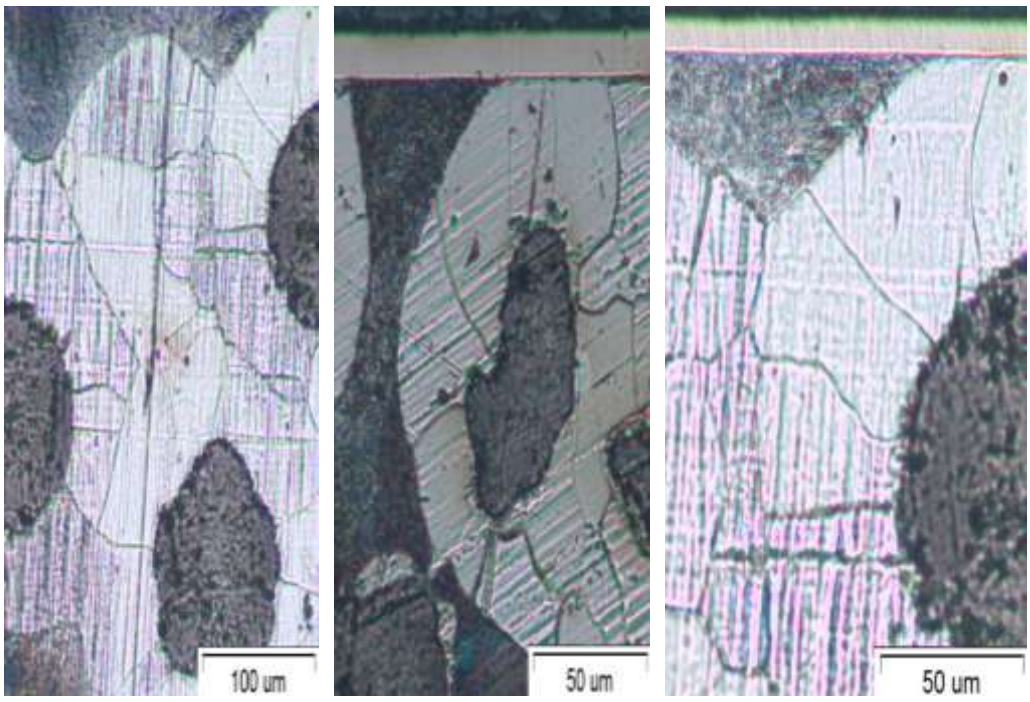


Figure 3. *Microhardness HK0,02 of coatings with composition (Ni, Ni + TiN), plated on ductile cast iron samples.*

The heat treatment of the coatings at 290 ^{o}C, 6 hs increases the microhardness of the coated samples twice. The thickness of the measured coatings is within 8 – 10 μm (table 1).

The microstructure of the coatings appears as white strips following the surface relief of the sample (Figure 2(2) and (3)). The microstructure of the padding from ductile cast iron consists of perlite, ferrite and graphite (Figure 2 (1).



Cast iron (1) Ni (2) Ni + TiN (3)

Figure 2. *Microstructure of samples from ductile cast iron without coating (1) and with Ni coating (2) and Ni + TiN (3) without heat treatment at 290^{o}C, 6 hs.*

Experimental results for the massive wear m of the different coatings during a different contact interaction time t are presented in Table 3.

Table 3. *Variation of the massive wear with the time*

№ of the sample	2,5 min	5 min	7,5 min	10 min	12,5 min	15 min
1	2,4	4,3	7,3	10,0	11,1	12,2
2	4,5	5,1	6,8	8,8	9,2	10,4
3	3,8	5,5	7,2	9,0	9,5	10,4
4	1,8	2,5	3.8	5,1	6,6	7,2

Drawings of the dependence of massive wear m of the samples on the time of a contact interaction t are shown in Figure 4.

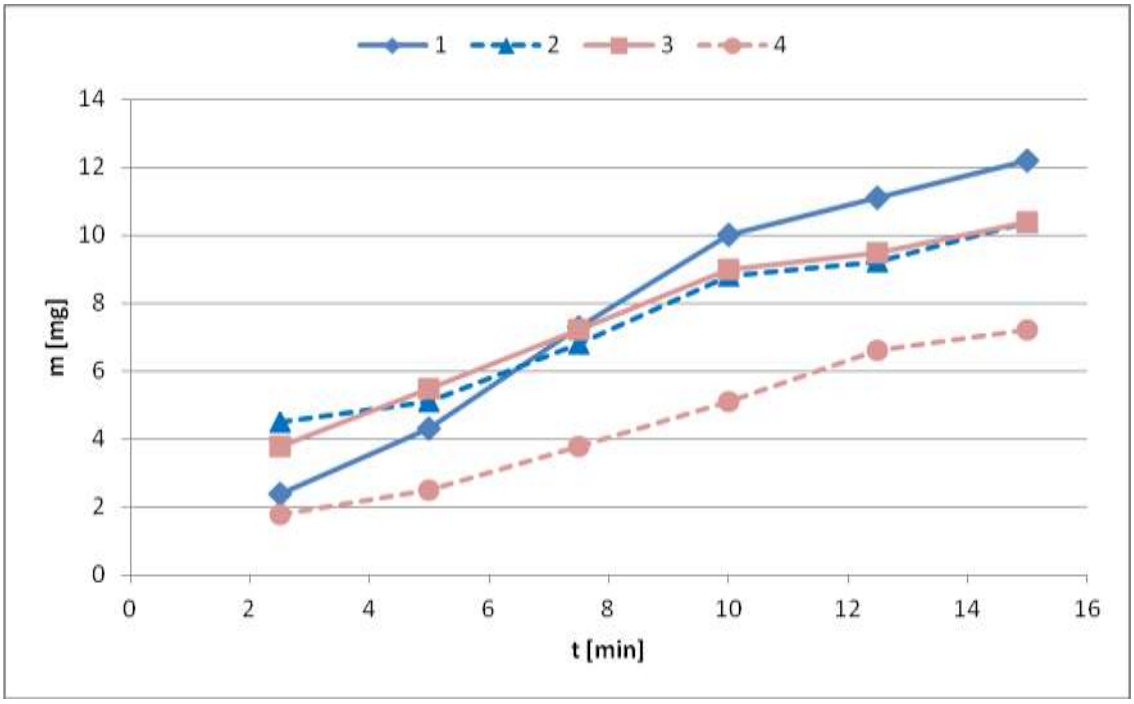


Figure 4. *Dependence of the massive wear m on the time of the contact interaction t (samples № 1÷4).*

Drawings of the dependence of the speed of massive wear $\dot{m}$ on the rotation road L in accordance with the experimental data in Table 4 are shown in Figure 5.

Table 4. *Variation of the speed of the massive wear $\dot{m}$ with the rotation road L*

№ of the sample	L=26,85 [m]	L=53,70 [m]	L=80,55 [m]	L=107,4 [m]	L=134,25 [m]	L=161,1 [m]
1	0,62	0,7	0,79	0,8	0,81	0,81
2	0,35	0,45	0,5	0,58	0,65	0,69
3	0,45	0,53	0,62	0,65	0,68	0,69
4	0,4	0,52	0,5	0,48	0,48	0,48

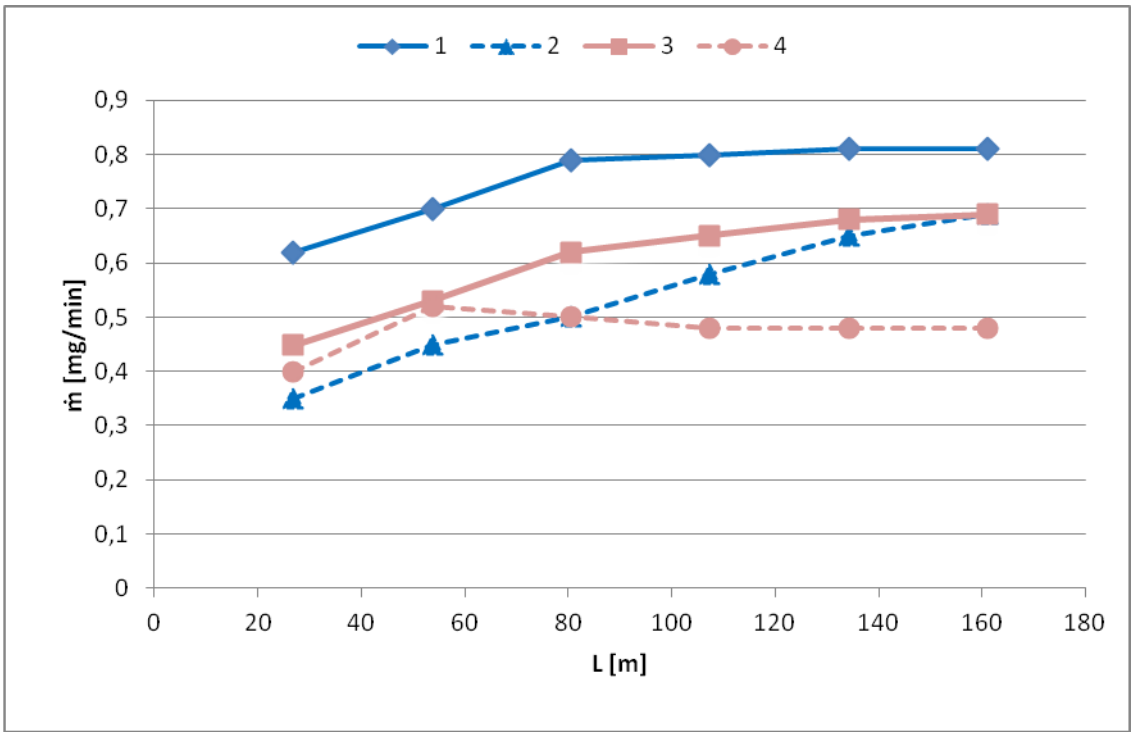


Figure 5. *Variation of the massive wear speed with a rotation road (samples № 1÷4)*

Experimental results for the massive wear m of the different coatings during a contact interaction $t = 15$ min ., the speed of the massive wear $\dot{m}$ and the value of the intensity of wear i as well as the absolute wear resistance I are presented in Table 5. The intensity of wear i and the absolute wear resistance I are calculated by the rotation road $L_i = 161{,}1\ [m]$ - formulas (1) and (3).

Table 5. *Intensity of wear i and absolute wear resistance I*

№ of the sample	m $[mg]$	$\dot{m}$ $[^{mg}/_{min}]$	Intensity of wear i	Absolute wear resistance I
1	12,2	0,81	$3{,}43.10^7$	$0{,}27.10^7$
2	10,4	0,69	$3{,}18.10^7$	$0{,}31.10^7$
3	10,4	0,69	$3{,}18.10^7$	$0{,}31.10^7$
4	7,2	0,48	$2{,}2.10^7$	$0{,}45.10^7$

Analysis of the wear resistance value (Figure 6) show: the sample with Ni coating with heat treatment at 290 °C, 6 h (sample № 2) as well as sample with coating Ni + TiN with heat treatment at 290 °C, 6 h (sample № 4) indicates higher wear resistance than this one of the same coatings but without heat treatment (samples № 1 и 3). The measured higher microhardness of the heat

treated coatings compared to this one of the coatings without a heat treatment (Figure 3) corresponds to the higher wear resistance (Figure 6).

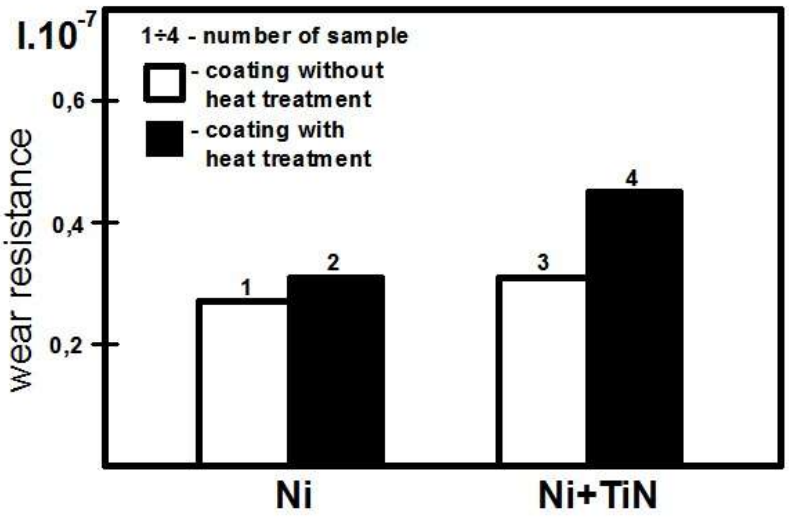


Figure 6. *Wear resistance of coatings with composition (Ni, Ni+TiN), plated on ductile cast iron samples*

CONCLUSIONS

1. On samples from ductile cast iron the electroless nickel coatings are plated: nickel Ni; nickel with nanosized titanium nitride (50 nm) - Ni + TiN. The thickness of the coatings is determined: 8 – 10 μm.
2. The microhardness of the coatings is measured. It is specified that the coatings have 2 times higher microhardness after a heat treatment at 290 ^{o}C, 6 h compared to the coatings without a heat treatment.
3. The method for a wear resistance testing is developed and tests for a wear resistance of nanostructured composite nickel coatings are proceeded according to a classic method "back-to-back" disc on a TABER ABRASER test machine 503.
4. The results for the dependence of the massive wear on the time and of the massive wear speed on the friction road are received; the intensity of wear and the wear resistance of samples with Ni and Ni+TiN coatings are determined. It is concluded that the wear resistance of tested coatings after heat treatment at 290 ^{o}C, 6 hs is 15-45% higher compared to this one of the samples without heat treatment, what corresponds to higher microhardness.

ACKNOWLEDGEMENT:

The presented investigations are carried out and financed under the Project "University Complex for research and development of innovations and knowledge transfer in the field of micro/nanotechnologies and materials, power effectiveness and virtual engineering", contract DUNK-01/3.

REFERENCES

[1] http://www.ductilecastiron.com/index.html, Durham Foundry (Sheffield) Ltd, Harleston Street, Sheffield, S4 7QB.

[2] http://thdick.co.uk/index.php/grades/ductile_iron, THDick&Co Ltd, Iron Founders

[3] "Characteristics of duplex surface coatings on austempered ductile iron substrates", Cheng-Hsun Hsu, Jung-Kai Lu, Rung-Jie Tsai, Surface and Coatings Technology, Volume 200, Issues 20-21, 22 May 2006, Pages 5725-5732

[4] "Effects of low-temperature coating process on mechanical behaviors of ADI", Cheng-Hsun Hsu, Jung-Kai Lu, Rung-Jie Tsai, Materials Science and Engineering: A, Volume 398, Issues 1-2, 25 May 2005, Pages 282-290,

[5] Gavrilov G., C. Nicolov. Electroless Nickel and Composite Coatings, Tehnika, Sofia, 1985.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ТЕРМОГРАФСКИ КОНТРОЛ НА ИЗНОСВАНЕТО НА ТВЪРДИ ПОКРИТИЯ

Анна Андонова

Технически Университет - София, ava@ecad.tu-sofia.bg

THERMOGRAPHIC INSPECTIONS OF HARD COATINGS WEAR OUT

Anna Andonova

Technical University - Sofia, ava@ecad.tu-sofia.bg

Absract: *An experimental study of thermographic inspection of hard coatings wear out by dry friction test was conducted. In this paper, results was reported to visualize and analyze thermal and dry friction behaviour of the surface near to the interface of steel test samples under heavy wear condition by means of the infrared thermography. The techniques development in the field of temperature measurements by the non-contact methods, which uses energy of heat radiation, suggests the possibility of application those methods to identification of temperatures field in the dry friction process.*

1. INTRODUCTION

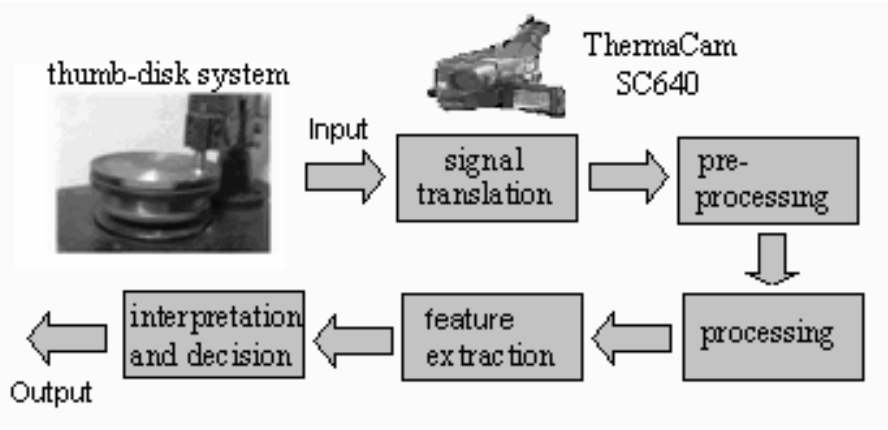
The main techniques used to evaluate the temperature during machining tool-chip thermocouple, embedded thermocouple and thermal radiation method are used. The tool-work thermocouple technique is easy to apply but only measures the mean temperature oven the entire contact area [1]. Standard thermocouples can be used to measure the temperature at a single point or at different location to establish the temperature distribution in the tool. Embedded thermocouples have been found to provide a good indication of the transient changes in frictional heat generation that accompany contact area changes. Other

temperature measurement techniques includes the metallographic examination of used inserts, a thermosensitive paint technique and a PVD (physical vapour deposition) film method which is used to temperature distribution in tools. All of these measurement techniques have various limitations and were deemed unsuitable for some experiments as dry friction.

The development of an infrared detection method came about because, in view of most tool materials such as ceramics used as well as new nanostructure coatings used, the significant brittleness and electrical resistance make it difficult to use contact-type sensors such as embedded of tool-work thermocouples for measuring temperature at the tool-work interface [2]. The use of infrared cameras to measure the temperature of a body is becoming increasingly popular for research in recent years [3]. The main advantage offered by an infrared camera is that it is a non-contact technique and therefore there is no disturbance of the temperature field.

This work presents a new technology for the inspection of hard coatings wear with infrared images. The thermometry with infrared is a non-intrusive method that allows positioning flexibility. On the other hand it is known that the accuracy of 1^{o}C with infrared sensor compared with the accuracy of 1,4^{o}C given by the thermocouples.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE



Fi**g.1:** *Experimental set up*

The apparatus consists of: system thumb-disk without mask (dry friction) over a disk, infrared camera and PC. The upper patterns have got cylindrical shape with a diameter of do = 14.3mm and height h=10mm. The tribological material of the used dry friction thumb and disk is steel CT-3 covered with two kinds of powder coatings by hot flame piled – the one with rigidness HEC-35 and the other with HRC-65, and by piled in layers electric arc (LEA), and surface tempered with high frequency current (THF). The load as the average nominal contact pressure, the disc spinning and the working time of this

tribosystem are regulated. The wearing out Δm of the five used patterns of the same material with different coatings at identical conditions of working was measured [4].

The remote-sensing infrared camera was placed to look on the friction process at a distance of 20 cm. The radiation temperature distribution was measured by means of the infrared radiometer using a Focal Plane Array (FPA) uncooled microbolometer with 640x 480 pixels which detected in the 7,5 to 13 μm wavelength band.

2. ESSENCE OF THE THERMOVISION MEASUREMENT

A thermovision task can be divided in four items: signal translation, pre-processing, feature extraction and feature interpretation as seen in figure 1.

In the signal translation, the sensor is responsible to transforming the infrared energy in electric signal and so a digitized scene can be loaded in a memory buffer. As an example of thermal sensor we have the infrared ThermaCam SC 640 camera. This step is very important, because the performance of any scene analysis program is intimately limited by the nature and quality of the input data.

Pre-processing improves the signal that comes from the sensor. It could be implemented by software or hardware. Pre-processing routines are filters applied to eliminate noises and to detect borders.

In the feature extraction step, it's extracted the object meaningful characteristics that best define an input model. Some are natural features defined by the visual appearance of an image, while another is called artificial because they result from specific image manipulation. Examples of artificial characteristics are the histogram width and the spatial frequency spectrum.

The feature interpretation tries to find in the database or in the knowledge bank, those characteristics that approach to the object extracted features. Then the system tries to understand the scene and to take a decision (to classify or to control a process).

The decision is rarely accomplished having a simple feature of the input model. Usually, several measures are necessary to be capable to distinguish appropriately objects that belong to different categories or classes. The vector of characteristics combines the measures used in a classifier and the number of elements of the vector (n) creates an n-dimensional space of characteristics.

The success of a thermovisual system depends on, besides a good acquisition of the input data, the right choice of the characteristics. Good characteristics give good functions allowing the discrimination among classes. There are three methods to extract good characteristics: statistical method, structural method and spectral method. The spectral method is based on the Fourier spectrum.

The software and hardware used to the proposed monitoring system, implement a dedicated solution. It specifies the necessary automation levels to execute the following requirements: to create a friendly user interface, to

calculate temperatures in the areas of interest for different materials, to facilitate image visualization, to show the isotherms, to calculate histograms, to extract characteristics and to trace statistical graphs.

The wavelength of infrared radiation changes with the increase of the object temperature. The total amount of infrared radiation emitted by an object increases in the reason of the fourth potency of the increase of the temperature and it can be calculated by Stefan-Boltzmann law. On the figure 2 the spectral emissivity of various materials is shown [5].

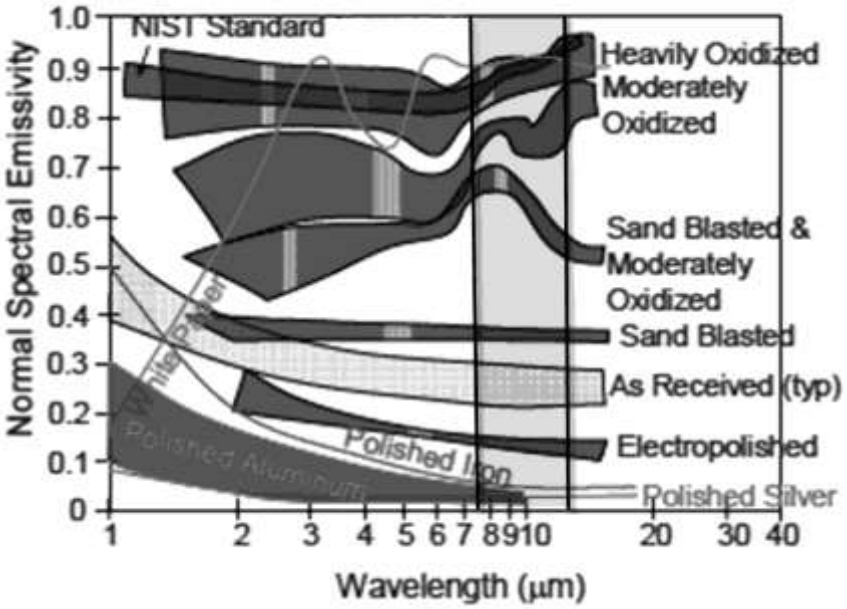


Fig. 2. *Spectral emissivity of various materials (NIST standard indicates Inconel®. The enclose vertical area marks the spectral range of the infrared camera)*

Generally, the radiation temperature (apparent temperature) Ta, measured by means of the infrared radiometer, is influenced by the radiation reflection from surrounding surfaces and does not coincide with the real temperature of the test piece. So it is necessary to calibrate the radiation temperature to the real temperature Ts. This calibration can be done in the environment of the used software Researcher. The radiation temperature Ta is smaller than the real temperature Ts in the case when Ts is larger than the environment temperature Tenvi. The emissivity ε of the steel material was measured at different temperatures before experiments commencement.

After a thermal image is acquired and converted to apparent temperatures Ta, the next step is to convert apparent to true temperatures. The radiance temperature is the temperature predicted by Planck's equation without taking reflections into account. By contrast, apparent temperature includes both light emitted by and reflected from the body being measured. The conversion of apparent to true temperature is the second category of uncertainty sources considered[6]. This category directly affects the amplitude uncertainty of the

temperature measurement. While uncertainties in emissivity generally dominate, other issues may be important as well. The three main issues are:

- Non-uniform surface textures.

On figure 3 are shown the visible and thermal spectrum image of a segmented piece with non-uniform surface texture heated to a known temperature. The relatively planar portion of each segment we call the face of the segment. The area between segments we call the gap. A piece often has some areas of side flow where metal has flowed toward the camera. The side flow is often out of focus due to the limited depth of field of the camera system. Emissivity $\varepsilon \sim 0.3$ for the segment faces while $\varepsilon \sim 0.5$ for the gap and side flow portions of the image. It is not uncommon for emissivity values to vary from 0.2 to 0.6 on a single segment face. With such large variation in emissivity, a large temperature uncertainty is difficult to avoid.

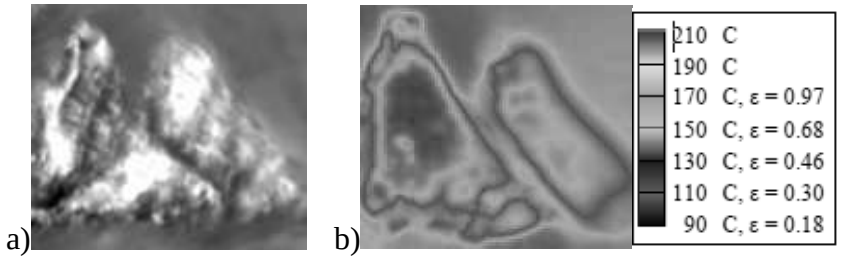


Fig.3. *A visible (6a) and thermal spectrum image of apparent temperatures with corresponding emissivity values (6b). The 172 °C segmented piece is about 0.6 mm thick (up and down in the image).*

Figure 4 shows a gap between segments during machining. It appears to be much hotter than the piece itself. The lowest apparent temperature detectable at these camera settings is 230 °C. Using an emissivity value of 0.3 (from Figure 3b), the hottest true temperature possible for the segment faces is about 345 °C. Using an emissivity value of 0.5 for the gap (also from Figure 3b), the true temperature of the gap is somewhere between 370 °C and 510 °C. If one had assumed an emissivity of 0.3 for the gap, a true temperature between 440 °C and 620 °C would have been computed instead. Thus, the gap is actually hotter than the face, but not by as much as one would have predicted if the non-uniform emissivity was not correctly accounted for.

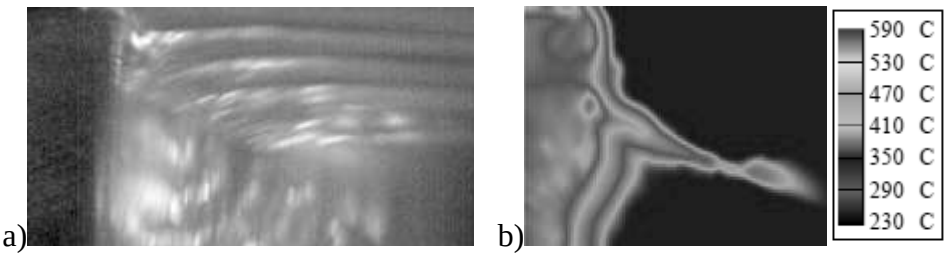


Fig. 2. *A synchronized high-speed visible (a) and medium-speed thermal (b) spectrum movie of chip formation. The thermal movie shows apparent temperature.*

The motion of the chip causes each pixel of the resulting images to be an average of many locations on the chip surface. It is then claimed that this yields an average temperature. However, while each pixel may represent an average intensity, it does not yield an average (arithmetic mean) temperature. This is because the equation converting intensity to temperature is highly non-linear.

- The form of the equation used to convert to true temperature.

There are multiple modifications of Planck's equation in the literature. Some take into account effects such as reflectivity, transmittance, atmospheric absorption, multiple reflections, changes in emissivity as a function of temperature, or whether to use a single wavelength or integrate over a range of wavelengths. Also, some are more numerically well-behaved (less susceptible to round-off errors) than others. The used formula is

$$S = \left| \left(\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{w_\lambda / \lambda^5}{\exp(c_2/\lambda T_a) - 1} d\lambda \right) - \left(\varepsilon \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{w_\lambda / \lambda^5}{\exp(c_2/\lambda T_s) - 1} d\lambda \right) - \left((1-\varepsilon) \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \frac{w_\lambda / \lambda^5}{\exp(c_2/\lambda T_{envi})} d\lambda \right) \right|$$

Dry friction of metals is still not completely understood because of the highly non-linear nature of the process and the complex coupling between deformation and temperature fields.

- Oxide layer changes.

The oxidation is a reaction that takes time to occur and is sometimes exothermic (produces heat). It should be noted that oxidation is not always exothermic. It may also be either endothermic (receives heat from the surroundings) or temperature neutral.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

For temperature measuring by infrared radiation it's necessary to consider parameters as the object emissivity, the distance of the object to the infrared camera, the relative humidity, the atmospheric temperature, as well as the characteristics of the object surface. The infrared camera captures the images showing the sample material making warm. Such images are digitized in gray tones (or other appropriate palette) equivalent to the same sample material making warm time.

On the figure 5 a thermogram of wear out of the CT-3 with HRC-65 sample is shown. The working time of this tribosystem is t = 1 min, that being the case of friction road is 53.128 m. The temperature at the bottom part of the cylindrical sample is 29^{o}C. On the fig.5 can be also seen the histogram of the area in marked rectangle. Because of the large mass of the base disk the temperature is uniform spread between 22^{o}C and 23^{o}C. for T_{envi}=22^{o}C. On the lower left angle

of the figure5 can be seen the positions of the marked spots, line and rectangular area.

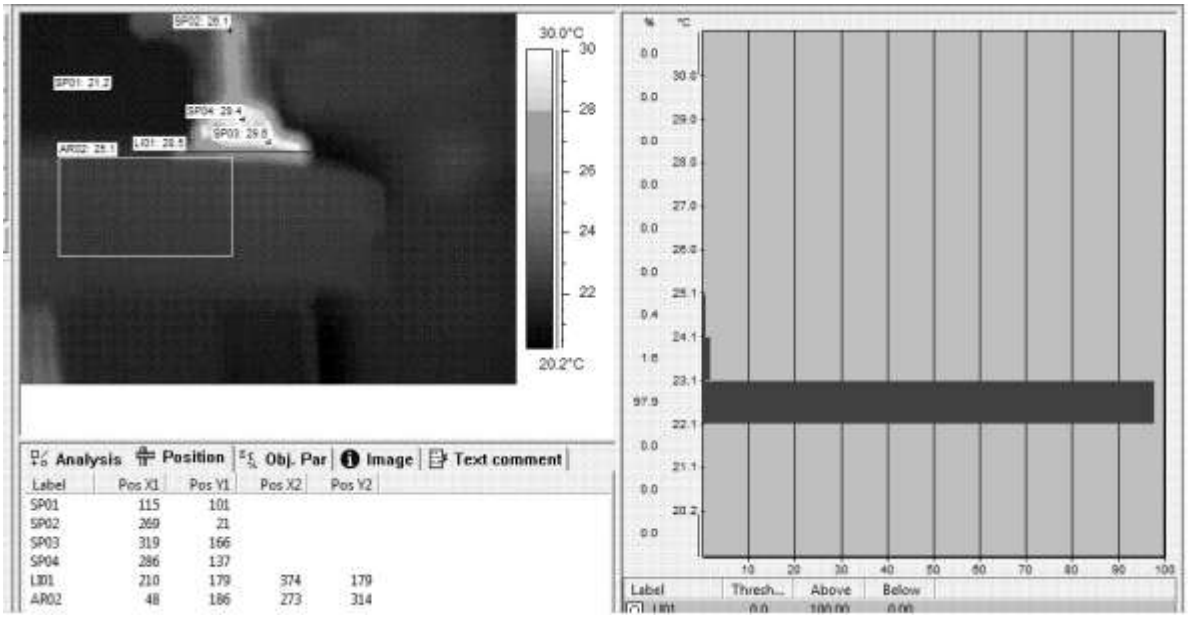


Fig. 5. *Thermogram and some results for CT-3 with HRC-65 test sample after 1 min.*

On the figure 6 is shown other view of the spreadsheet of the same sample. The working time of this tribosystem is t = 5 min, that being the case of friction road is 265.64 m. The temperature distribution on marked line shows temperature of 26^{o}C near the contact area. The temperature at the bottom part of the cylindrical tested sample is 47^{o}C.

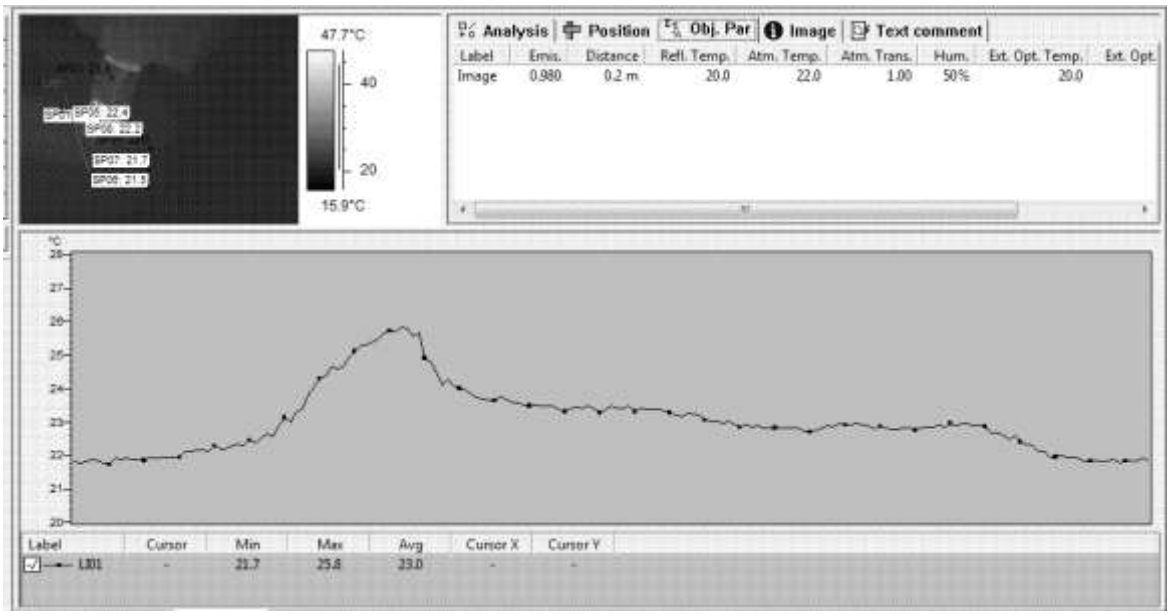


Fig. 6. *Thermogram and results for CT-3 with HRC-65 test sample after 5 min.*

By using close-up lenses the boundary area between the two contacted bodies of the tribological system is studied. On the fig.7 a thermogram of this area for the same sample is shown. The working time of this tribosystem is t = 3 min. Temperature distribution in horizontal and vertical directions is shown for marked three lines. The temperature gradient between the two contacted bodies is 2,16^{o}C. The thermogram shows the central part of the contact between the tested sample and base disk.

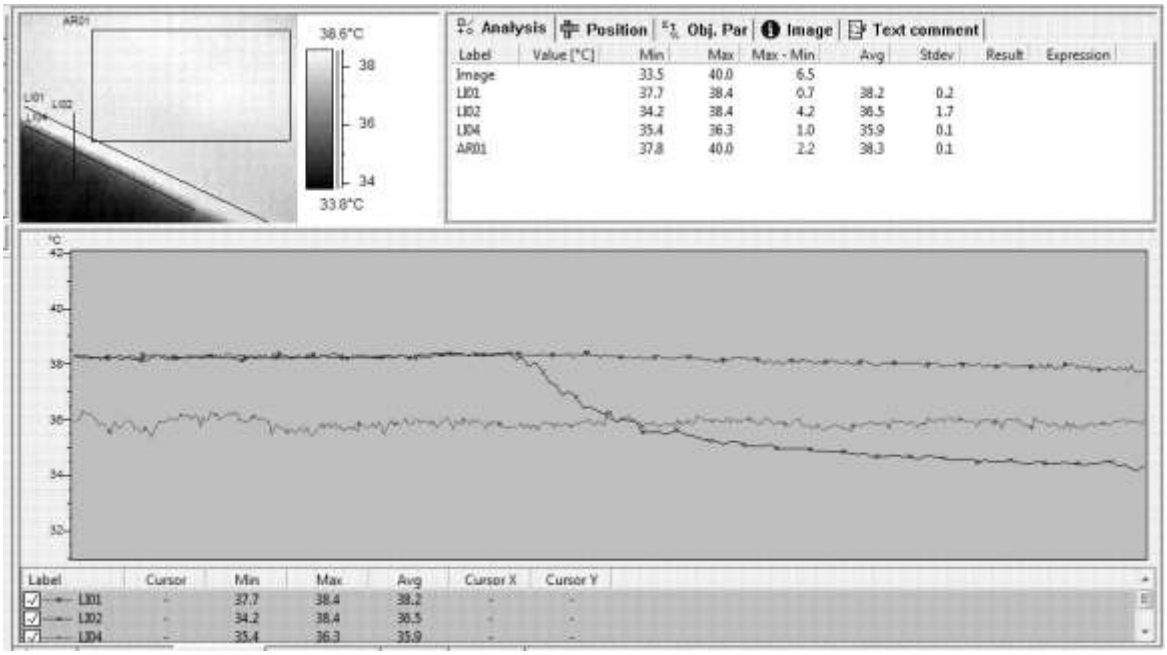


Fig. 7. *Spreadshhet with thermogram, object parameters and the temperature distribution*

A relation between the surface temperature on the boundary surface area and the calculated wearing resistance is found. The relation and regression equation are going to present in next work.

4. CONCLUSIONS

It is well known that the friction force at the interface produces heat generation and temperature rise. The excess heat generation of the dry friction interface under heavy wear condition increases the temperature and the friction force. The temperature of the friction interface under heavy wear condition (flashing temperature spot) becomes larger than that of the normal friction condition and causes the temperature to rise.

Those phenomena play an important role in the life evaluation of tribological components, such as wear. In order to analyze the dry friction interface, the point temperature near the surface has been generally measured by thermocouples.

The temperature distribution of the hot contact and near contact surfaces of the rotating interface under heavy wear condition was measured using infrared thermographic technique. In this paper, an experimental study was reported to visualize and analyze thermal and dry friction behaviour by using an experimental system thumb-disk without mask of the interface of steel materials.

Acknowledgment

This work was supported by National Ministry of Science and Education of Bulgaria under Contract DDVU 02/4-7

REFERENCES

[1] Dorr J., 'In-situ' temperature measurement to determine the machining potential of different tool coatings, *Surface and Coatings Technology*, 2003, pp. 389–392.

[2] Krzysztof L., J. Kosmol, Temperature identification of drilling process using thermovision methods, *14th International Research/Expert Conference TMT 2010*, Mediterranean Cruise, 11-18 September 2010, pp. 25-28

[3] Maldague, X. P., Theory and Practice of Infrared Vision, John Wiley&Sons Inc, 2010.

[4] Andonova A., M. Kandeva, Comparatively Infrared Thermography Investigation ff hard coating in condition of dry friction, *Proceedings of the 6th International Conference on Tribology*, BALKANTRIB 2008, 12-14 June, Sozopol, Bulgaria, 2008, pp. 231-233.

[5] O'Sullivan, D., Cotterell, M., 2002, Workpiece temperature measurement in machining, *Journal of Engineering Manufacture*, 216/1, pp.135-139.

[6] Zhou, H., Liu, S., Lai, R., Wang, D., Cheng, Y., Solution for the Nonuniformity Correction of Infrared Focal Plane Arrays, *Applied Optics*, Vol. 44, No. 15, pp. 2928-2932, May 20, 2005.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕТАЛНИ СЛОЕВЕ, НАНЕСЕНИ ВЪРХУ КРИСТАЛЕН ПОЛИСТИРОЛ

Част първа
ПОЛУЧАВАНЕ НА МЕТАЛНИТЕ СЛОЕВЕ

Полина МИЛУШЕВА

Университет „Проф. д-р Асен Златаров" гр. Бургас, България
pmilusheva@abv.bg

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF METAL LAYERS CAUSED ON THE CRYSTAL POLYSTYRENE

Part One
GET METAL LAYERS

Polina Milucheva
University "Prof. Dr. Zlatarov "Burgas, Bulgaria

Abstract: *A base layer of the polymeric material – crystal polystyrene 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 results of the tests that have been carried out are graphically represented and conclusions are made.*

Keywords: Ti, Fe-Cr-Ni, crystal polystyrene, microhardness, cathode sputtering, thin layers.

УВОД

Пластмасите и металите са най-често използвани в днешно време материали. На тях не трябва да се гледа като на конкурентни материали. Твърдението, че пластмасите ще изместят металите, не се оказа истина. В съвременното производство на детайли и изделия, все по-често се използва комбинация от тези два материала.

Заменяйки металните изделия с изделия от метализирана пластмаса, се постига рационално използване на металите, употребяването им в такова количество и само там, където са необходими техните метални свойства. Удължава се експлоатационният живот на полимерните материали. Металният слой, нанесен върху полимерен материал, защитава същият от УВ-лъчението, топлинните потоци, намалява проницаемостта на влага и кислород. Тези свойства на металните покрития предпазват полимерните материали от бързо стареене. Използването на метализация разширява с повече от 300 хиляди асортимента пластмасови изделия, позволява тяхното целенасочено използване. [1,2]

ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Целта и задачите, поставени в настоящата разработка са получаване на покрития от *Ti* и *Fe-Cr-Ni (Стомана Х18Н9Т)* върху *Полистирол Бустрен кристален марка БС 190,* чрез магнетронно-йонно разпрашване и изследване механичните характеристики на същите.

ПОЛУЧАВАНЕ НА МЕТАЛНИТЕ ПОКРИТИЯ

За материали за металните покрития са избрани *Стомана Х18Н9Т* и *Титан*. [1,4,5]

Титанът е лек, як, блестящ, устойчив на корозия, устойчив към морска вода и хлор, преходен метал с бял сребрист метален цвят. Металът има ниска плътност, добра здравина, лесно се произвежда и има отлична корозионна устойчивост. Непрекъснатият стремеж към по-добра ефективност, включващ работа при по-високи температури, налягания и скорости, заедно с необходимостта в някои приложения за пълна надежност на съоръженията е причината за нарастващата употреба на титана в много сфери на индустрията и осигуряването му за бъдещето.

Стомана Х18Н9Т е високо легирана неръждаема топлоустойчива конструкционна стомана. Съдържанието на хром определя устойчивостта ѝ към корозия, а добавеният никел позволява полиране до огледален блясък, подобрява корозоустойчивостта при високи температури и придава здравина.

Механични свойства на материалите Х18Н9Т и Ti

Марка материал	***Якост на опън***	***Граница на провлачване***	***Относително удължение***	***Твърдост HRC***
	MPa	**MPa**	**%**	
Стомана Х18Н9Т	490	206	40	55
Титан Ti	434	183	45	51

Като материал за подложка е избран *Полистирол Бустрен кристален марка БС 190***.** Той представлява хомополимер на стирола с нормална течливост и средна топлоустойчивост. Произвежда се във вид на неоцветени, прозрачни и плътни гранули и се използва за производство на детски играчки и на изделия за обща употреба в бита. Лесно се обработва механично. Като недостатък може да се посочи малката повърхностна якост. [2,3]

Спецификация на Полистирол Бустрен кристален марка БС 190

№	***Показатели***	***ПС 190 кр***	***Методи за изпитване***
1	Якост на удар по Изод с нарез, *J/m,* не по-малко от	15	ASTM D 256
2	Съдържание на летливи, *wt %,* не повече от	0,3	БДС 12603, т. 5.8
3	Съдържание на влага, *wt %,* не повече от	0,2	БДС 12603, т. 5.8
4	Топлоустойчивост по Вика, °С, не по-малко от	90	ASTM D 1525
5	Индекс на стопилка при 200 °С, натоварване 5 kg, g*/10 min*	4 - 7	ASTM D 1238

За да бъдат получени подложките, от насипния гранулат се изготвят образци с размери 30 х 40 mm, чрез затапяне в преса. Условията за пресоване на гранулите са:

- температура на затапяне – *190 ^{o}C;*
- време на затапяне – *5 min;*
- налягане при подгряване – *12 Mpa;*
- продължителност на подгряване при налягане – *1 min;*
- охлаждане със скорост – *30 ^{o}C/min*

Чрез магнетронно йонно разпрашване във вакуум се получават еднослойни метални покрития от *Ti* и *Стомана Х18Н9Т*. Използва се многофункционална вакуумна инсталация ВУП-5 към ИЕ на БАН. [8,9,10]

За да се получи покритие с определени експлоатационни характеристики е необходимо подложките предварително да бъдат добре почистени.

Почистването на полимерните подложки в конкретният случай се извършва в следната последователност:

- с цел да се получи определена грапавост на повърхнината, върху която ще се нанася покритието и успоредност между двете челни повърхнини,

полимерните образци са обработени с шкурки с шкурки Р600 до Р1500, в резултат на което е достигната грапавост *Ra 0,2 – 0,4 μm*.

- химично почистване, което включва почистване на повърхнината с повърхностно активно вещество, измиване с топла вода ~55ºС и изплакване с дестилирана вода.

- подложките се поставят във вакуум-камерата, в която ще се нанася металния слой, където се изсушават до достигане на постоянна маса.

За да се създадат активни окисни центрове е необходимо преди нанасяне на покритието полимерните образци да се обработят с кислород. Окисният слой се получава при следните показатели: налягане – p_{O2} = *6 Pa;* напрежение на разряда – *U = 390 V;* ток на разряда – *I = 0,8 A и* времетраене на процеса – *t = 4 min.*

Непосредствено след приключване процеса на почистване се преминава към нанасяне на покритието.

Отчитайки конкретните особености на лабораторното оборудване и след серия от експерименти, са установени следните технологични параметри на режима на нанасяне:

№	*Параметри на процеса на нанасяне на слоя*	*Означение*	*Стомана Х18Н9Т*	*Ti*
1	Работно налягане	*p, Pa*	0,07	0,09
2	Напрежение на разряда	*Up, V*	500	450
3	Ток на разряда	*Ip, A*	0,8	0,8
4	Разстояние мишена-подложка	*h, mm*	160	160
5	Време на нанасяне	*tp, min*	40	40

ИЗВОДИ

От направените експерименти могат да се направят следните изводи:

- получени са покрития от *Fe-Cr-Ni сплав Стомана Х18Н9Т* и *Ti* върху кристален полистирол по метода на вакуумно магнетронно разпрашване;
- установени са технологични параметри на режима на нанасяне на металните слоеве;
- предварителната обработка с кислород, води до създаване на полярни кислородосъдържащи функционални групи на повърхността на подложката, осигуряващи по-добро сцепление;
- времето за нанасяне на покритията е съобразено с термичната устойчивост на полимерите; не се допуска загряване до температури по–високи от 80°С, поради настъпващи деструктивни промени, а при още по-високи температури и топене;
- получените покрития са равномерни и с дебелина, позволяваща измерване на микротвърдост;
- резултатите от изследваните механични характеристики на металните слоеве са показани в част II на настоящата разработка.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Костов К., Мечикян Т. Е., Недев Т. Б. и др., Избор на материали и якостно оразмеряване в машиностроенето, Техника, София, 1988.

[2]http://agl.groupbg.com/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=27&lang=bg

[3] Продуктов каталог на Лукойл България.

[4] http://bg.wikipedia.org/wiki

[5]http://www.sv.vt.edu/classes/MSE2094_NoteBook/96ClassProj/examples/nicrfe.html

[6] Липин Ю. В., Рогачев А. В., Харитонов В. В., Вакуумная металлизация полимерных материалов, Химия, Л., 1987.

[7] Липин Ю. В., Меерсон С. Л., Мякишева Л. С. и др., Металлизация полимерных пленок в вакууме, Обзор, Рига, ЛатНИИНТИ, 1974.

[8] Липин Ю.В., Меерсон С. Л., Мякишева Л. С. и др., Подготовка поверхности полимерных пленок перед вакуумной металлизацией, Обзор, Рига, ЛатНИИНТИ, 1980.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕТАЛНИ СЛОЕВЕ, НАНЕСЕНИ ВЪРХУ КРИСТАЛЕН ПОЛИСТИРОЛ

Част втора
ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕТАЛНИТЕ СЛОЕВЕ

Полина МИЛУШЕВА
Университет „Проф. д-р Асен Златаров” гр. Бургас, България
pmilusheva@abv.bg

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF METAL LAYERS CAUSED ON THE CRYSTAL POLYSTYRENE

Part Two
INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE METAL LAYERS

Polina Milucheva
University "Prof. Dr. Zlatarov "Burgas, Bulgaria

Abstract: *A base layer of the polymeric material – crystal polystyrene 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 results of the tests that have been carried out are graphically represented and conclusions are made.*

Keywords: Ti, Fe-Cr-Ni, crystal polystyrene, microhardness, cathode sputtering, thin layers.

УВОД

Пластмасите и металите са най-често използвани в днешно време материали. На тях не трябва да се гледа като на конкурентни материали. Твърдението, че пластмасите ще изместят металите, не се оказа истина. В съвременното производство на детайли и изделия, все по-често се използва комбинация от тези два материала.

Заменяйки металните изделия с изделия от метализирана пластмаса, се постига рационално използване на металите, употребяването им в такова количество и само там, където са необходими техните метални свойства. Удължава се експлоатационният живот на полимерните материали. Металният слой, нанесен върху полимерен материал, защитава същият от УВ-лъчението, топлинните потоци, намалява проницаемостта на влага и кислород. Тези свойства на металните покрития предпазват полимерните материали от бързо стареене. Използването на метализация разширява с повече от 300 хиляди асортимента пластмасови изделия, позволява тяхното целенасочено използване. [1,4]

ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МЕТАЛНИТЕ СЛОЕВЕ

Твърдостта на тънките слоеве се определя чрез измерване на микротвърдост, с помощта на нанотестери със или без компютърно увеличение. Тъй като получените покрития са с малка дебелина $\approx 2{,}5\ \mu m$, изследването на механичните им характеристики се свежда до измерване на тяхната микротвърдост. [6,7,8]

За целта се използва нанотестер с компютърно управление FISHERSCOPE® H100 (Германия). [2,5]

Настоящото измерване на микротвърдост е по метода на Викерс.



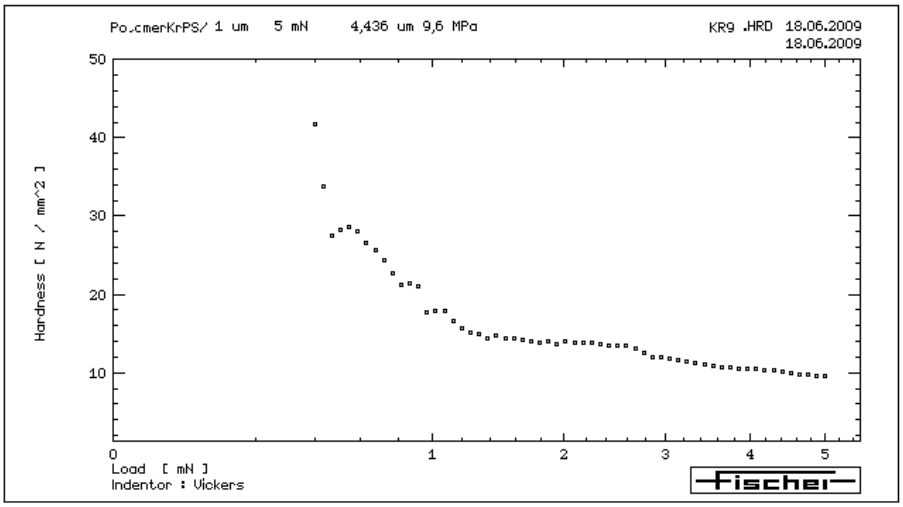
Нанотестера осигурява максимална чувствителност и позволява измерване при натоварване от 0,4 до 1000 mN. Индентор е диамантена пирамида, а натоварването е 5 mN, поради факта, че подложката е полимерна. Измерванията са извършени в различни точки от повърхността, при следния режим:

Начин на работа:	Натоварване в точка
Индентор:	Викерс
Режим на работа:	Натоварване, с последващо разтоварване
Натоварваща сила:	Нарастваща от 0,4 mN до 5 mN
Брой стъпки за един цикъл:	60 стъпки през 0,766 mN
Задържане между две стъпки:	1 s
Общо време на натоварване:	60 s
Време на задържане преди старта:	2 s

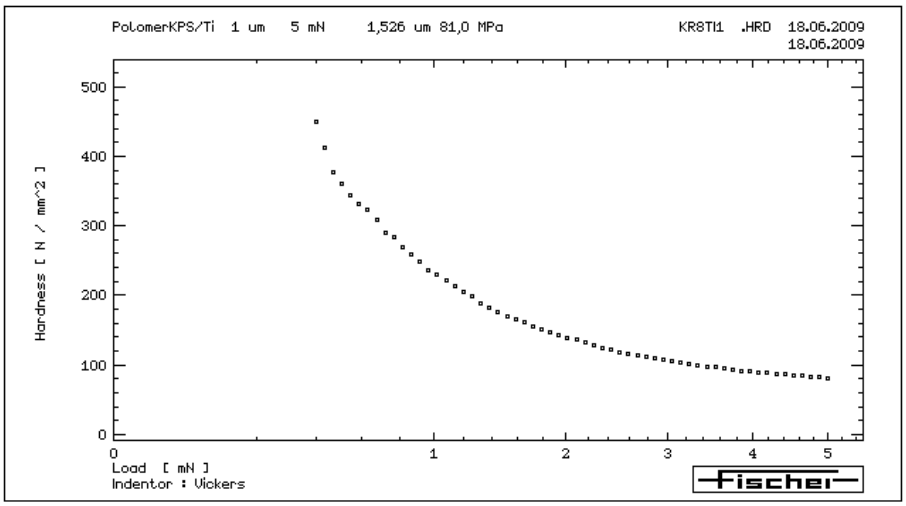
Измерени са твърдостта на образеца от страната без покритие и твърдостта от страна с покритие. Отчетени са средните стойности от извършените измервания. Освен твърдостта *HV* при измерването се отчитат стойностите на модула на еластичност E^*, *GPa* пълната енергия W_t, *nJ* и енергията на пластична деформация W_r, *%*. Резултатите, посочени в таблицата са отчетени за две проби с покритие от *Стомана Х18Н9Т* и за две от *Ti*.

Обект на измерване	**№**	**Твърдост *HV***	**Дълбочина на проникване на индентора *h, μm***	**Модул на еластичност E^*, *GPa***	**Пълна енергия W_t, *nJ***	**Енергия на пластична деформация W_r, *%***
Без покритие	1	9,6	4,436	0,210	9,150	50,820
Покритие от *Х18Н9Т*	1	159,0	1,090	2,940	2,120	55,930
	2	146,0	1,138	2,680	2,060	56,600
	ср.ст.	152,5	1,114	2,810	2,090	56,270
Покритие от *Ti*	1	81,0	1,526	2,970	3,400	80,260
	2	190,0	0,998	4,700	2,030	65,510
	ср.ст.	135,5	2,524	3,835	2,715	72,885

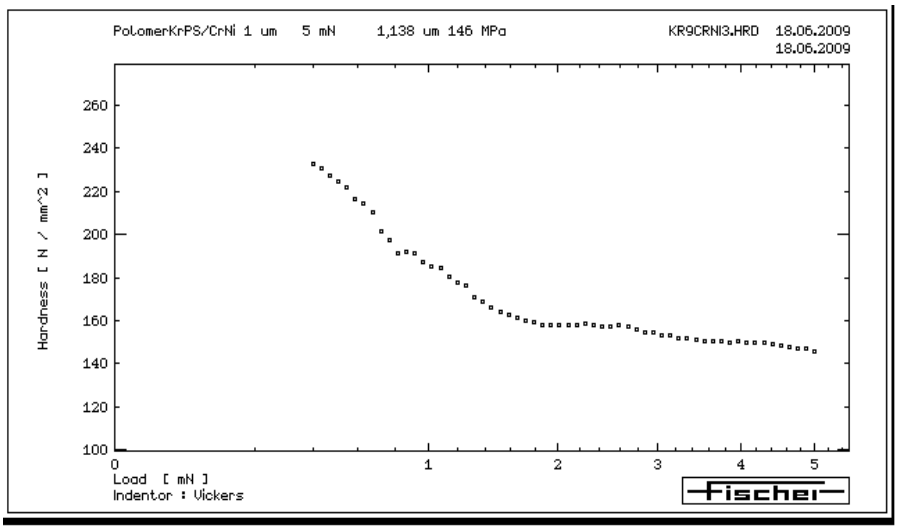
Графични зависимости на микротвърдостта *HV* от натоварването, получени за една проба с покритие от *Стомана Х18Н9Т* и една от *Ti,* както и за страна без покритие



Зависимост на микротвърдостта HV от натоварването за страна без покритие

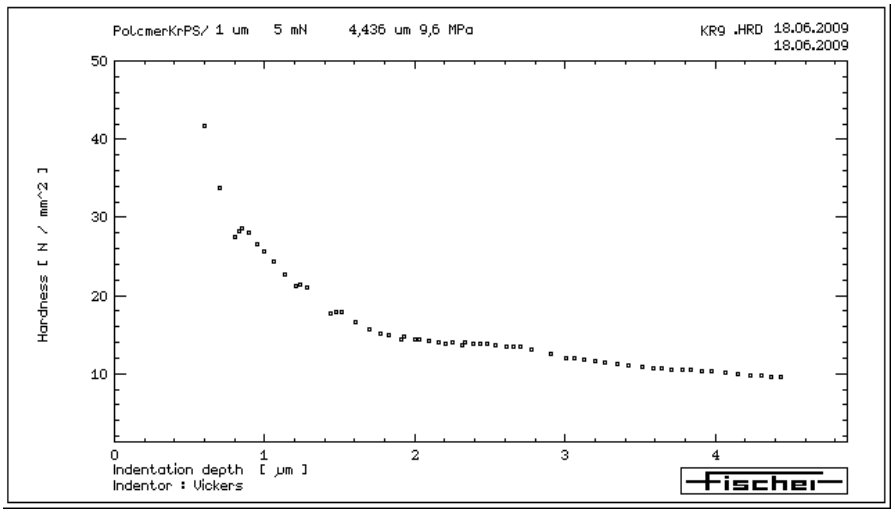


Зависимост на микротвърдостта HV от натоварването за покритие от Ti

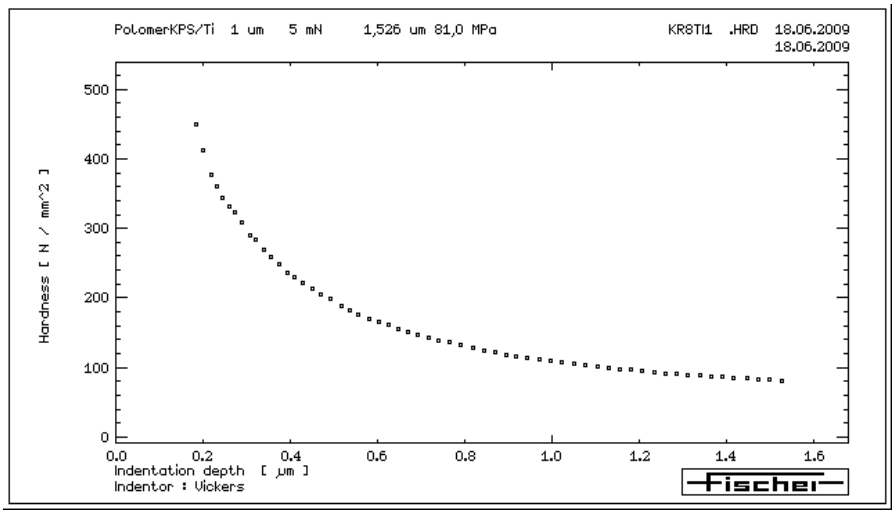


Зависимост на микротвърдостта HV от натоварването за покритие от Х18Н9Т

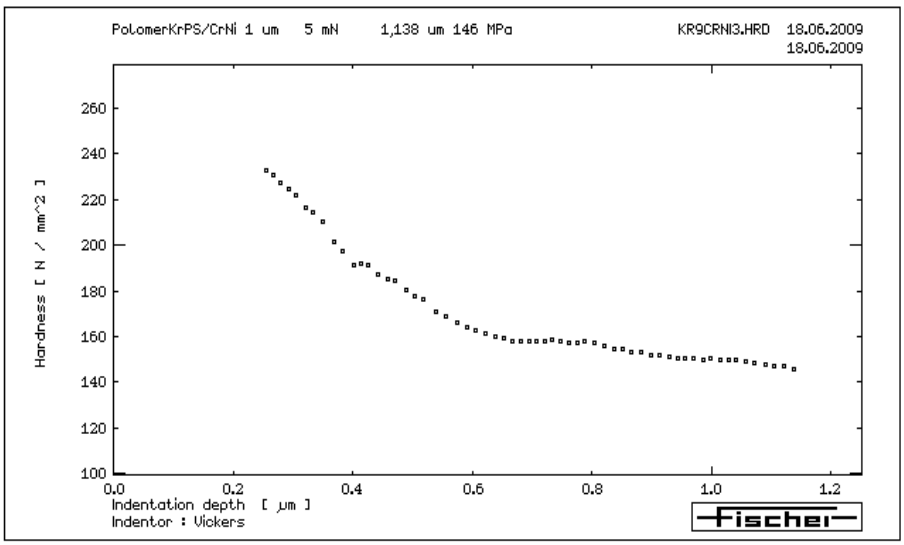
Графични зависимости на микротвърдостта *HV* от дълбочината на проникване на индентора, получени за една проба с покритие от *Стомана X18H9T* и една от *Ti,* както и за страна без покритие



Зависимост на микротвърдостта HV от дълбочината на проникване на индентора за страна без покритие

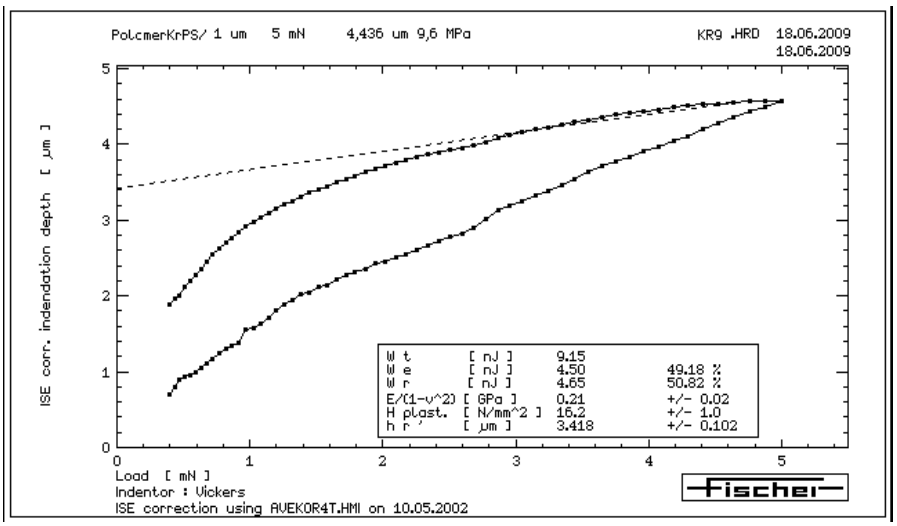


Зависимост на микротвърдостта HV от дълбочината на проникване на индентора за покритие от Ti

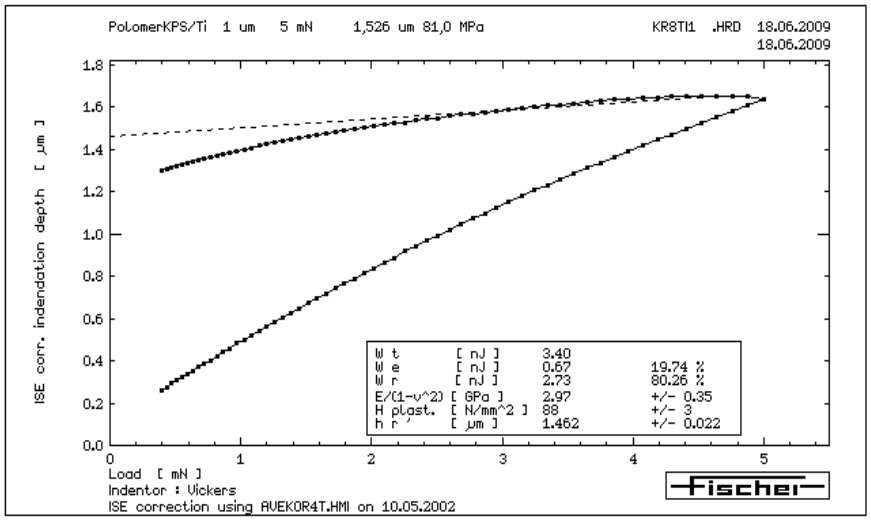


Зависимост на микротвърдостта HV от дълбочината на проникване на индентора за покритие от X18H9T

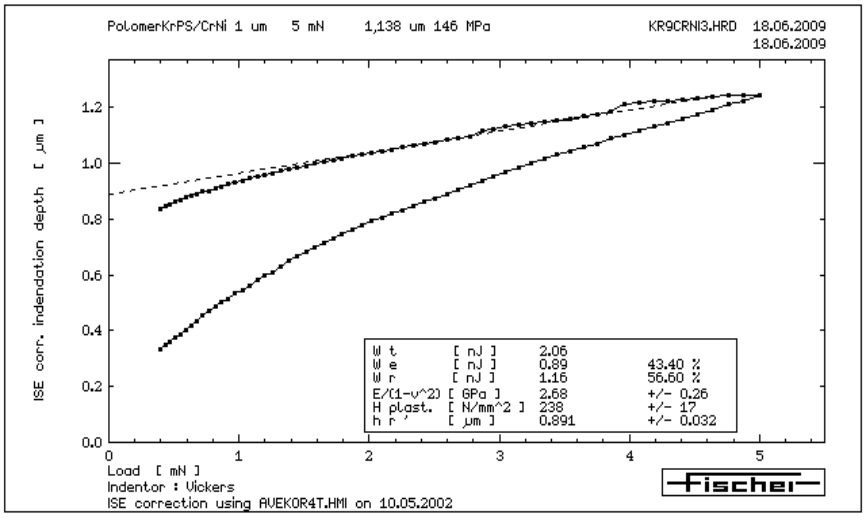
Графичните зависимости на изменението на пълната енергия и енергията на пластична деформация, получени за една проба с покритие от *Стомана X18H9T* и една от *Ti,* както и за страна без покритие



Пълна енергия и енергия на пластична деформация за страна без покритие



Пълна енергия и енергия на пластична деформация за покритие от Ti



Пълна енергия и енергия на пластична деформация за покритие от X18H9T

ИЗВОДИ

От направените изследвания на микротвърдостта могат да се направят следните изводи:

- технологичните режими за получаване на покритията от *Стомана X18H9T* и *Ti,* са обект на разглеждане в част I на настоящата разработка;
- измерването на микротвърдостта е извършено с помощта на ултра-ниско натоварвана динамична система за микро отстъп, позволяваща бързо и лесно автоматизирано тестване на микротвърдост и други физични свойства, без влияние на субективния фактор;
- за точно и коректно измерване, индентора на микротвърдомера трябва да попада в централната зона на зърната, а не в междузърнестите пространства; това е известно затруднение, породени от същността и структурата на полимера;
- измерените стойности на микротвърдост за системата покритие-подложка, от страна с покритие, надвишават значително стойностите на твърдостта на полимера;
- автоматизираното изпитване на твърдост, позволява и измерване на механичните свойства – еластичност, пластичност и модул на еластичност.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Костов К., Мечикян Т. Е., Недев Т. Б. и др., Избор на материали и якостно оразмеряване в машиностроенето, Техника, София, 1988.

[2] http://www.nanotec-jp.com/www_nanotec/english/nanotec.html

[3]http://www.sv.vt.edu/classes/MSE2094_NoteBook/96ClassProj/examples/nicrfe.html

[4] http://bg.wikipedia.org/wiki/

[5] http://www.rileysurfaceworld.co.uk/machines/22645.htm

[6] Ангелов, И., Петров М., Теория на инженерния експеримент, ТУ-Габрово, 2002.

[7] Липин Ю. В., Рогачев А. В., Харитонов В. В., Вакуумная металлизация полимерных материалов, Химия, Л., 1987.

[8] Липин Ю. В., Меерсон С. Л., Мякишева Л. С. и др., Металлизация полимерных пленок в вакууме, Обзор, Рига, ЛатНИИНТИ, 1974.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТ НА МОДИФИЦИРАНИ С НАНОМОДИФИКАТОРИ ЧУГУН GG25 И СТОМАНА GX120MN12

***П. Кузманов*[1], *В. Манолов*[1], *М. Кандева*[2]**

[1]*Институт по металознание, съоражения и технологии"Акад. А. Балевски" и аеродинамичен център България,*
p.kuzmanov@ims.bas.bg, v.manolov@ims.bas.bg
Технически университет-София, Център по трибология, България,
kandeva@tu-sofia.bg

WEAR RESISTANCE OF MODIFIED WITH NANO-MODIFIERS GG25 CAST IRON AND GX120MN12 STEEL

***P. Kuzmanov*[1], *V. Manolov*[1], *M. Kandeva*[2]**

[1] *Institute of metal science, equipment and technologies "Akad. A. Balevski" with hydroaerodynamics centre, Bulgaria*

Technical university-Sofia, Centre of Tribologyq Bulgaria

Abstract: *The cast iron and steel must have a good set of properties. This means that along with high strength they must have sufficient ductility, toughness, wear resistance and others. This set of properties is achieved through different methods: modification, alloying with different chemical elements, purification from harmful impurities, suitable heat treatment, etc. The capabilities of these methods are not unlimited and through them, the corresponding property can be improved to some extent, but often for the account of another. The methods of refining the crystals of microstructure are the single ones, which consistently increase the complex of properties on which they influence. A new method for modification by using the exogenous nano-sized modifiers is offered. These are nano-particles of refractory compounds, usually carbides, nitrides, carbonitrides, whose surface is covered with elements that can provoke the heterogenization of the melt.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Чугуните и стоманите трябва да имат добър комплекс от свойства. Това означава, че наред с висока якост трябва да притежават задоволителна пластичност, жилавост, износоустойчивост и др. Този комплекс от свойства се постига чрез различни методи: модифициране, легиране с различни химически елементи, очистване от вредни примеси, подходяща термична обработка и т.н. Възможностите на споменатите методи не са неограничени и чрез тях съответното свойство може да се подобри до определена степен, но и за сметка на друго. Методите за издребняването на кристалитите от микроструктурата са единствените, които неотклонно повишават комплекса от свойства, върху който влияят.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

Предлага се нов метод за модифициране с помощта на екзогенни модификатори с наноразмери. Това са наночастици на труднотопими съединения, обикновено карбиди, нитриди, карбонитриди (*TiCN, TiN, TiC* и др.), чиято повърхност се покрива с елементи, способни да хетерогенизират стопилката (Y_2O_3, *Cr, Fe* и др.). Количеството на тези модификатори е десети от процента, а размерът на наночастиците е 0.01 - 0.05 μm. Наночастиците се получават чрез плазменохимичен метод [1, 2,3].

В резултат на модифицирането се получава микро- и макроструктура, която осигурява високи якостни, пластични и експлоатационни свойства на кристализиралата отливка в това число и на износоустойчивостта й.

В настоящата статия са представени резултати от лабораторни изследвания за влиянието на добавки от частици от титанов карбонитрид върху износоустойчивостта на модифициран сив чугун тип *GG25* и титанов нитрид върху износоустойчивостта на стомана *GX120Mn12 ((DIN 1.3816).* Най-висока износоустойчивост има чугун с 0.025 тегл.% *TiCN*. Износоустойчивостта му е с 100% по-добра от чугун без *TiCN*.

Отляти образци от стомана *GX120Mn12*, модифицирани с 0.025 тег. % чист *TiN* имат по-висока износоустойчивост с 50 до 80% от тази на немодифицираните.

2. 1. Експериментални процедури

Получаване на отливките.

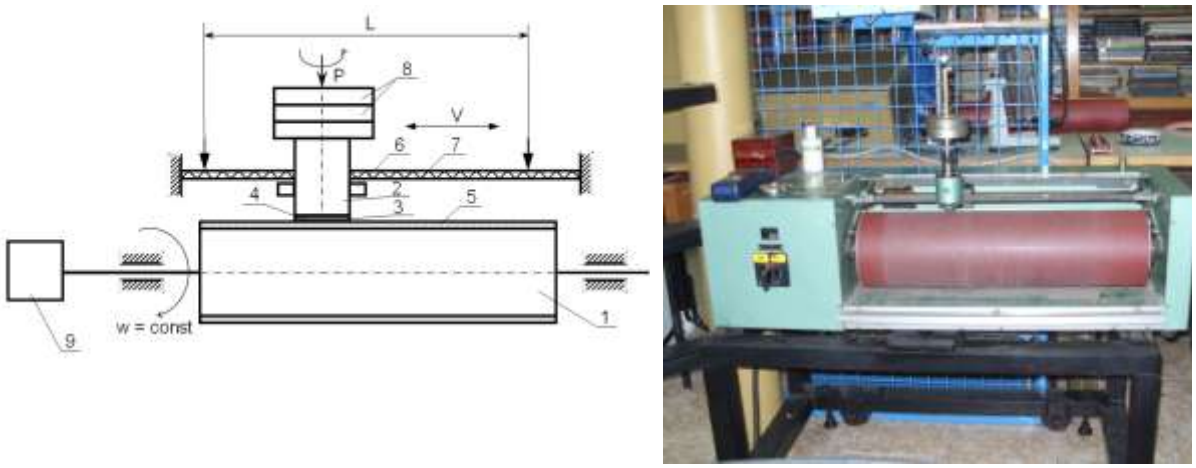
Образците от наномодифицирани стомана и чугун са получени на лабораторна индукционна пещ *Laybold Heraeus*, с капацитет до 10 *kg*. Тази инсталация е уникална, защото в зависимост от нуждите на експеримента, може да работи при атмосферно налягане, в условията на вакум 0.02 *MPa*. или под налягане до 5 *MPa*. Инсталацията дава възможност да бъде изследвано влиянието на наномодификаторите при минимален разход на ресурси (метал, феросплави, електроенергия и др.). Разработени са два

типа отливки с еднаква конфигурация, различаващи се по тегло. Формата на отливките е подбрана така, че да имитира топлинен възел, при който условията за кристализация са най-неблагоприятни. От отливките се получават пробни тела за микроструктурен анализ, механични свойства и износоустойчивост. Теглото на отливките е избрано така, че от една стопилка да се получават от две до четири отливки. Това дава възможност в една стопилка да се внасят различни количества модификатор. Експериментирани са няколко метода за внасяне на наночастиците, като най-ефективен се оказа този, при който те се въвеждат в стопилката на дъното на тигела с приспособление изработено от стоманена тръба.

2.2. Методика и устройство за изследване на износоустойчивост.

Изследвана е износоустойчивостта на стомана *GX120Mn12*, която се използва основно за получаване на износоустойчиви отливки, и модифициран сив чугун тип *GG25*.

Изследването се осъществява с помощта на унифицирано устройство, чиято схема е показана на фиг. 1.



Фиг. 1 *Унифицирано устройство за изследване на износоустойчивост.*

Образецът 2, който се изследва на износоустойчивост, има цилиндрична форма с диаметър 15 *mm* и височина 30 *mm*. Образците от стомана *GX120Mn12* са термообработени, чрез високотемпературна закалка при температура от *1050* C^0 *– 1080* C^0 в охлаждаща среда вода. Образците от чугун тип *GG25* са изследвани на износоустойчивост в лято състояние.

Методиката на изследване се състои в следното: вертикалният цилиндричен образец 2, контактува чрез активния си повърхностен слой 4 с абразивната повърхнина 5 на противотялото 1, което представлява цилиндричен барабан. Оста на барабана се нивелира. Образецът 2 се закрепва към натоварваща глава 6 посредством еластична връзка, която позволява самонагаждане на образеца 2 спрямо повърхнината 5 на барабана 1 и възможността му да се върти около собствената си

вертикална ос. Тези обстоятелства гарантират условия за износване на цялата номинална контактна площ на образеца. Захващащото приспособление 6 включва и хоризонтален пръстен, който чрез външната си повърхнина се зацепва в неподвижната рейка 7, успоредна на образователната на барабана 1. Това обстоятелство осигурява релативна транслация на образеца по образувателната на барабана 1. Централното нормално натоварване се осигурява чрез избор на тежестите 8.

Твърдозакрепеният абразив се моделира с импрегниран корунд модел *Smirdex 330 Duroflex, P 80, 117 S V*, закрепен неподвижно по цилиндричната повърхнина на барабана 1. Барабанът извършва ротация с постоянна ъглова скорост $\omega = const$. Релативното движение на образеца 2 представлява равнинно движение: номиналната контактна площадка 4 извършва транслация по образователната на барабана и едновременно ротира около вертикална ос, минаваща през нейния център. Точките от контактната зона имат различни по големина и посока скорости в даден момент от времето, тъй като релативното движение на активната повърхнина на образеца е равнинно. В процеса на контактно взаимодействие при релативното движение отделните точки периодично променят положението си спрямо абразивната среда на барабана. Това обстоятелство определя равномерно разпределение на износването на всички точки в активната повърхнина 4 на образеца. Триенето и износването се осъществяват винаги по свежа абразивна повърхнина на барабана, вследствие на това, че барабана ротира. Отношението между ъгловите скорости на барабана и на образеца е постоянно.

Челната активна повърхнина на образците се обработва предварително чрез шлифоване с шкурки с различна едрина на зърната и накрая се полира с диамантена паста. По този начин се осигуряват еднакви начални условия на изследваните повърхнини.

Почистването на абразивната повърхнина 5 от финитe продукти на износване в процеса на изследване се извършва с подходяща четка, монтирана към натоварващата глава 6, след което допълнително повърхнината се засмуква с въздух.

Износоустойчивостта се пресмята като реципрочна стойност на интензивността на масовото износване i, която изразена чрез загубата на маса Δm при износване, се пресмята по формулата:

$$i = \frac{\Delta m}{\rho.S.L}, \qquad (1)$$

където: Δm е загубата на маса при контактното взаимодействие при определен път на триене L; ρ е плътността повърхностния слой на образеца. Интензивността на масовото износване (i) е бездименсионно число и представлява изменението на височината на образеца за единица път на триене.

От формулата (1) за износоустойчивостта I следва:

$$I = \frac{1}{i} = \frac{\rho.S.L}{\Delta m} \qquad (2)$$

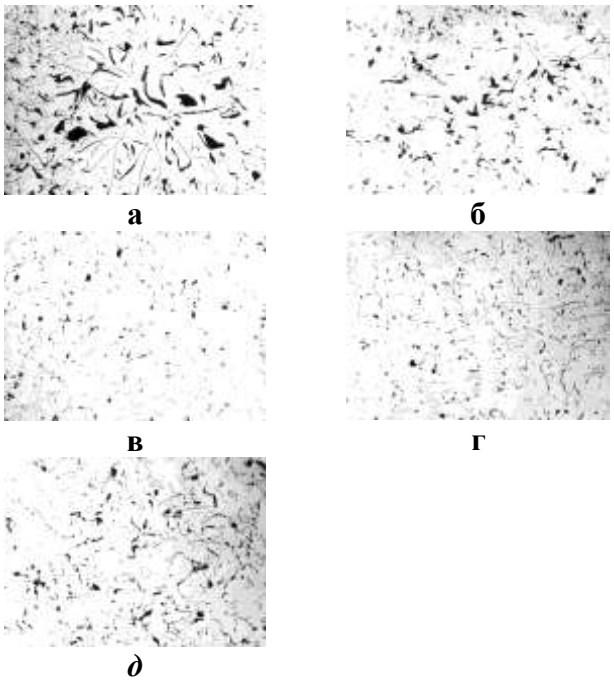
Износоустойчивостта на изпитваните образци се пресмята по (2), като на основата на проведеното експериментално изследване по първите две точки се установяват условията на контактно взаимодействие, при които се определя износоустойчивостта, а именно – условия на стационарен режим на износване, при които се определя загубата на маса Δm при: номинално контактно налягане - P=6,01 *[N/cm^2]*, път на триене $L = 94{,}2\ [m]$, плътност $\rho = 7{,}72.10^3\ [kg/m^3]$

Сравнителните изпитания на износоустойчивост са проведени по експериментална методика и устройство в съответствие с изискванията и условията на стандарт БДС 14289-77 „Метод за изпитване на абразивно износване при триене върху закрепени абразивни частици", който е хармонизиран по ISO.

2.3. Експериментални резултати.

2.1 Изследване на влиянието на нано частици от TiCN върху свойствата на модифциран сив чугун GG25.

Отляти са осем стопилки от чугун, от които две без наночастици, а в останалите количеството им се изменя от 0.015 до 0.040% тег.% чист *TiCN* (таблица 1).



Фиг2. *Графитни пластини в модифициран сив чугун, тип GG25, x100, както следва:* ***а*** *и* ***б)*** *без TiCN,* ***в)*** *с 0.015 тег.% TiCN,* ***г)*** *с 0.025 тег.% TiCN и* ***д)*** *с 0.040 тег.% TiCN.*

Металографските изследвания показват неоспоримо, че образците от стопилките с 0.015% и 0.025 тег.% *TiCN* имат по-фини и равномерно разпределени графитни пластини (фиг. 2. в и г) в сравнение с тези без *TiCN* (фиг. 2. а и б).

Таблица 1. *Данни за обработването на модифициран сив чугун GG25 с наночастици от TiCN в лабораторна индукционна пещ в т.ч.: химически състав, количество и тип на наночастиците.*

№	Означение на стопилката	Химически състав, тегл.%			чист TiCN, wt.%	Тегло и състояние на отливката, kg	Тип на TiCN
		C	Si	Mn			
1	**620**	3.30 3.08	2.22	0.59	Без TiCN	2.0	-
2	**621**	3.52 3.14	1.97	0.59	0.015% TiCN	2.0	TiCN+ Y_2O_3+Cr+Fe
3	**622**	3.32 3.10	2.01	0.67	0.025% TiCN	2.0	TiCN+ Y_2O_3+Cr+Fe
4	**623**	3.49 3.30	2.02	0.56	0.04% TiCN	2.0	TiCN+ Y_2O_3+Cr+Fe
5	**624**	3.33 3.32	1.99	0.55	Без TiCN	2.0	TiCN+ Y_2O_3+Cr+Fe
6	**625**	3.26 3.18	2.18	0.51	0.015% TiCN и 0.4% SL-6Ba	2.0	TiCN+ Y_2O_3+Cr+Fe
7	**626**	3.43 3.20	2.14	0.54	0.015% TiCN	2.0	TiCN+ Y_2O_3+Cr+Fe
8	**627**	3.55 3.26	1.90	0.53	0.025% TiCN	2.0	TiCN+ Y_2O_3+Cr+Fe

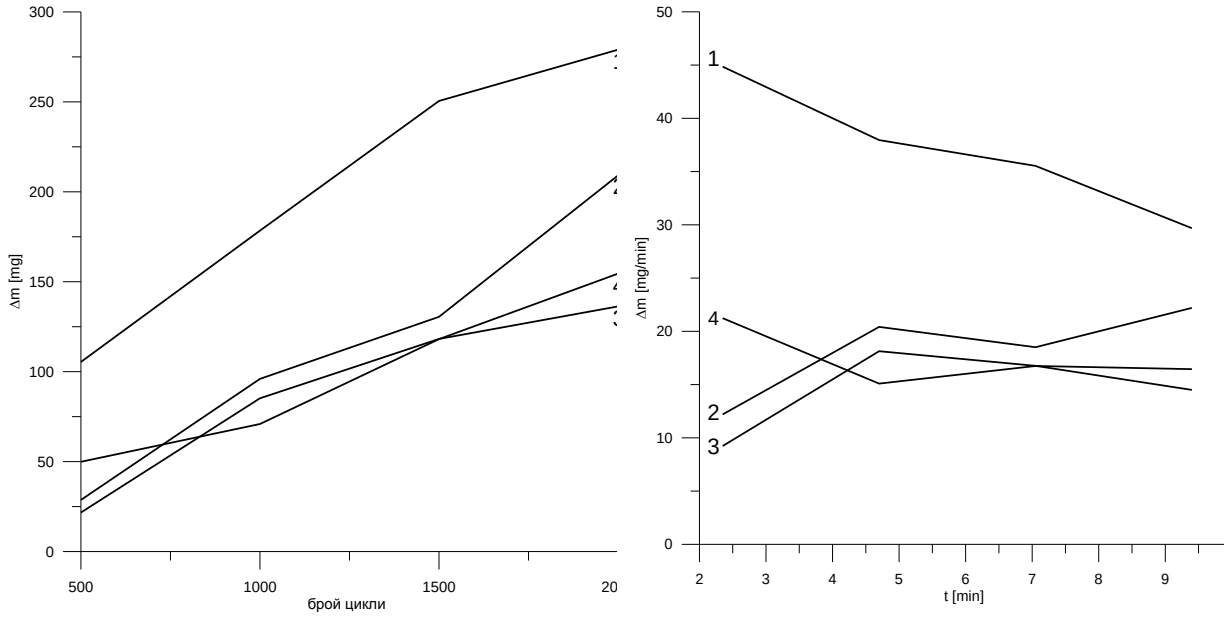
Определена е износоустойчивостта на плавки 620, 621, 622, и 623 в съответствие с описаната методика. Установени са стойностите на износването Δm в милиграми в зависимост от броя цикли. Броят цикли се изменя от 500 до 2000. Установена е и динамиката на износване в милиграми на минута *(mg/min)* в зависимост от времето. Стойностите на тези резултати са представени в таблици 2 и 3 и в графично изображение на фигура 3.

Таблица 2. *Масово износване на чугун GG25 в зависимост от броя цикли.*

№	Плавка №	Брой цикли N			
		500	**1000**	**1500**	**2000**
		Масово износване Δm, mg			
1	**620**	105.4	178.4	250.5	279
2	**621**	28.7	96.0	130.5	209.1
3	**623**	21.7	85.2	118.2	136.3
4	**624**	49.9	70.9	118.1	154.5

Таблица 3. *Динамика на износването на чугун GG25 в зависимост от времето t.*

№	Плавка №	Време t в min.			
		2.35	**4.7**	**7.05**	**9.4**
		Динамика на износване, mg/min.			
1	**620**	44.85	37.96	35.53	29.68
2	**621**	12.2	20.42	18.51	22.2
3	**623**	9.23	18.13	16.76	14.5
4	**624**	21.23	15.09	16.75	16.45



Фиг.3: *Износоустойчивост на сив чугун GG25 (Δm) в зависимост от броя цикли N (ляво). Динамика на износването mg/min в зависимост от времето t (дясно).*

Износоустойчивостта (I) е изчислена като реципрочна стойност на интензивността на износване-формула (2). Получените стойности показват, че образците с *TiCN* имат износоустойчивост с 20 до 100% по - висока от тази на образци без *TiCN* (таблица 4).

Таблица 4. *Интензивност на масовото износване* (I)

№	Плавка№	Интензивност на масовото износване, ІО.	Подобрение на масовото износване в %
1	**620**	$0.5 .10^{6}$	-
2	**621**	$0.6 .10^{6}$	20
3	**622**	$1.0.10^{6}$	100
4	**623**	$0.8 .10^{6}$	60

Най-добра износоустойчивост има чугун с 0.025 тегл.% *TiCN*. Износоустойчивостта му е с 100% по-висока оттази на чугун без *TiCN*.

2.3.2. Изследване на влиянието на наночастици от *TiN* върху свойствата на стомана *GX120Mn12*.

Отляти са четири стопилки от стомана *GX120Mn12*, от които една без наночастици, а в останалите количеството им е 0.025 тег.% чист TiN (таблица 5). Химическият състав е C=1.1-1.3%, Mn=11.5-13.5%, Si до 0.5%, P до 0.06%.

Таблица 5. *Изследвани образци от стомана GX120Mn12* .

№	Плавка№	Концентрация на чистия нано-модификатор, тег. %	Микротвърдост HV [kg/mm^2]
1	**629**	0	300,4
2	**630**	0,025% TiN	312,2
3	**631**	0,025% TiN	284,6
4	**632**	0,025% TiN	273,1

На фигура 4 е представена макроструктурата на образци от стомана *GX120Mn12*. Ясно се вижда издребняването на кристалите в наномодифицираните образци. Най-силно издребняване се наблюдава при образец от стопилка 632.

Определена е износоустойчивоста на плавки 629, 630, 631, и 632 в съответствие с описаната методика. Установени са стойностите на износванетно Δm в милиграми в зависимост от броя цикли. Броят цикли се изменя от 500 до 2000. Установена е и динамиката на износване в милиграми на минута *(mg/min)* в зависимост от времето. Измерванията са направени при две стойности на контактното налягане, съответно $p=3.33\ N/cm^2$ и $p= 6.01\ N/cm^2$. Стойностите на тези зависимости са представени в таблици 6, 7, 8 и 9 и в графично изображение на фигури 5, 6, 7 и 8.



629-без модификатор



630-с 0.025% чист модификатор TiN



631 с 0.025% чист модификатор TiN



632-с 0.025% чист модификатор TiN

фиг. 4: *Макроструктура на образци от стомана GX120Mn12.*

Получените резултати за износоустойчивостта показват, че образците с *TiN* имат износоустойчивост с 50 до 80% по - висока от тази на образци без Ti N(таблица 10).

Таблица 6. *Зависимост на масовото износване* Δm *от броя цикли* N *при номинално контактно налягане* $p = 3{,}33[N/cm^2]$.

№		N_1=500 цикли	N_2=1000 цикли	N_3=1500 цикли	N_4=2000 цикли
1.	**629**	Δm_1=34,7 mg	Δm_2=48,5 mg	Δm_3=73,1 mg	Δm_4=93,0 mg
2.	**630**	Δm_1=12,8 mg	Δm_2=19,9 mg	Δm_3=31,3 mg	Δm_4=43,6 mg
3.	**631**	Δm_1=27,9 mg	Δm_2=49,1 mg	Δm_3=57,8 mg	Δm_4=69,4 mg
4.	**632**	Δm_1=17,8 mg	Δm_2=29,4 mg	Δm_3=39,8 mg	Δm_4=48,0 mg

Таблица 7. *Зависимост на масовото износване Δm от броя цикли N при номинално контактно налягане $p=6.01\ [N/cm^2]$.*

№		N_1=500 цикли	N_2=1000 цикли	N_3=1500 цикли	N_4=2000 цикли
1.	**629**	Δm_1=32,5 mg	Δm_2=57,8 mg	Δm_3=86,9 mg	Δm_4=103,9 mg
2.	**630**	Δm_1=21,9 mg	Δm_2=40,2 mg	Δm_3=50,6 mg	Δm_4=67,4 mg
3.	**631**	Δm_1=19,5 mg	Δm_2=46,1 mg	Δm_3=88,2 mg	Δm_4=108,2 mg
4.	**632**	Δm_1=18,3 mg	Δm_2=32,1 mg	Δm_3=47,2 mg	Δm_4=57,0 mg

Таблица 8. *Скорост на износването $\Delta\dot{m}$ [mg/min] на стомана тип GX120Mn12 Г13 в зависимост от времето t при номинално контактно налягане $p=3.33\ [N/cm^2]$*

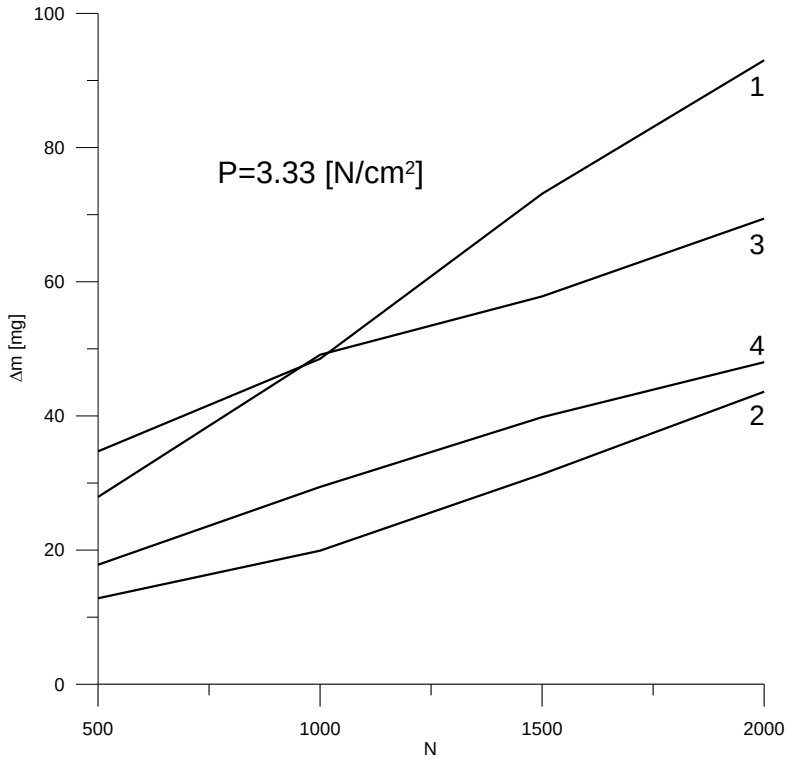
№		t_1=2,35 min	t_2=4,7 min	t_3= 7 min	t_4=9,4 min
1.	**629**	$\Delta\dot{m}_1$=14,76 mg/min	$\Delta\dot{m}_2$=10,32 mg/min	$\Delta\dot{m}_3$=10,37mg/min	$\Delta\dot{m}_4$=9,9 mg/min
2.	**630**	$\Delta\dot{m}_1$=5,45 mg/min	$\Delta\dot{m}_2$=4,23 mg/min	$\Delta\dot{m}_3$=4,44 mg/min	$\Delta\dot{m}_4$=4,64 mg/min
3.	**631**	$\Delta\dot{m}_1$=11,87 mg/min	$\Delta\dot{m}_2$=10,45 mg/min	$\Delta\dot{m}_3$=8,2 mg/min	$\Delta\dot{m}_4$=7,38 mg/min
4.	**632**	$\Delta\dot{m}_1$=7,57 mg/min	$\Delta\dot{m}_2$=6,25 mg/min	$\Delta\dot{m}_3$=5,64 mg/min	$\Delta\dot{m}_4$=5,1 mg/min

Таблица 9. *Скорост на износването $\Delta\dot{m}$ [mg/min] на стомана тип GX120Mn12 Г13 в зависимост от времето t при номинално контактно налягане $p=6.01\ [N/cm^2]$*

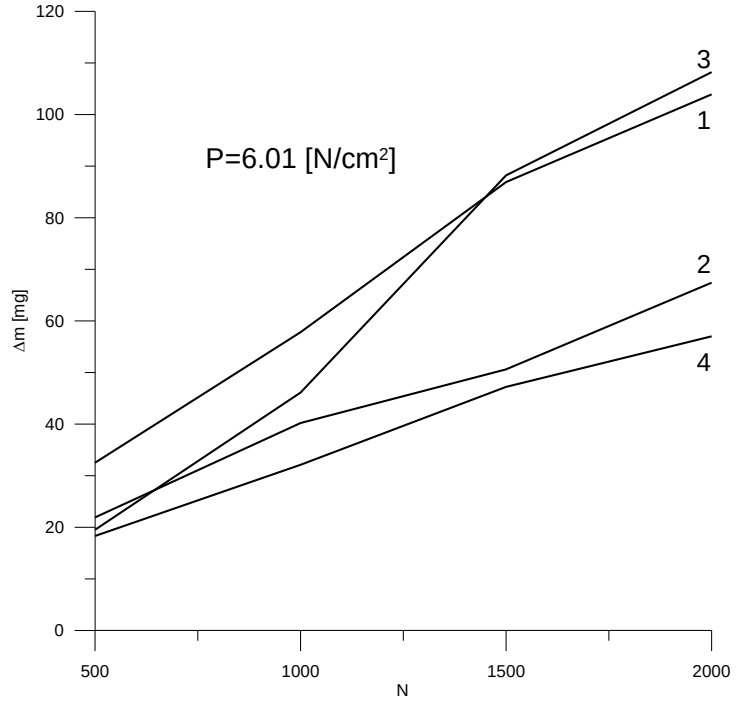
№		t_1=2,35 min	t_2=4,7 min	t_3= 7 min	t_4=9,4 min
1.	**629**	$\Delta\dot{m}_1$=13,4 mg/min	$\Delta\dot{m}_2$=12,3 mg/min	$\Delta\dot{m}_3$=12,33/min	$\Delta\dot{m}_4$=11,5 mg/min
2.	**630**	$\Delta\dot{m}_1$=9,32 mg/min	$\Delta\dot{m}_2$=8,55 mg/min	$\Delta\dot{m}_3$=7,18 mg/min	$\Delta\dot{m}_4$=7,17 mg/min
3.	**631**	$\Delta\dot{m}_1$=8,3 mg/min	$\Delta\dot{m}_2$=9,81 mg/min	$\Delta\dot{m}_3$=12,5 mg/min	$\Delta\dot{m}_4$=11,5 mg/min
4.	**632**	$\Delta\dot{m}_1$=7,78mg/min	$\Delta\dot{m}_2$=6,82mg/min	$\Delta\dot{m}_3$=6,69 mg/min	$\Delta\dot{m}_4$=6,06 mg/min

Таблица 10. *Интензивност на масовото износване I за отделните образци.*

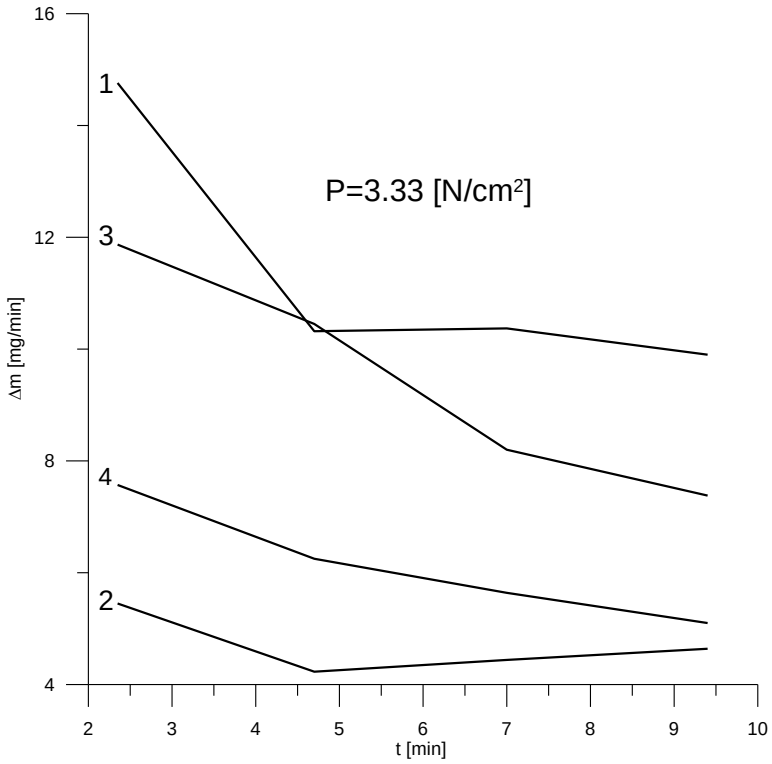
№	Инд. №	Загуба на маса $\Delta m_i, [g]$	Износоустойчивост I	Подобрение на масовото износване в %
1.	**629**	0,1039	$1{,}24.10^6$	0
2.	**630**	0,0674	$1{,}92.10^6$	54.8
3.	**631**	0,1082	$1{,}18.10^6$	-4.8
4.	**632**	0,057	$2{,}25.10^6$	81.5



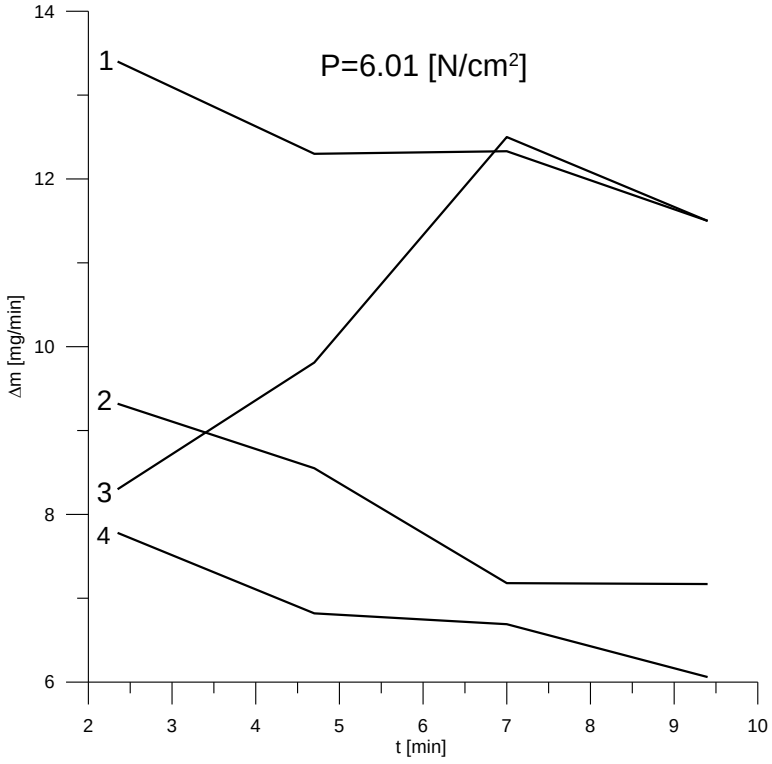
фиг.5: *Износоустойчивост на стомана GX120Mn12 (∆m) в зависимост от броя цикли N: 1 – пл. 629 – без модификатор, 2 – пл. 630 - 0,025% TiN, 3 – пл. 631 - 0,025% TiN, 4 – пл. 632 - 0,025% TiN*



фиг.6 *Износоустойчивост на стомана GX120Mn12 (∆m) в зависимост от броя цикли N. 1 – пл. 629 – без модификатор, 2 – пл. 630 - 0,025% TiN, 3 – пл. 631 - 0,025% TiN, 4 – пл. 632 - 0,025% TiN*



фиг.7: *Динамика на износването mg/min на стомана GX120Mn12 в зависимост от времето t.1 – пл. 629 – без модификатор, 2 – пл. 630 - 0,025% TiN, 3 – пл. 631 - 0,025% TiN, 4 – пл. 632 - 0,025% TiN*



фиг.8: *Динамика на износването mg/min на стомана GX120Mn12 в зависимост от времето t.1 – пл. 629 – без модификатор, 2 – пл. 630 - 0,025% TiN, 3 – пл. 631 - 0,025% TiN, 4 – пл. 632 - 0,025% TiN*

Отляти образци от стомана *GX120Mn12*, модифицирани с 0.025 тег.% чист *TiN* имат по-издребнена структура в сравнение с немодифицирания образец.

Износоустойчивостта на модифицираните образци е с 50 до 80% по-висока.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изследванията показват неоспоримо, че образците от стопилките модифициран сив чугун тип *GG25* с 0.015% и 0.025 тегл.% *TiCN* имат по-фини и равномерно разпределени графитни пластини в сравнение с тези без *TiCN*. Най-добра износоустойчивост има чугун с 0.025 тегл.% *TiCN*. Износоустойчивостта му е с 100% по-добра от чугун без *TiCN*.

2. Отляти образци от износоустойчива стомана *GX120Mn12*, модифицирани с 0.025 тег.% чист *TiN* имат по-издребнена структура в сравнение с немодифицираните образци. Износоустойчивостта на модифицираните образци от стомана *GX120Mn12* е с 50 до 80% по-добра от тази на немодифицираните.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов/ Сабуров В. П., Черепанов А. Н., Жуков М. Ф. и др. Новосибирск, Наука, 1995, 344 с.

[2] Упрочнение металлических полимерных и эластомерных материалов ультрадисперсными порошками/ Жуков М. Ф., Черский И. Н., Черепанов А. Н. и др. Новосибирск: Наука, 1999, 307 с.

[3] Модифицирование сталей и сплавов дисперсными инокуляторами/ Сабуров В. П., Еремин Е. Н., Черепанов А. Н., Миннеханов Г. Н. Омск.: Изд-во ОмГТУ, 2002, 212с.

Изследването е проведено със съдействието на ***„Фонд научни изследвания”- МОМН*** *чрез финансиране на проект по договор* ***ТН 01/076*** *с р-л* ***доц. д-р В. Манолов*** *и базова организация Институт по металознание, съоражения и технологии“Акад. А. Балевски” с център по хидро- и аеродинамика - БАН.*

Авторите изказват благодарност на доц. д-р М. Кандева – ръководител на НПЛ „Трибология към МТФ-ТУ-София за предоставената методика за сравнителни изпитания на износоустойчивост и за осъществяването на самите изследвания.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ГЕОМЕТРИЧЕН И КИНЕМАТИЧЕН СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НА ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР С ЦЕНТРОИДНИ ОБРАЗУВАЩИ НА РАБОТНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

Костадин Стоичков

ТУ-София, МТФ, кат.ТММ, E-mail: kks@tu-sofia.bg

GEOMETRICAL AND KINEMATIC SYNTHESIS AND ANALYSIS OF FRICTION C.V.T. WITH CENTRODE TYPE CONTOURS OF WORKING SURFACES

Kostadin Stoichkov

TU-Sofia, Faculty of Machine Technology, Depart. TMM, E-mail: kks@tu-sofia.bg

Abstract: *Made is geometrical and kinematic synthesis and analysis of friction C.V.T. with centrode type contours work surface. Shown is*
the necessity from these mechanisms. Presents are two schemes-with internal contact and external contact. Find are relationship between the changing of ratio and the mathematical equations at contours. Given are formulas for definition of changing ratio diapason.

1. УВОД

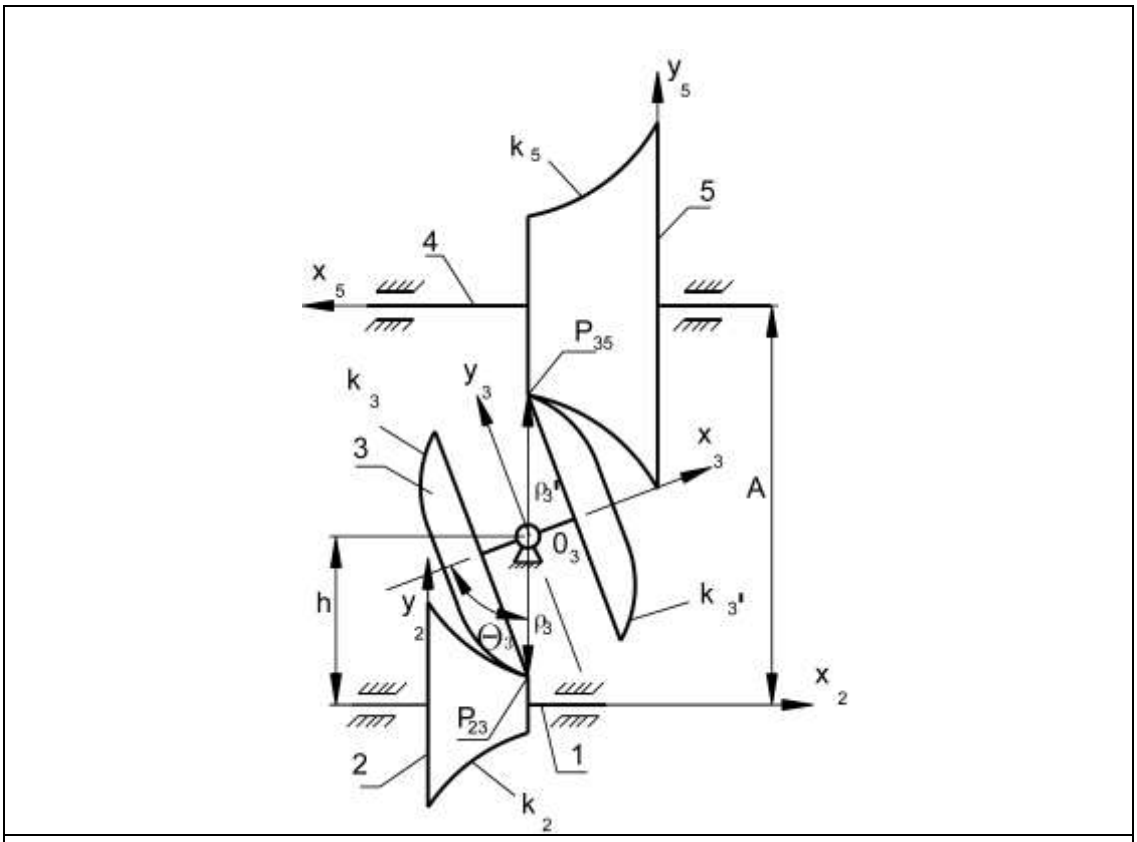
В работите [1] и [2] са разгледани някои проблеми свързани с механизмите, предаващи движение посредством силите на триене. В работата [1] е разгледан случай, при който фрикционният механизъм работи при постоянно предавателно отношение, но позволява изменение на взаимното разположение (ъглово и линейно) на звената на механизма. В съвременната техника съществуват предавки (глобоидни) [3], които също позволяват изменение на ъгъла на пресичане на осите на звената по време на работа, но при тях предавателното число може да бъде само 1. За

фрикционния механизъм от [1] това ограничение не съществува, той може да бъде синтезиран така, че да има оптимално предавателно число в зависимост от неговото приложение. Освен това при въпросният механизъм геометричното плъзгане е равно на нула, като проблемът „геометрично плъзгане" е разгледан в много източници [3], [4], [5] и е обобщен накратко в [1]. Друго предимство на въпросния механизъм е, че при изменение на разположението на звената те се обтъркалват, без да се плъзгат едно спрямо друго т.е. образуващите контури са центроиди.

В работата [2] е направен геометричен синтез и анализ на механизъм, който може да променя безстепенно предавателното си отношение по време на работа т.е. вариатор. При този механизъм геометричното плъзгане отново е нула, но при движението с цел промяна на предавателното отношение контурите не са центроиди т.е. не се обтъркалват, а се плъзгат един спрямо друг. В настоящата работа ще бъде направен геометричен синтез и анализ на фрикционен вариаторен механизъм, при който геометричното плъзгане не е нулирано но образуващите контури на работните повърхнини са центроиди, което осигурява търкаляне без плъзгане при промяна на предавателното отношение.

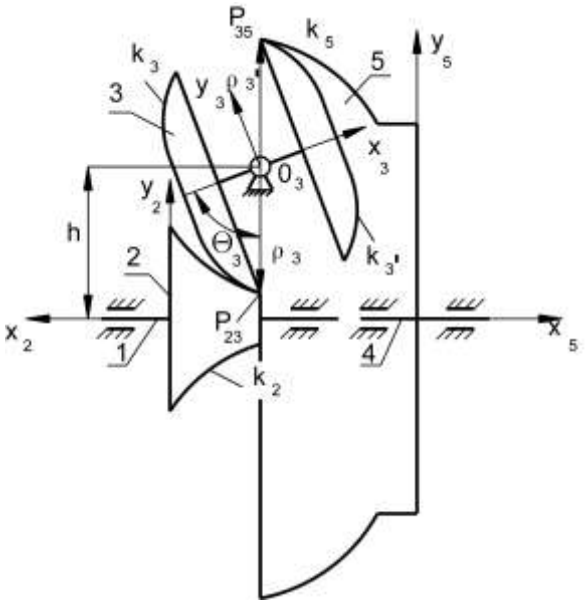
2. УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП НА РАБОТА НА ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР С ЦЕНТРОИДНИ ОБРАЗУВАЩИ НА РАБОТНИТЕ ПОВЪРХНИНИ.

На фигури 1 и 2 са дадени кинематичните схеми на две конструкции фрикционни вариатори с центроидни образуващи. На фиг.1 е дадена схема на вариатор с паралелни оси на входящото и изходящото звено, като устройството и принципа на работа са следните: На входящият вал (1) с възможност за осево преместване е монтирано звеното (2), което има фрикционна работна получена от въртенето на контура k_2 около геометричната ос на вал (1). На звеното (3) са изработени две фрикционни повърхнини получени от въртенето съответно на контурите k_3 и k_3' около оста на (3). На изходящият вал (4) с възможност за осево преместване е монтирано зв. (5) ,чиято работна повърхнина има образуваща контура k_5. При завъртане на входящият вал движението се предава от (2) през (3) до (5) посредством силите на триене в точките на контакт P_{23} и P_{35}. Изменението на предавателното отношение се постига посредством завъртане на (3) около неподвижната точка O_3 при което (2) и (5) се преместват осево по (1) и (4).



Фиг.1. *Фрикционен вариатор с центроидни образуващи на работните повърхнини при паралелни входящ и изходящ вал*

В следствие на тези премествания се променя мястото на P_{23} и $P_{3'5}$ респективно контактните диаметри на звената, а от там и предавателното отношение на механизма. Механизмът от фиг.2 се различава от този на фиг.1 единствено с това, че геометричните оси на входящият и изходящият вал съвпадат тоест междуосевото разстояние $A=0$. От схемите е видно, че за да се осигури търкаляне без плъзгане контурните двоици k_2-k_3 и $k_3'-k_5$ трябва да са контури от центроиден механизъм преобразуващ ротацията на (3) около O_3 в транслация на (2) и (5). Точките P_{23} и P_{35} се явяват полюси за съответните центроидни двоици.



Фиг.2. *Фрикционен вариатор с центроидни образуващи на работните повърхнини при съосни входящ и изходящ вал*

3. АНАЛИЗ НА ПРЕДАВАТЕЛНАТА ФУНКЦИЯ НА ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР С ЦЕНТРОИДНИ ОБРАЗУВАЩИ НА РАБОТНИТЕ ПОВЪРХНИНИ.

В съответствие с фиг.1 и фиг.2 предавателните функции на фрикционните вариатори изобразени на тях могат да бъдат определени по следните начини:

За вариатора с паралелни оси от фиг.1 се вижда, че предавателното отношение от входящият до изходящият вал $i_{14} = \dfrac{\omega_1}{\omega_4}$, където ω_1 и ω_4, са съответните ъглови скорости на входа изхода на механизма може да се получи от изразът

$$i_{14} = \frac{y_3}{y_2}.\frac{y_5}{y_{3'}}. \qquad (1)$$

Координатите y_3 и $y_{3'}$, които определят радиусите на контакт между звената се дават от изразите

$$y_3 = \rho_3(\theta_3)\sin\theta_3\ ,\ \ y_3' = \rho_3'(\theta_3)\sin\theta_3 \qquad (2)$$

в които $\rho_3(\theta_3)$ и $\rho_3'(\theta_3)$ са съответните радиус-вектори на полюсите $P_{23} = P_{35}$. Координатите y_2 и y_5 (фиг.1) се получават от равенствата

$$y_2 = h - \rho_3(\theta_3),\quad y_5 = A - \left[h + \rho_3'(\theta_3)\right] \qquad (3)$$

След заместване на (2) и (3) в (1) за предавателното отношение i_{14} е в сила равенството

$$i_{14} = \frac{\rho_3(\theta_3)}{\rho_3'(\theta_3)} . \frac{A - [h + \rho_3'(\theta_3)]}{h - \rho_3(\theta_3)} . \qquad (4)$$

Изразът даващ предавателното отношение $i_{14(2)}$ на вариатора от фиг.2 може да се получи от (4) при налагането на две условия: Както се вижда от схемите входящият и изходящият вал на механизма от фиг.1 се въртят в еднакви посоки, а на механизма от фиг.2 противоположно. Също така за междуосевото разстояние на втория е в сила $A = 0$, следователно:

$$i_{14(2)} = -\frac{\rho_3(\theta_3)}{\rho_3'(\theta_3)} . \frac{h + \rho_3'(\theta_3)}{h - \rho_3(\theta_3)} \qquad (5)$$

Равенството (5) показва, че ако са познати полярните уравнения на контурите k_3 и k_3', както и стойностите на константите A и h можем еднозначно да се определи закона за изменение на предавателното отношение на разглежданите вариатори във вида $i_{14} = i_{14}(\theta_3)$, $i_{14(2)} = i_{14(2)}(\theta_3)$.

Друга важна характеристика на вариаторите е диапазонът на регулиране на предавателното отношение. Диапазонът на регулиране се дава от отношението на най-голямото към най-малкото предавателно отношение т.е.

$$D = \frac{i_{14}^{\max}}{i_{14}^{\min}} \quad , \quad D_{(2)} = \frac{i_{14(2)}^{\max}}{i_{14(2)}^{\min}} \qquad (6)$$

Стойностите на максималното и минималното предавателно отношение, както и стойностите на θ_3 при които се постигат, ако са познати $\rho_3 = \rho_3(\theta_3), \quad \rho_3' = \rho_3'(\theta_3)$, A и h се получават от изразите

$$\frac{di_{14}}{d\theta_3} = 0, \ \frac{di_{14(2)}}{d\theta_3} = 0, \quad \frac{d^2 i_{14}}{d\theta_3^2} \langle 0, \quad \frac{d^2 i_{14(2)}}{d\theta_3^2} \langle 0 \qquad (7)$$

и

$$\frac{di_{14}}{d\theta_3} = 0, \ \frac{di_{14(2)}}{d\theta_3} = 0, \quad \frac{d^2 i_{14}}{d\theta_3^2} \rangle 0, \quad \frac{d^2 i_{14(2)}}{d\theta_3^2} \rangle 0 \qquad (8)$$

като (7) се отнасят за максимума, а (8) за минимума на предавателното отношение.

Поради голямото разнообразие на задачите в практиката е възможен вариант, при които да са известни не полярните уравнения на k_3 и k_3', а декартовите уравнения на контурите k_2 и k_5 тогава изразите за предавателните отношения ще имат съответно вида:

$$i_{14} = \frac{y_5(x_5)}{y_2(x_2)} \cdot \frac{h - y_2(x_2)}{A - [h + y_5(x_5)]} \tag{9}$$

и

$$i_{14} = -\frac{y_5(x_5)}{y_2(x_{21})} \cdot \frac{h - y_2(x_2)}{h + y_5(x_5)}. \tag{10}$$

След като са записани (9) и (10) редно е да се отбележи че за разлика от случая в, който са зададени полярните уравнения имащи един и същ аргумент- θ_3, то при декартовите уравнения $y_2 = y_2(x_2)$, $y_5 = y_5(x_5)$ аргументите са два - x_2, x_5. Двата аргумента не са независими и връзката между тях се намира по следния начин: От теорията на центроидите приложена за разглежданият случай са в сила равенствата

$$x_1 = \int_0^{\theta_3} \rho_3(\theta_3) d\theta_3 \tag{11}$$

и

$$x_5 = \int_0^{\theta_3} \rho_3'(\theta_3) d\theta_3 . \tag{12}$$

След преобразуване на (11) и (12) и като се има в предвид, че $\rho_3 = h - y1$ и $\rho_3' = A - (h + y_5)$ се получават

$$\theta_3 = \int_0^{x_{21}} \frac{dx_2}{h - y_2} \tag{13}$$

$$\theta_3 = \int_0^{x_5} \frac{dx_5}{A - (h + y_5)}. \tag{14}$$

От (13) и (14) следва равенството

$$\int_0^{x_2} \frac{dx_2}{h - y_2(x_2)} = \int_0^{x_5} \frac{dx_5}{A - [h + y_5(x_5)]} \tag{15}$$

за механизма с паралелни оси и

$$\int_0^{x_1} \frac{dx_2}{h - y_2(x_2)} = \int_0^{x_5} \frac{dx_5}{h + y_5(x_5)} \tag{16}$$

за съосният механизъм от фиг.2. При познати функции $y_5 = y_5(x_5)$ и $y_2 = y_2(x_2)$ от (15) или (16) може да се намери връзката между x_2 и x_5.

Предавателната функция на разглежданите вариатори при декартовите задавания на контурите k_2 и k_5 се получава във вида

$$i_{14} = i_{14}[x_2, x_5(x_2), A, h]. \tag{17}$$

За определяне на диапазона на вариаторите посредством минималните и максималните предавателни отношения се ползват релациите

$$\frac{di_{14}(x_2)}{dx_2} = \frac{di_{14}(x_2)}{d\theta_3}.\frac{d\theta_3}{dx_2} = 0, \quad \frac{di_{14}(x_5)}{dx_5} = \frac{di_{14}(x_5)}{d\theta_3}.\frac{d\theta_3}{dx_5} =$$

$$\frac{di_{14}^2(x_2)}{dx_2^2} = \frac{di_{14}^2(x_2)}{d\theta_3^2}.\frac{d\theta_3}{dx_2} + \frac{di_{14}(x_2)}{d\theta_3}.\frac{d^2\theta_3}{dx_2^2} \langle 0 \tag{18}$$

$$\frac{di_{14}^2(x_5)}{dx_5^2} = \frac{di_{14}^2(x_5)}{d\theta_3^2}.\frac{d\theta_3}{dx_5} + \frac{di_{14}(x_5)}{d\theta_3}.\frac{d^2\theta_3}{dx_5^2} \langle 0$$

за намиране максималните стойности на i_{14} и релациите

$$\frac{di_{14}(x_2)}{dx_2} = \frac{di_{14}(x_2)}{d\theta_3}.\frac{d\theta_3}{dx_2} = 0, \quad \frac{di_{14}(x_5)}{dx_5} = \frac{di_{14}(x_5)}{d\theta_3}.\frac{d\theta_3}{dx_5} = 0$$

$$\frac{di_{14}^2(x_2)}{dx_2^2} = \frac{di_{14}^2(x_2)}{d\theta_3^2}.\frac{d\theta_3}{dx_2} + \frac{di_{14}(x_2)}{d\theta_3}.\frac{d^2\theta_3}{dx_2^2} \rangle 0 \tag{19}$$

$$\frac{di_{14}^2(x_5)}{dx_5^2} = \frac{di_{14}^2(x_5)}{d\theta_3^2}.\frac{d\theta_3}{dx_5} + \frac{di_{14}(x_5)}{d\theta_3}.\frac{d^2\theta_3}{dx_5^2} \rangle 0$$

за намиране минималните стойности на i_{14}. Производните участващи в горните изрази се получават от изразите (13) и (14) в зависимост от това какъв вариатор (съосен или с паралелни оси) се разглежда.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа са дадени две схеми на фрикционни вариатори с центроидни образуващи на работните повърхнини, осигуряващи търкаляне без плъзгане между контурите на повърхнините при изменение на предавателното отношение на вариатора. Изведени са необходимите зависимости за определяне предавателните отношения и диапазона на регулиране на разглежданите вариатори. Разглежданията и изводите са направени за две схеми – фрикционен вариатор с паралелни оси (фиг.1) и съосен фрикционен вариатор (фиг.2).

ЛИТЕРАТУРА

[1] Стоичков К., Анализ и синтез на фрикционен предавателен механизъм с минимизирано плъзгане, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ,бр 1.2010г., с. 54.*

[2] Стоичков К., Геометрия и кинематика на фрикционен вариатор с нулево геометрично плъзгане, *XXVI Международна научна конференция „65 Години МТФ, 100 години от рождението но акад. А. Балевски”. Созопол 2010.*

[3] Кожевников С., Есипенко Я., Раскин Я., Механизмы, *Москва* машиностроение, *1976.*

[4] Пронин Б., Ревков Г., Безступенчатие клиноременные и фрикционные передачи, *Москва, Машиностроение 1980.*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ГЕОМЕТРИЧЕН СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НА ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР С ЦЕНТРОИДНИ ОБРАЗУВАЩИ НА РАБОТНИТЕ ПОВЪРХИНИ, ПО ЗАДАДЕНА ПЪРВА ПРЕДАВАТЕЛНА ФУНКЦИЯ НА ЦЕНТРОИДНИЯ МЕХАНИЗЪМ

Костадин Стоичков

ТУ-София, МТФ, кат.ТММ, E-mail: kks@tu-sofia.bg

GEOMETRICAL AND KINEMATIC SYNTHESIS AND ANALYSIS OF FRICTION C.V.T. WITH CENTRODE TYPE KONTOURS WORK SURFASES, BY THE KNOWN FIRST TRANSMITION FUNCTION OF THE CENTRODE TYPE MECHANISM

Kostadin Stoichkov

TU-Sofia, Faculty of Machine Technology, Depart. TMM, E-mail: kks@tu-sofia.bg

Abstract: *Make is geometrical and kinematic synthesis and analysis of frictions C.V.T. with centrode type contours work surfaces. The ratio changing C.V.T are received bay the known first transmition function of the centrode type mechanism. Received are the law for changing ratio of C.V.T. in dependence from the mode of contours. Given is also changing ratio diapason. The dependence are shown as well as graphics.*

1. Увод

В работите [1], [2] и [3] са разгледани характерни проблеми свързани с фрикционните предавателни механизми, като настоящата работа се явява продължение на [3]. В [3] е направен анализ на две схеми на фрикционни вариатори, които са характерни с това, че образуващите на техните работните повърхнини са контури от центроиден механизъм,

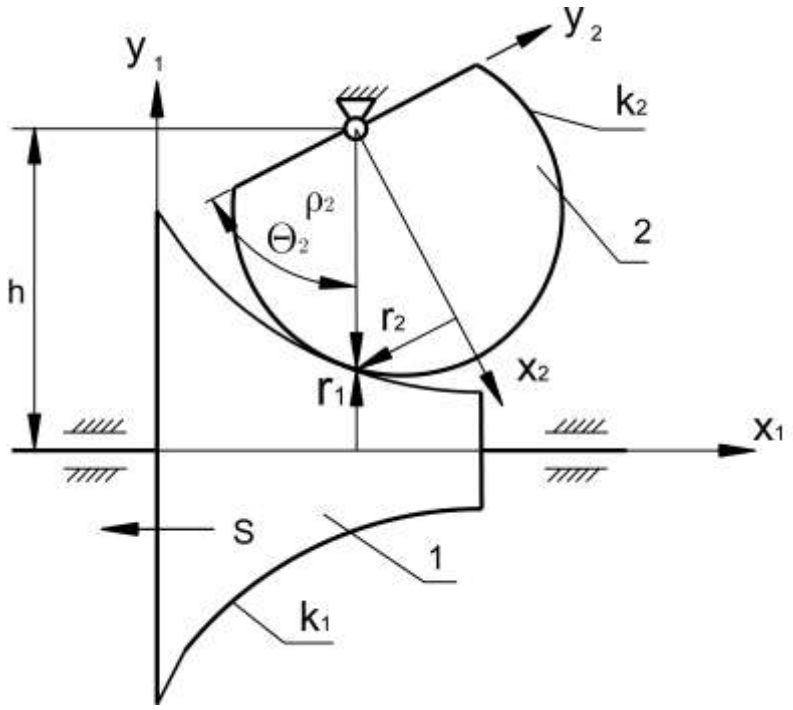
преобразуващ ротационното движение на входящото звено в транслационно на изходящото. На двете схеми от [3] са дадени двустъпални фрикционни механизми, съдържащи два центроидни механизма: входящо звено-междинно звено, междинно звено-изходящо звено, които образуват и съответните фрикционни двойки. В настоящата работа ще бъде извършен синтез на едното стъпало от фрикционния механизъм с уговорката, че синтезът на другото се прави по аналогичен начин. Работата [3] акцентира върху анализа на предавателната функция на вариатор с центроидни образуващи на работните повърхнини, като са дадени зависимостите за определяне изменението на предавателната функция. Направеният анализ на предавателната функция позволява намирането на основни характеристики на вариаторите, а именно минимално и максимално предавателно число, чието отношение дава диапазонът на регулиране на вариатора.

2. Предавателна функция на едностъпален фрикционен вариатор с центроидни образуващи на работните повърхнини.

На фиг.1 е дадена геометрична схема на едностъпален фрикционен вариатор със центроидни образуващи на работните повърхнини. Съвместно ще бъдат разгледани два механизма: Първият центроиден механизъм съставен от звената 1 и 2, имащи центроидни контури k_1 и k_2 , който преобразува ротацията на 1 в транслация на 2. Вторият фрикционен вариатор със задвижващо звено 1, чиято фрикционна повърхнина е образувана от въртенето на k_1 около x_1 и задвижвано звено 2 чиято фрикционна повърхнина е получена при въртене на k_2 около x_2. Изменението на предавателното отношение на вариатора се получава в при завъртане на 2 около O_2 на ъгъл θ_2 в следствие на, което 1 се премества по x_1 на разстояние S и се променят радиусите на контакта r_1 и r_2. Предавателното отношение на вариатора се получава от отношението:

$$i_{V12} = \frac{r_2}{r_1} \qquad (1)$$

От фигура 1 е видно, че контактният радиус r_2 може да се изрази с радиус вектора на центроидният контур $\rho_2(\theta_2)$ и полярният ъгъл θ_2 посредством изразът:



Фиг.1. *Геометрична схема на фрикционна вариаторна предавка с центроидни образуващи на фрикционните повърхнини.*

$$r_2 = \rho_2.\cos\theta_2 . \qquad (2)$$

Радиусът r_1 се получава от разликата между разстоянието h и стойността на текущият радиус $\rho_2(\theta_2)$ т.е.

$$r_1 = h - \rho_2 . \qquad (3)$$

При така изразени контактни радиуси изразът (1) за предавателното отношение на вариатора i_{V12} добива вида

$$i_{V12} = \frac{\rho_{2.}(\theta_2)\cos\theta_2}{h - \rho_2(\theta_2)} \qquad (4)$$

От (4) се вижда, че предавателното отношение на вариатора зависи от центроидата k_2 дефинирана в случая с полярното уравнение $\rho_2 = \rho_2(\theta_2)$, от ъгълът θ_2 определящ положението на точката на контакта и разстоянието h. По аналогичен начин може да се запише i_{V12}, при зададено уравнение на k_1. Ако уравнението на k_1 е зададено във вида $y_1 = y_1(x_1)$ предавателното отношение на вариатора ще се получи от изразът

$$i_{V12} = \frac{(h - y_1).\cos\theta_2}{y_1}. \qquad (5)$$

3. Синтез на работните повърхнини на вариатора при зададена първа предавателна функция на центроидният механизъм

Първата предавателна функция (i_{C12}) на центроиден механизъм (фиг.1) преобразуващ ротационно в транслационно движение, се дефинира като отношение на ъгловата скорост на входящото звено към транслационната скорост на изходящото и се дава от равенството

$$i_{C12} = \frac{\omega_1}{V_2}, \qquad (6)$$

При условие, че завъртането на входящото звено се определя от координатата φ_1, а положението на изходящото звено от преместването S то (6) добива вида

$$i_{C12} = \frac{d\varphi_1/dt}{dS_2/dt} \qquad (7)$$

След елементарни преобразувания и, имайки предвид теорията на центроидите, както и означенията на фиг.1 $(\varphi_1 = -\theta_2,\ \ S_2 = -x_1)$ от (7) се получава изразът

$$dx_1 = \frac{1}{i_{C12}} d\theta_2. \qquad (8)$$

Като се знае, че $\rho_2(\theta_2)$ е текущият радиус-вектор на k_2 при полярен ъгъл θ_2 , x_1 текущата стойност на абсцисата на k_1, също от теорията на центроидите може да се запише изразът

$$dx_1 = \rho_2(\theta_2)d\theta_2, \qquad (9)$$

а от изразите (8) и (9) се получава равенството

$$\rho_2(\theta_2) = \frac{1}{i_{C12}}. \qquad (10)$$

След заместване на (10) в (4) и извършване на съответните преобразувания се стига до изразът

$$i_{V12}(\theta_2) = \frac{\cos\theta_2}{i_{C12}(\theta_2).h - 1}, \qquad (11)$$

който дава връзката между предавателното отношение на вариатора $i_{V12}(\theta_2)$ и първата предавателна функция $i_{C12}(\theta_2)$ на центроидният механизъм чиито центроиди, се явяват образуващи на работните повърхнини на вариатора.

Полученото равенство (11) е удобно да се използува в случай че е зададено полярното уравнение на $k_2 \therefore \rho_2 = \rho_2(\theta_2)$, в случай, че е зададено уравнението $k_1 \therefore y_1 = y_1(x_1)$ може да се изведе зависимостта между $i_{V12}(x_1)$ и $i_{C12}(x_1)$ като се процедира по следният начин:

Равенството (8) се преобразува в

$$\theta_2 = \int_0^{x1} i_{C12}(x_1)dx_1 \tag{12}$$

след което (12) се замества в (5) и се получава зависимостта

$$i_{V12} = \frac{(h - y_1).\cos\int_0^{x1} i_{C12}(x_1)dx_1}{y_1} \tag{13}$$

4. Някои примери за приложение на изведените зависимости предавателното отношение на вариатор и първата предавателна функция на центроидният механизъм, чиито центроиди, са образуващи на работните повърхнини на вариатора.

Първият пример е приложение на изведените зависимости в случай, при който е зададено полярното уравнение на $k_2 : \rho_2 = \rho_2(\theta_2)$. Нека центроидният контур k_2 от фиг.1 да бъде елипса с полярно уравнение

$$\rho_2 = \frac{b}{\sqrt{1-\varepsilon^2\cos^2\theta_2}}, \tag{14}$$

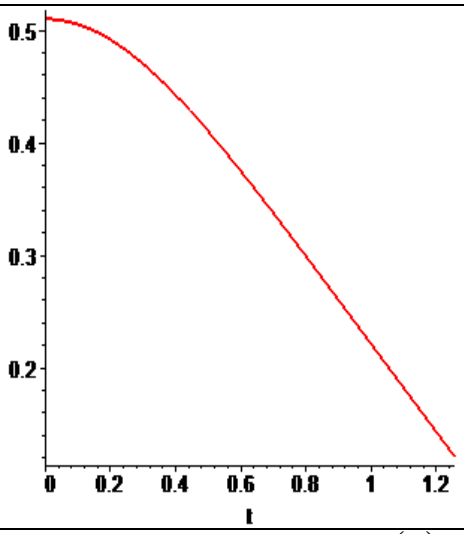
което показва, че центърът на елипсата съвпада с центърът на ротация O_2. От (10) и (14) следва изразът за първата предавателна функция на центроидния механизъм

$$i_{C12} = \frac{\sqrt{1-\varepsilon^2\cos^2\theta_2}}{b}. \tag{15}$$

След заместване на (15) в (11) се получава

$$i_{V12}(\theta_2)=\frac{b\cos\theta_2}{h\sqrt{1-\varepsilon^2\cos^2\theta_2}-b} \quad . \qquad (16)$$

При познати стойности на параметрите на елипсата; ексцентритет- $\varepsilon=0{,}8$, дължина на малката полуос- $b=50mm$ и разстояние $h=80mm$ (фиг.1) може да се изчертае графиката на функцията $i_{V12}=i_{V12}(\theta)$



Фиг.2. *Графика на функцията* $i_{V12}=i_{V12}(\theta)$ *при елиптична центроидна образуваща на работната повърхнина на задвижващото звено на вариатора.*

Във вторият пример ще бъде разгледан случай при който е зададена центроидата, която е образуваща на работната повърхнина на задвижваното звено на вариатора.

Нека контурът k_1 е зададен в декартови координати с уравнението

$$y_1=y_0+tg\alpha.x_1 \qquad (17)$$

От (17) и фиг.1 е видно, че така зададеният контур е образуваща на работна повърхнина, която е конус с радиус на основата y_0 и ъгъл при върха $2.(\pi-\alpha)$. В този пример ще бъде използвана зависимостта (13), която е подходяща при декартово задаване на изходящият контур.

От (10) и имайки предвид връзката

$$\rho_2=h-y_1(x_1) \qquad (18)$$

директно се получава предавателната функция на центроидният механизъм изразена посредством аргумента x_1

$$i_{C12} = \frac{1}{h - y_1(x_1)}. \qquad (19)$$

След заместване на (19) в (13) се стига до изразът

$$i_{V12} = \frac{(h - y_1).\cos\int_0^{x1} \frac{1}{h - y_1(x_1)} dx_1}{y_1} \qquad (20)$$

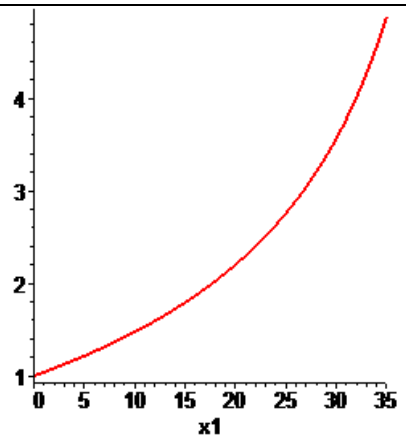
и, имайки предвид, че е позната функцията $y_1 = y_1(x_1)$, то (20) добива вида

$$i_{V12} = \frac{[h - (y_0 + tg\alpha.x_1)].\cos\int_0^{x1} \frac{1}{h - (y_0 + tg\alpha.x_1)} dx_1}{y_0 + tg\alpha.x_1}. \qquad (21)$$

След интегриране в числителя на (21) и елементарни преобразувания за предавателната функция на вариатора окончателно се получава

$$i_{V12} = \frac{[h - (y_0 + tg\alpha.x_1)].\cos\left[ctg\alpha.\ln\left(1 - \frac{tg\alpha.x_1}{h - y_0}\right)\right]}{y_0 + tg\alpha.x_1}. \qquad (22)$$

При зададени стойности на параметрите ; $y_0 = 50mm$, $tg\alpha = \frac{3\pi}{4} rad$, $h = 100mm$ **се** изчертава графиката (фиг.3) на функцията $i_{V12} = i_{V12}(x_1)$.



Фиг.3. *Графика на функцията* $i_{V12} = i_{V12}(x_1)$ *при праволинейна образуваща на работната п-на на задвижваното звено.*

5. Изводи

Настоящата работа разглежда една възможност за приложение на контурите на звената от центроидни механизми, като образуващи на работните повърхнини на фрикционни вариатори. В постановката на задачата са дефинирани посредством аналитични изрази (полярно или декартово) уравнение центроидни контури. При така зададените центроиди се иска намирането на закона за изменение на фрикционния вариатор, чиито образуващи на фрикционните повърхнини се явяват въпросните центроиди. Изведени са зависимостите, които дават връзката между уравнението на центроидата и закона за изменение на предавателното отношение на вариатора. Дадени са два примера за приложение на изведените зависимости, като единият е при полярно задаване на центроидния контур, а другият при дефиниране на контур с декартово уравнение. Построените графики на изменение на предавателното отношение на вариатора дават възможност за определяне диапазона на неговото регулиране.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Стоичков, К., Николов, Н. Синтез и анализ на фрикционен предавателен механизъм с минимизирано плъзгане. *Трибологичен журнал БУЛТРИБ, бр.1. 2010г., с.54.*

[2] Стоичков, К., Геометричен и кинематичен анализ на фрикционен вариатор със центроидни образуващи на работните повърхнини, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ, бр.2. 2011 г ...Под печат.*

[3] Стоичков, К., Геометричен и кинематичен синтез и анализ на фрикционен вариатор със центроидни образуващи по зададена първа предавателна функция на центроидния механизъм, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ, бр.2. 2011г.....Под печат.*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ГЕОМЕТРИЧЕН СИНТЕЗ И АНАЛИЗ НА ФРИКЦИОНЕН ВАРИАТОР С ЦЕНТРОИДНИ ОБРАЗУВАЩИ НА РАБОТНИТЕ ПОВЪРХНИНИ, ПО ЗАДАДЕН ЗАКОН ЗА ИЗМЕНЕНИЕ НА ПРЕДАВАТЕЛНАТА ФУНКЦИЯ НА ВАРИАТОРА

Костадин Стоичков

ТУ-София, МТФ, кат.ТММ, E-mail: kks@tu-sofia.bg

GEOMETRICAL AND KINEMATIC SYNTHESIS AND ANALYSIS OF FRICTION C.V.T. WITH CENTRODE TYPE CONTOURS WORKING SURFACES, RECEIVED BY KNOWN LAW FOR CHANGING RATIO OF THE C.V.T.

Kostadin Stoichkov

TU-Sofia, Faculty of Machine Technology, Depart. TMM, E-mail:

***Abstract**: Make is geometrical synthesis and analysis of friction C.V.T. with centrode type contours of working surfaces. Equation of contours are received by known law for changing ratio of C.V.T. Given is analytical and graphical presence changing ratio and diapason on the him alternation.*

1. УВОД

През последните няколко години все повече се прилагат фрикционни предавателни механизми, особено такива, които позволяват безстепенно изменение на предавателното отношение (вариатори). Тази тенденция намира най-силно изражение в областта на автомобилостроенето, като трябва да се отбележи, че в някои от схемите на агрегати за перспективните електромобили фрикционният вариатор е основно звено осигуряващо оптимално управление на потока мощност.Също така редно е да се отбележи, че много от производители прилагат в автомобилните трансмисии т.нар. C.V.T.- (Continuously Variable Transmition), които по същността си са типични фрикционни вариатори с различни конструкции.

Приложението при електромобилите за сега е основно в системите с кинетични акумулатори на енергия (К.А.Е.) [5], които управлявани посредством вариатор осигуряват минимален разход на енергия-показател от решаващо значение за бъдещето на електромобила.

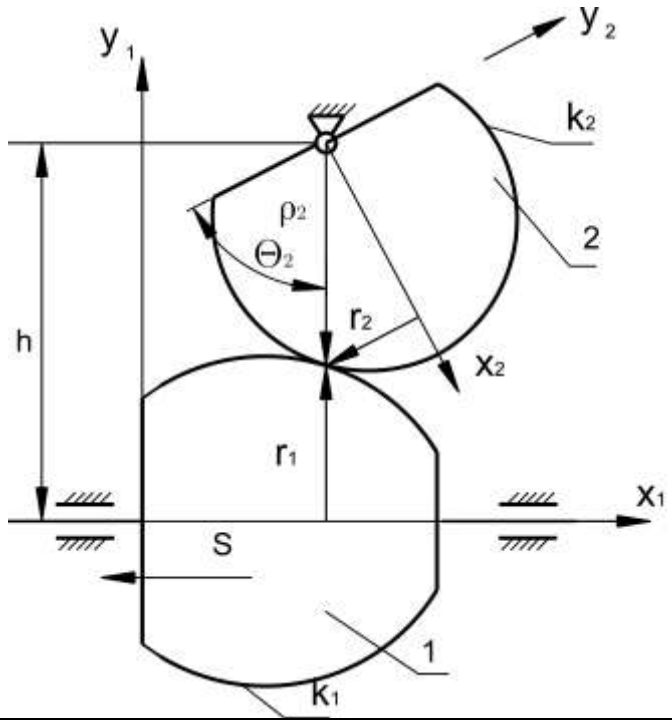
В поредица публикации [1], [2], [3], [4] бяха разгледани въпроси свързани с фрикционните вариатори. Вниманието в горните работи е фокусирано върху това как да бъде избегнато геометричното плъзгане на работните повърхнини и плъзгането при изменение на предавателното отношение. Въпросът за теоретичното нулиране на геометричното плъзгане е решен в [2] където е дадена и кинематична схема на фрикционен вариаторен механизъм, с който се реализира това решение. Проблемът за плъзгането при изменение на предавателното отношение се решава, като образуващите на работните повърхнини на фрикционния вариатор се синтезират, така че да съставят центроидна двоица в относителното си движение при промяна на предавателното отношение на вариатора. Геометричен и кинематичен анализ на вариатор, при който изменението на предавателното отношение се осъществява посредством обтъркалване, а не плъзгане между работните е направен в [3].

В работата [4] са изведени зависимостите, които дават възможност при зададена първа предавателна функция на центроидния механизъм, съставен от образуващите на работните повърхнини, да бъде получен законът за изменение на предавателното отношение на вариатора като функция на взаимното разположение на неговите звена.

В настоящата работа ще бъде синтезиран центроиден механизъм, чиито центроиди се явяват образуващи на работните повърхнини на фрикционен вариатор със зададен закон за изменение на предавателното отношение и определен диапазон на регулиране.

2. ПОСТАНОВКА НА ЗАДАЧАТА

На фиг.1 е показана кинематична схема на фрикционен вариатор с центроидни образуващи на работните повърхнини. Контурите k_1 и k_2 са центроиди от центроиден механизъм преобразуващ ротацията на зв.1 в транслация на зв. 2. При въртене на контурите k_1 и k_2 около съответните оси на ротация x_1 и x_2 се получават работните повърхнини на фрикционния вариатор. Предавателното отношение на вариатора (i_{V12}) се определя от отношението r_2/r_1, което се променя при изменение на точката на контакта, която се явява полюс за центроидният механизъм.



Фиг.1 *Геометрична схема на вариатор с центроидни образуващи на фрикционните повърхнини.*

Първата предавателна функция (i_{C12}) на центроидния механизъм се дава от: $i_{C12} = dS/d\varphi_2$, където S е линейното преместване на изходящото , а φ_2 - завъртането на входящото звено от центроидният механизъм. Както се вижда от фиг.1 положението на полюса на центроидната предавка се променя с изменението на ъгъл φ_2, от което следва, че изменението на φ_2 ще доведе и до изменение на предавателното отношение на вариатора. Контурът k_2 се дефинира с полярното уравнение $\rho_2 = \rho_2(\theta_2)$, където за полярният ъгъл θ_2 е в сила $\theta_2 = -\varphi_2$.

Задачата за синтез на центроидните контури в случая се заключава в това при зададен закон за изменение на предавателното отношение на вариатора във вида $i_{V12} = i_{V12}(\varphi_2)$ да се намери полярното уравнение на $k_2 : \rho_2 = \rho_2(\theta_2)$, такова че да се реализира функцията $i_{V12} = i_{V12}(\varphi_2)$.

3. СИНТЕЗ НА ЦЕНТРОИДНИЯ МЕХАНИЗЪМ ПО ЗАДАДЕН ЗАКОН ЗА ИЗМЕНЕНИЕ НА ПРЕДАВАТЕЛНОТО ОТНОШЕНИЕ НА ВАРИАТОРА.

Предавателното отношение на вариатора се дава от отношението

$$i_{V12} = \frac{r_2}{r_1}, \qquad (1)$$

което съгласно фиг.1може да се запише, като

$$i_{V12}(\theta_2) = \frac{\rho_2(\theta_2).\cos(\theta_2)}{h - \rho_2(\theta_2)}. \qquad (2)$$

Нека закона, по който трябва да се променя предавателното отношение на вариатора, има вида

$$i_{V12}(\theta_2) = k.\cos\theta_2, \qquad (3)$$

освен това е известно, че диапазонът на регулиране на съвременните вариатори позволява реализиране на предавателни отношения от $\frac{1}{3}$ до 3 т.е. $i_{V12} = \frac{1}{3} \div 3$. От формулираните до тук изисквания може да се дефинира следната задача:

Да се синтезират работни повърхнини на фрикционен вариатор с центроидни образуващи при косинусов закон за изменение на предавателното отношение и диапазон на регулиране определен от неравенствата $\frac{1}{3} \le i_{V12} \le 3$. От условието на задачата директно се определя коефициентът k, при $i_{V12\max} = 3,\ k = 3$ следователно законът за изменение на предавателното отношение се дава от изразът.

$$i_{V12}(\theta_2) = 3.\cos\theta_2 \qquad (4)$$

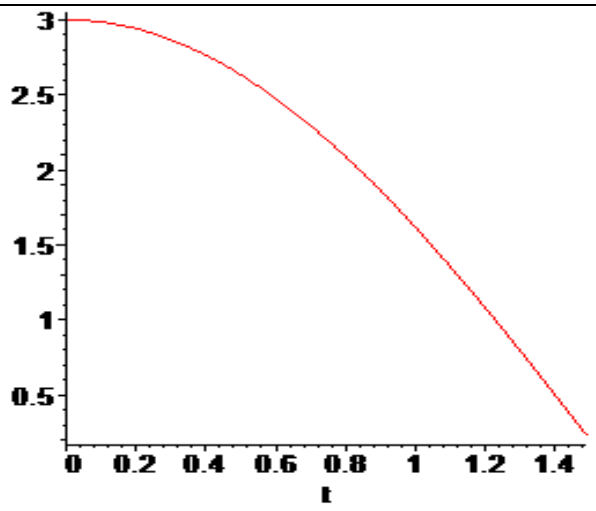
От изразът за минималното предавателно отношение записан като

$$i_{V12\min} = 3.\cos\theta_2 \qquad (5)$$

след заместване на $i_{V12\min}$ със съответната стойност и преобразуване се получава

$$\theta_{2i\min} = \arccos\left(\frac{i_{V_{12}\min}}{k}\right) \qquad (6)$$

което дава стойността на θ, съответстваща на минималното предавателно отношение на вариатора. Графиката на изменението на предавателното отношение е дадена на фиг. 2.



Фиг.2. *Графика на функцията* $i_{V12} = i_{V12}(\theta)$*, косинусов закон и диапазон на регулиране от* $1/3$ *до 3.*

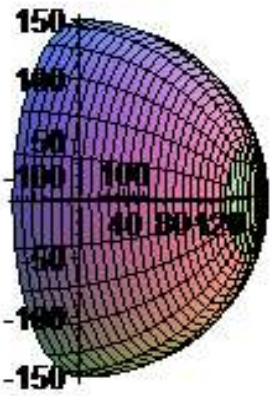
От изразите (3) и (2) може да се запише равенството

$$k.\cos\theta_2 = \frac{\rho_2(\theta_2).\cos\theta_2}{h - \rho_2(\theta_2)} \qquad (7)$$

от където след съкращаване и преобразуване се получава изразът

$$\rho_2(\theta_2) = \frac{k.h}{1+k} \ . \qquad (8)$$

От (8) е видно, че при $k = const$ и $h = const$ контурът k_2 е част от окръжност с радиус определен от стойностите на k и h, и център съвпадащ с O_2. За осигуряване диапазона на регулиране полярният ъгъл (6) трябва да се изменя в граници от 0° до 83°. При завъртане на k_2 около x_2 се получава част от сфера, която е работната повърхнина на задвижваното звено на фрикционния вариатор (фиг. 3).



Фиг.3. *Фрикционна повърхнина на задвижваното звено на вариатора.*

За определяне работната повърхнина на задвижващото звено на вариатора е необходимо първо да бъде намерено уравнението и параметрите, дефиниращи контурът k_2. Според условието на задачата за синтез контурите k_1 и k_2, са центроиди, от което съгласно теорията на центроидите, k_1 се задава със следните координатно-параметрични уравнения:

$$x_1 = \int_0^{\theta 2} \rho_2(\theta_2) d\theta_2$$
$$y_1 = h - \rho_2(\theta_2). \qquad (9)$$

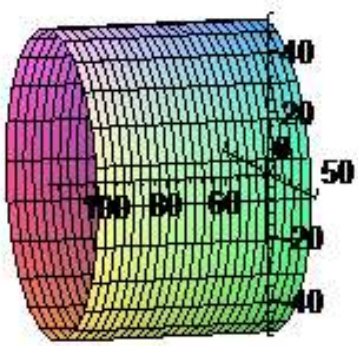
При известна функция $\rho_2 = \rho_2(\theta_2)$, записана като (8), (9) добива вида

$$x_1 = \int_0^{\theta 2} \frac{k.h}{1+k} d\theta_2$$
$$y_1 = h - \frac{k.h}{1+k} \qquad (10)$$

от където се получава окончателният вид на координатно параметричните уравнения на k_1:

$$x_1 = \frac{k.h}{1+k}.\theta_2$$
$$y_1 = h - \frac{k.h}{1+k}. \qquad (11)$$

От уравненията (11) е видно, че контурът k_1 е права успоредна на координатната ос x_1 и отстояща от нея на разстояние y_1, което се определя от константите k и h. Работната повърхнина на задвижващото звено получена от въртенето на k_1 около x_1 ще бъде цилиндър с образуваща отсечката k_1 (фиг.4).



Фиг.4. *Фрикционна повърхнина на задвижващото звено на вариатора.*

4. ИЗВОДИ

В настоящата работа са изведени зависимости, даващи възможност за дефиниране на образуващи на фрикционните повърхнини на вариаторите, така че в процеса на изменение на предавателното отношение образуващите да имат поведението на центроиди.

Същественото в случая е, че уравненията, дефиниращи центроидните образуващи, се получават при зададени закон за изменение на предавателната функция на вариатора и диапазон на регулиране.

Необходимостта от създаване на вариатори при синтеза, на които е необходимо решаването на гореописаната задача, е обоснована в увода на работата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Стоичков К., Николов Н., Анализ и синтез на фрикционен предавателен механизъм сминимизирано плъзгане, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ, бр.1. 2010г., с.54.*

[2] Стоичков К. Геометричен и кинематичен анализ на фрикционен вариатор с нулево геометрично плъзгане на фрикционните повърхнинни, *26-та международна научна конференция „65 години МТФ” . Созопол 2010 , Tribology.*

[3] Стоичков К.Геометричен и кинематичен анализ на фрикционен вариатор със центроидни образуващи на работните повърхнини, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ, бр.2. 2011г.,....Под печат.*

[4] Стоичков К., Геометричен синтез и анализ на фрикционен вариатор със центроидни образуващи на работните повърхнини по зададена първа предавателна функция на центроидния механизъм, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ, бр.2. 2011г.,....Под печат.*

[5] Стоичков, К., Живков, В.,Управление на агрегат за задвижване на автомобил с кинетичен акумулатор на енергия посредством фрикционен вариатор при различни режими на движение, *26-та международна научна конференция „65 години МТФ” , Созопол 2010, Tribology.*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

АНАЛИЗ НА ГЕОМЕТРИЧНОТО ПЛЪЗГАНЕ ПРИ ФРИКЦИОННИ ВАРИАТОРИ С ЦЕНТРОИДНИ ОБРАЗУВАЩИ НА РАБОТНИТЕ ПОВЪРХНИНИ

Костадин Стоичков

ТУ-София, МТФ, кат.ТММ, E-mail: kks@tu-sofia.bg

ANALYSIS OF THE GEOMETRICAL SLIDING IN FRICTION C.V.T. WITH CENTRODE TYPE CONTOURS OF WORKING SURFACES

Kostadin Stoichkov

TU-Sofia, Faculty of Machine Technology, Depart. TMM, E-mail: kks@tu-sofia.bg

Abstract: *The work concern about geometrical sliding in the frictions C.V.T. with centrode type contours of the working surfaces. Determinate are the parameters from what dependence these phenomena. Find is the relationship between value of geometrical siding and the mode centrode type contours, also and the him alteration in the contact zone between working surfaces.*

1. УВОД

В работите [1], [2], [3] е направен геометричен и кинематичен синтез и анализ на фрикционни вариаторни предавки с центроидни образуващи на фрикционните повърхнини. Този тип геометрия на работните повърхнини е единственият, който позволява изменението на предавателното отношение на вариатора да се осъществява не чрез плъзгане, а посредством обтъркалване между звената на механизма. Необходимостта от създаване на фрикционни вариатори при, които образуващите на фрикционните повърхнини, са центроиди в относителното си движение е обоснована в [4] и [5].

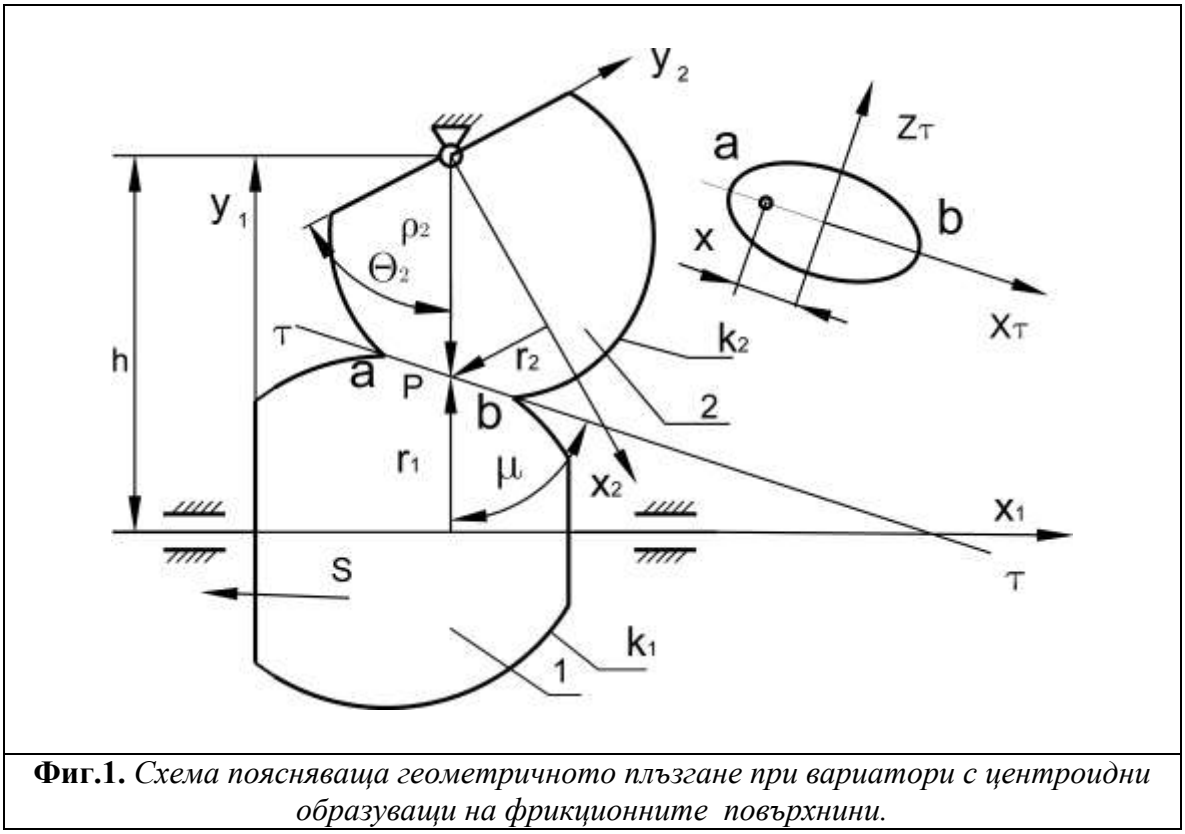
В цитираните по-горе работи е даден теоретичният апарат за синтез на въпросните фрикционни повърхнини по зададена първа предавателна

функция на центроидния механизъм съставен от образуващите на работните повърхнини [2] и по зададен закон за изменение на предавателната функция на вариатора [3]. В двете публикации теоретичният апарат е приложен в подходящи примери поясняващи неговото действие. Въпреки обстойното теоретично описание и дадените примери за неговото приложение, не е разгледан въпросът за едно друго нежелателно явление при работата на фрикционните вариатори, а именно геометричното плъзгане на повърхнините по време на работа.

Геометричното плъзгане като явление при работата на фрикционните вариатори е разгледано в много работи [6], [7], [8] , като заключението е, че това е неблагоприятно явление водещо до интензивно износване на повърхнините, загряване и спадане на К.П.Д., като в следствие на всичко това се влошават експлоатационните характеристики на механизма. От казаното до тук явен е изводът, че е необходимо да се направи анализ на геометричното плъзгане и връзката между него различните параметри на фрикционни вариатори с центроидни образуващи.

2. ГЕОМЕТРИЧНО ПЛЪЗГАНЕ ПРИ ВАРИАТОР С ЦЕНТРОИДНИ ОБРАЗУВАЩИ

На фиг.1 е дадена схема на фрикционен вариатор с центроидни образуващи на фрикционните повърхнини. Устройството и принципа на работа са следните: Фрикционните повърхнини на звената 1 и 2 са образувани при въртене на контурите k_1 и k_2 съответно около координатните оси x_1 и x_2, които се явяват оси на ротация на звената 1 и 2 от вариатора. Контурите k_1 и k_2 също така са и центроиди от центроидния механизъм, преобразуващ завъртането на звено 2 около т. O в транслация на зв. 1 по оста x_1. При работа на вариатора от задвижващото звено 1 посредством силите на триене в зоната на контакта движението се предава на задвижваното звено 2. В процеса на изменение на предавателното отношение зв. 2 се завърта около т.O, центроидните контури (k_1, k_2) се обтъркалват и зв. 1 се премества по x_1. В следствие от движенията на звената от центроидния механизъм се променя положението на полюса (т.C) на центроидната двоица, а от там и съответно големините на контактните радиуси и предавателното отношение на фрикционния вариатор.



Фиг.1. *Схема поясняваща геометричното плъзгане при вариатори с центроидни образуващи на фрикционните повърхнини.*

За да се гарантира нулево геометрично плъзгане е необходимо пресечната точка на осите на ротация x_1 и x_2 да лежи върху тангентата в точката на контакта - $\tau - \tau$. Както се вижда от фиг. 1 това не е изпълнено, следователно в полюса на центроидния механизъм – т. P звената се плъзгат със скорост V_{P12}.

Скоростта на плъзгане -V_{12} между повърхнините на звената 1 и 2 разглеждана в т. С се получава от изразът

$$V_{P12} = V_{P1} - V_{P2}, \qquad (1)$$

където V_{P1} и V_{P2} са скоростите на т. P като точка съответно от зв. 1 или зв. 2. Скоростта на т. P $\left(V_{P1} = r_1.\omega_1\right)$ като точка от зв. 1, както е видно от фигурата се дава чрез равенството

$$V_{C1} = \left(h - \rho_2\right).\omega_1 \qquad (2)$$

За скоростта $V_{P2} = r_2.\omega_2$ от триъгълника, включващ ρ_2 и r_2, може да се запише :

$$V_{P2} = \rho_2 \cos\theta_2.\omega_2 \qquad (3)$$

След заместване на (2) и (3) в (1) за скоростта на плъзгане в полюса на центроидната двоица се получава

$$V_{P12} = (h - \rho_2).\omega_1 - \rho_2 \cos\theta_2.\omega_2 . \qquad (4)$$

За оценка на геометричното плъзгане е удачно да се използва отношението

$$\xi_P = \frac{V_{P1} - V_{P2}}{V_{P1}}, \qquad (5)$$

което изразява в проценти съотношението между скоростта на плъзгане и абсолютната скорост в разглежданата точка. Според съвременните изисквания това отношение не трябва да надвишава 20% и то в случай, че фрикционните повърхнини са от стомана и е осигурено необходимото охлаждане на вариатора. В случай че повърхнините са полимерни стойността на ξ се допуска в границите $1\% \div 5\%$.

След заместване на (1) и (4) в (5) се получава изразът

$$\xi_P = \frac{(h - \rho_2).\omega_1 - \rho_2 \cos\theta_2.\omega_2}{(h - \rho_2).\omega_1}, \qquad (6)$$

от който след елементарни преобразувания се стига до

$$\xi_P = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\frac{\rho_2 \cos\theta_2}{(h - \rho_2).\omega_1} . \qquad (7)$$

Предавателното отношение на вариатора $i_{V21} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$, което участва в (7), може да се замени с отношението $\frac{r_{V1}}{r_{V2}}$, където r_{V1} и r_{V2} са радиусите на фрикционните тела в полюса на вариатора - P_V. Точката P_V лежи върху оста x_τ, съвпадаща с тангентата $\tau - \tau$, на разстояние „x" от полюса на центроидната двоица - т.P. Площадката на контакта в случая е елипсата с голяма ос $a - b$ и геометричен център съвпадащ с т.P.

Съобразно фиг. 1 може да се запишат релациите

$$r_{V1} = r_{C1} + x.\cos\mu = h - \rho_2 + x.\cos\mu \qquad (8)$$

и

$$r_{V2} = r_{C2} + x.\cos[\pi - (\theta_2 + \mu)] = \rho_2 \cos\theta_2 - x.\cos(\theta_2 + \mu) \qquad (9)$$

и имайки предвид равенството $\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_{V1}}{r_{V2}}$ след заместване на (8) и (9) в (7) се стига до израза

$$\xi_C = 1 - \frac{h - \rho_2 + x.\cos\mu}{\rho_2 \cos\theta_2 - x.\cos(\theta_2 + \mu)} . \frac{\rho_2 \cos\theta_2}{(h - \rho_2)} \qquad (10)$$

Разстоянието „x" [6] се променя с изменение на външното натоварване, т.е. то не може да се определи без да се знае предавания от вариатора въртящ момент. Изразът (10) дава връзката между ξ_C и параметрите $h, \rho_2, \theta_2, \mu, x$, но имайки предвид, че $\rho_2 = \rho_2(\theta_2)$ и $\mu = \mu(\theta_2)$ при $h = const$ и позната функция $\rho_2 = \rho_2(\theta_2)$ може да се построи повърхнина, чието уравнение има вида $F(\xi_C, \theta_2, x) = 0$.

Направените до тук изводи дават възможност за намиране на геометричното плъзгане в полюса на центроидната предавка. Както обаче е известно от теорията [6], то е най-голямо в най-отдалечената точка от полюса на вариатора - P_V. В случая максималното геометрично плъзгане ще бъде в точка b и аналогично на (10) коефициентът ξ_b ще се получава от израза

$$\xi_b = 1 - \frac{h - \rho_2 + (x + Pb).\cos\mu}{\rho_2 \cos\theta_2 - (x + Pb).\cos(\theta_2 + \mu)} . \frac{\rho_2 \cos\theta_2}{(h - \rho_2)}, \qquad (11)$$

който дава възможност да бъде получено максималното геометрично плъзгане в петното на контакта.

3. НАМИРАНЕ МАКСИМАЛНОТО ГЕОМЕТРИЧНО ПЛЪЗГАНЕ ПРИ ПОЗНАТО УРАВНЕНИЕ НА ЕДИНИЯ КОНТУР

Нека е познат центроидният контур k_1 (в разглеждания пример логаритмична спирала) посредством неговото полярното уравнение:

$$\rho_2 = a.e^{k\theta_2} \qquad (12)$$

За ъгълът μ между радиус-вектора и тангентата в точката на контакта е известна зависимостта

$$tg\mu = \frac{\rho_2}{d\rho_2 / d\theta_2} \qquad (13)$$

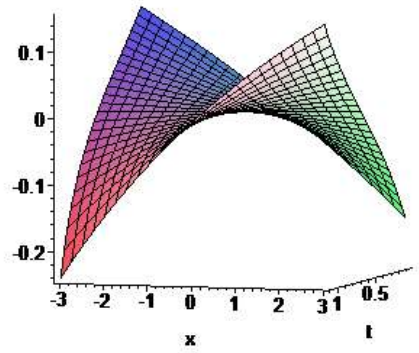
За разглеждания случай тя добива вида

$$\mu = arctg\,\frac{a.e^{k\theta_2}}{da.e^{k\theta_2}/d\theta_2} = arctg\left(\frac{1}{k}\right). \qquad (14)$$

След заместване на (12) и (14) в (10) се получава уравнението

$$1-\frac{h-a.e^{k\theta_2}+(x+Pb).\cos\left[arctg\left(\frac{1}{k}\right)\right]}{a.e^{k\theta_2}\cos\theta_2-(x+Pb).\cos\left(\theta_2+arctg\left(\frac{1}{k}\right)\right)}.\frac{a.e^{k\theta_2}\cos\theta_2}{\left(h-a.e^{k\theta_2}\right)}-\xi_b=0, \qquad (15)$$

което е уравнение на повърхнина от вида $F(\xi_b,\theta_2,x)=0$. Тук е уместно да бъде направено полагането $x+Pb=X$, в следствие на което уравнението на повърхнината ще приеме вида $F(\xi_b,\theta_2,X)$. При определени константи в случая - $h=50mm, a=25mm, k=0{,}5$, може да се визуализира повърхнината, която е дадена на фиг.2

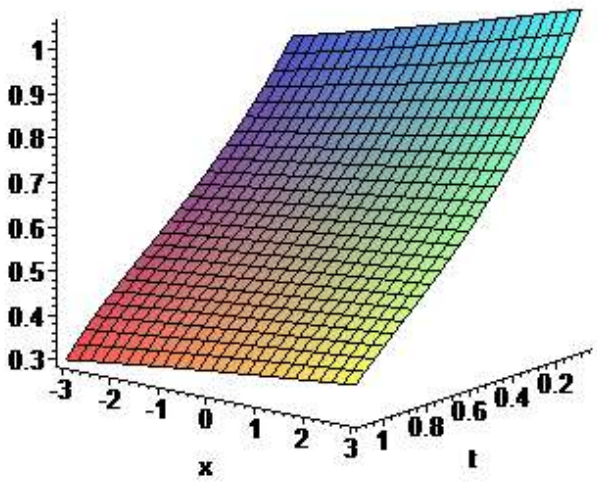


Фиг.2. *Повърхнина определяща геометричното плъзгане във функция от полярният ъгъл θ_2 и разстоянието от полюса P_V на до най-отдалечената точка в петното на контакта*

Както се вижда от фигурата ξ_b достига граничните си стойности при изменение на θ_2 от $0[rad]$ до $1[rad]$ и изменение на x от $-3[mm]$ до $3[mm]$. Също така като се има предвид предавателното отношение на вариатора, което се дава от релацията

$$i_{V21} = \frac{r_{V1}}{r_{V2}} = \frac{h - \rho_2 + x.\cos\mu}{\rho_2 \cos\theta_2 - x.\cos(\theta_2 + \mu)} \qquad (15)$$

след заместване с познатите параметри се получава изменението на предавателното отношение във функция от аргументите θ_2 и x, представена на фиг. 3.



Фиг.3. *Изменение на предавателното отношение на вариатора* i_{V21} *във функция от полярният ъгъл* θ_2 *и разстоянието между полюсите на вариатора и центроидният механизъм*

Съвместният анализ на повърхнините от фиг. 2 и фиг. 3 показва следното: Достигането на максимално допустимите стойности на геометричното плъзгане (фиг. 2) става при изменение на предавателното отношение на вариатора i_{V21} от 0,3 до 1, което показва, че диапазонът на регулиране е 3. Като се има предвид, че диапазоните на регулиране на съвременните вариатори са около 10 вариатора разгледан в настоящата работа е с крайно недостатъчен за общият случай диапазон.

Справедливо е да се отбележи също, че е желателно предавателното отношение да се и изменя, така че да се реализира и редукция, и мултипликация на входящата ъглова скорост, което в разглеждания случай е невъзможно.

4. ИЗВОДИ

Настоящата работа е естествено продължение на работи [1], [2], [3] като необходима част от геометричния синтез и анализ на фрикционни вариатори със центроидни образуващи.

Изведените зависимости и даденият пример сочат, че при въпросните вариатори геометричното плъзгане остава нерешен проблем. Освен това, за посочения пример се вижда, че граничните стойности на геометричното плъзгане значително (за някои случаи и недопустимо) стесняват диапазона на регулиране.

След казаното до тук е справедливо обаче да се отбележи, че направените анализи се отнасят само за един пример –образуваща, дефинирана като логаритмична спирала.

По-нататъшните теоретични изследвания е редно да бъдат насочени към въпроса за намиране на други центроидни образуващи криви, при които геометричното плъзгане да бъде намалено, което ще позволи реализиране на по-големи диапазони на регулиране.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Стоичков К.Геометричен и кинематичен анализ на фрикционен вариатор със центроидни образуващи на работните повърхнини, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ., бр.2. 2011г. под печат.*

[2] Стоичков К., Геометричен синтез и анализ на фрикционен вариатор със центроидни образуващи на работните повърхнини по зададена първа предавателна функция на центроидния механизъм, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ., бр.2. 2011г. под печат.*

[3] Стоичков К., Геометричен синтез и анализ на фрикционен вариатор със центроидни образуващи на работните повърхнини по зададен закон за изменение на предавателната функция на вариатора, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ, бр.2. 2011г. под печат.*

[4] Стоичков К., Николов Н., Анализ и синтез на фрикционен предавателен механизъм с минимизирано плъзгане, *Трибологичен журнал БУЛТРИБ., бр.1. 2010г., с.54.*

[5] Стоичков К. Теоретични основи за създаване на фрикционен вариатор с нулево геометрично плъзгане. *Механика на машините 2009г., кн.2.*

[6] Пронин, Б., Ревков, Г., Безступенчатие клиноременные и фрикционые передачи. *Машиностроение, Москва 1980.*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ВЪРХУ ВЪЗМОЖНОСТИТЕ НА ЛАЗЕРНАТА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ПОНИЖАВАНЕ НА ГРАПАВОСТТА НА СТОМАНА ST 304

***Явор Софронов*[1], *Анна Димитрова*[2],**
***Ина Янкова*[3], *Николай Николов*[4], *Георги Тодоров*[5]**

[1] *кат. ТММ, МТФ, ТУ-София, E-mail: engineer@dir.bg*
[2] *кат. МТМ, МТФ, ТУ-София, E-mail: a_dimitrova@tu-sofia.bg*
[3] *кат. МТМ, МТФ, ТУ-София, E-mail: iyankova@tu-sofia.bg*
[4] *кат. ТММ, МТФ, ТУ-София, E-mail: nickn@tu-sofia.bg*
[5] *кат. ТМММ, МТФ, ТУ-София, E-mail: gdt@tu-sofia.bg*

ON THE CAPABILITIES OF THE LASER TECHNOLOGY FOR SMOOTHING THE ROUGHNESS OF STEEL ST 304

***Yavor Sofronov*[1], *Anna Dimitrova*[2],**
***Ina Yankova*[3], *Nikolay Nikolov*[4], *Georgi Todorov*[5]**

[1] *TMM Dept., FIT, TU-Sofia, Bulgaria, E-mail: engineer@dir.bg*
[2] *MST Dept., FIT, TU-Sofia, Bulgaria, E-mail: a_dimitrova@tu-sofia.bg*
[3] *MST Dept., FIT, TU-Sofia, Bulgaria, E-mail: iyankova@tu-sofia.bg*
[4] *TMM Dept., FIT, TU-Sofia, Bulgaria, E-mail: nickn@tu-sofia.bg*
[5] *TMTM Dept., FIT, TU-Sofia, Bulgaria, E-mail: gdt@tu-sofia.bg*

Abstract: *The paper is aimed to experimental study and analysis of the micro milling laser technology capabilities for manufacturing and follow surfaces roughness improvement by cleaning and smoothing. The study was worked out of the case of steel ST 304.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Лазерното микро фрезоване е нова и бързо развиваща се технология [1]. Процесът на лазерна обработка се основава на феномена на лазерното отразяване, където материалът е изложен на високофокусирана, импулсна лазерна светлина. Поради високата си енергийна плътност лазерният лъч нагрява материала до много висока температура, при което малък обем от него се изпарява моментално, фиг.1. Премахването на материала чрез обхождане на повърхността по този начин е много сходно с обикновените методи за обработка.



Фиг. 1. *Схема на лазерна обработка*

Импулсът на лазерната светлина е особено важен за качеството и скоростта на обработката на материала. Вече има разработени лазери с импулси на сигнала от порядъка на фемтосекунди. Колкото по-голям е импулсът на лъча, толкова по-бързо ще се обработва материала, но получената повърхност ще бъде с по-лошо качество. В много случаи има допълнителни изисквания за грапавостта на обработените повърхнини и след лазерното премахване на материала се налагат допълнителни обработки за подобрението им. Техниките за подобряване на лазерно фрезована повърхнина могат да бъдат групирани в две основни категории. Първата група включва техники за последваща обработка почистване, например ултразвуково почистване и деоксидация чрез байцване или електрохимично полиране. Към втората група се отнасят техниките за машинно подобряване на повърхнината, към които се отняся и разглежданото в тази работа лазерно полиране (Laser Polishing) [2-5], извършвано на същите машини, на които се извършва микро фрезоване.

Практическата част от настоящата работа е обработката на стомана ST 304, като задачата е установяването на оптимални параметри на процеса за

постигане на най-голямо понижаване на грапавостта на изследвания материал. Обработката ще се извърши на машина за лазерно микро фрезоване Lasertec 40.

2. ЛАЗЕРНО ПОЛИРАНЕ

Неравностите и грапавостта по повърхността или по части от повърхността на детайла оказват силно влияние върху неговите свойства и функции, включително износване и устойчивост на корозия, трибологични свойства, оптични свойства, както и визуалната представа която създава у потребителя, фиг. 2.



Фиг. 2. *Лазерно полирана повърхност*

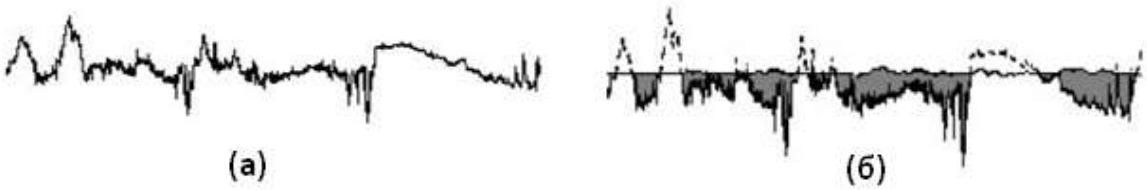
Във формоването, изработването на детайли и различни видове продукти, полирането често е последната стъпка за обработка – в автомобилостроенето, машиностроенето и много други сектори от леката и тежка промишленост, за създаване на медицински инструменти и дори за хапчета и някои видове храни. Полираните повърхности трябва да са без замърсявания и да създават минимално триене или сцепление.

Без съмнение има много-голяма гама от механични машини за полиране, но на практика те могат да се използват само за сравнително прости геометрични повърхности. Когато формата е по-сложни или са налице трудно достъпни части – както често се случва с шприцформите за пластмасови изделия – единствените варианти са ръчно или алтернативно полиране.

Нов метод за автоматизирано полиране на метални и неметални детайли е полирането с лазерно лъчение. За разлика от класическия процес, при който за полирането се премахва материал чрез шлайфане, процесът на лазерно полиране не включва никакво премахване на материал, никакъв

допир с инструмента от което следва че не се получава и механично натоварване върху обработваната повърхност.

Лазерното полиране е относително прост процес, но прилагането му се възпрепятства поради трудното постигане на задоволителни резултати в следствие на сложните явления, които възникват по време на обработката. Процесът представлява повърхностна обработка, по-точно казано повърхностно разтопяване на микроиздатини с помощта на лазерна енергия. След като се разтопи материала се отлива в микровдлъбнатините от същата повърхност и ги запълва. По този начин се забелязва че имайки начална висока грапавост на повърхнината (фиг.3.а), след разтопяването на тънък слой материал може да се получи значително подобряване на микрогеометрията на слоя – намаляване на неговата грапавост (фиг.3.б).



Фиг. 3. *Профил на повърхността: преди (а) и след (б) лазерно полиране*

На първо място, в процеса на полиране, е важно енергията да засегне само материала от зоната за обработка, тоест профилните микронеравности, тъй като процеса няма за цел промяна на макрогеометрията на детайла. Това значи че намалено количество енергия трябва да бъде концентрирана в зоната за обработка за да се избегне промяна на работната форма (в случай на тънкостенни детайли). От друга страна прекалено високата енергийна плътност (близка до тази за рязане или заваряване) би увеличила твърде много дебелината на материала за разтопяване и дори е възможно да изпари ненужно част от него.

Става ясно, че основният параметър който трябва да се следи е количеството енергия с което се облъчва материала в зоната за обработка. Тази енергия зависи от два основни фактора:

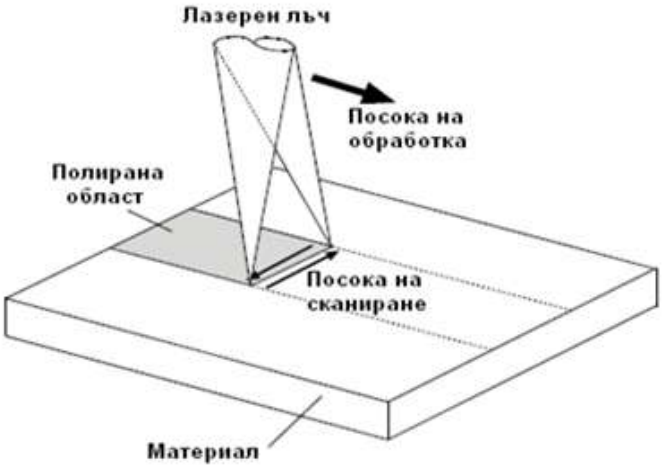
Скорост на придвижване на лазерния лъч – при високи скорости на придвижване, лъчът покрива голямо пространство от работната зона, от което следва, че повърхността се облъчва с по-малко количество енергия и се затопля по малко.

Енергийна плътност на лъча – по своята същност, се разделя основно на два параметъра:

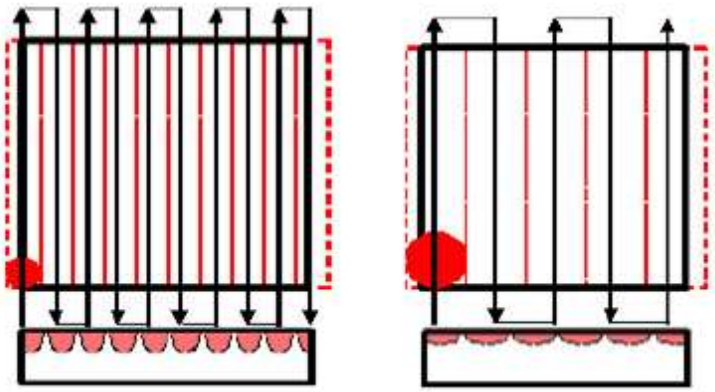
- Обща мощност – мощността концентрирана в лъча, която може да бъде коригирана чрез промяна на индекса от генератора.
- Диаметър на лъча – или диаметър на точката на лазерния лъч, която основно зависи от типа на лазера и фокусното разстояние. Разпределението на енергията се определя от лазерния режим на работа, който зависи от типа на генератора.

В процеса на полиране, с цел да се избегне разтопяването на твърде дълбок слой, количеството енергия върху повърхността за обработка трябва да бъде редуцирано. Ето защо скоростта на лазерния лъч е максимизирана, което води до намаляване на работното време за обработка на избрания участък. Схемата за обработка представлява последователно сканиране на повърхността както е показано на фиг.4.

От друга страна след като процесът на работа се установи, възникват две възможности: намаляване на мощността или увеличаване на диаметъра на лазер-ната точка. Тези два варианта имат еднакъв ефект, тоест енергийната плътност намалява, имайки в предвид практическия аспект на обработката. Ако изберем варианта за увеличаване на диаметъра на лазерната точка, можем да обработваме по голяма повърхност от материала за единичен ход на лазерния лъч. Този факт е важен, тъй като за пълното полиране на дадена повърхност е необходимо наслагване на пътищата по които се движи лазерния лъч. От това се вижда, че колкото по голям е диаметъра на лазерният лъч на повърхността за обработка, толкова повече намалява работният път на лазера за обработване, както е показано на фиг.5.



Фиг. 4. *Схема на последователно лазерно сканиране*



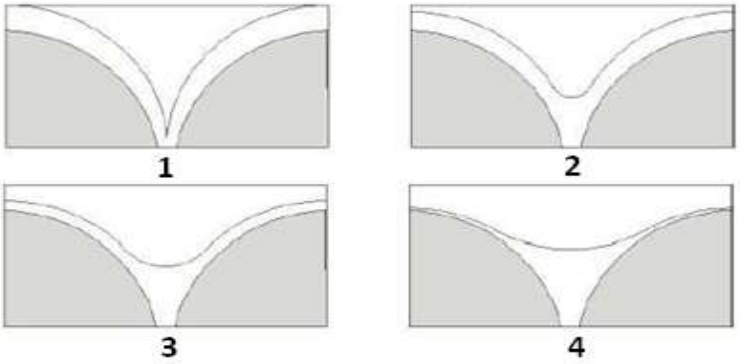
Фиг. 5. *Лазерно полиране с различен диаметър на лъча*

За момента има два механизма, които служат за повърхностното модифициране при лазерното полиране: Повърхностно плитко топене (Surface Shallow Melting – SSM) и Повърхностно претопяване (Surface Over Melting – SOM). Принципът за всеки един от двата механизма се определя от комбинацията между мощност и скорост на лазерния лъч, както и от началната грапавост (Ra) на повърхнината преди обработката.

Повърхностно плитко топене. Нарича се плитко поради това че се обработва повърхностен профил от работния материал, който може да бъде видян със сканиращ електронен микроскоп (СЕМ), съдържащ микровдлъбнатини и микроиздатини. Когато лазерен лъч с достатъчно енергия е насочен към повърхността, микроиздатините бързо достигат до температура на топене.

Ако скоростта на движение на лазерния лъч е достатъчно голяма, тогава се разтапя тънък слой материал. Този стопен материал ще се стече в микровдлъбнатините поради наклона, повърхностното напрежение и силата на тежестта. По този начин ще се получи намаляване на профила на височина и дълбочина на микрогеометрията на повърхността.

За пример може да се вземе метално-синтерована повърхност, която е съставена от сфери, обединени около средния си диаметър, който е еквивалентен на началния прах (суровия материал). Микроиздатините се явяват като горната част от сферите, а микровдлъбнатините съвпадат с пространството образувано между тангенциални сфери.



Фиг. 6. *Схематично представяне на процеса на повърхностно плитко топене*

Когато лазерният лъч попадне върху работната повърхност, повърхността, включително и вътрешния диаметър на сферите достигат температура на топене. След като започне процеса на топене, разтопения материал се стича от горната част на сферите към микродепресите, изравнявайки профила на повърхността както схематично е показано на фиг.6. от 1 до 4.

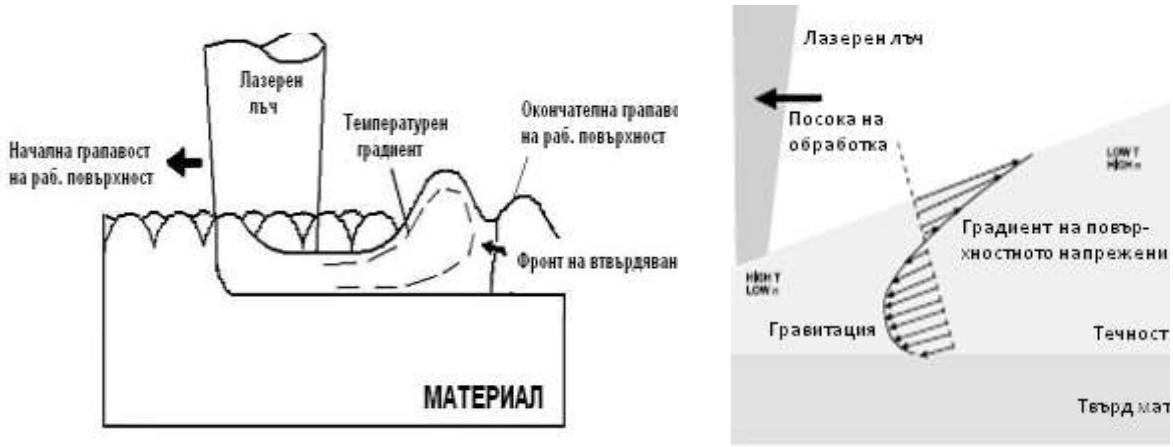
Повърхностно претопяване. Ако работната скорост на лазерният лъч се намали, тогава ще се получи претопляне на работната повърхност. В резултат от това ще имаме пълно стопяване на контактната повърхност, фиг. 6.



Фиг. 7. *Схематично представяне на процеса на повърхностно претопяване*

При повърхностното плитко топене грапавостта се намалява като се увеличи скоростта на обработка с лазера. Ако намалим скоростта, времето за взаимо-действие между лазерният лъч и повърхността се увеличава, което води до повърхностно претопяване, и дори може да доведе до увеличаване на грапавостта.

Както е показано на фиг.8, движението на лазерния лъч причинява протичане на разтопения материал, към втвърдения фронт, което от своя страна създава подобие на вълни. Този феномен е причинен от разликата между облъчваната и кристализиралата зони, в резултат от движението на лазерния лъч.



Фиг. 8. *Схема на вътрешните напрежения*

Друг повърхностен феномен. Ако полирането е съпроводено с присъствието на кислород, под определено налягане, материалът в зоната за разтопяване има достатъчно време да реагира и да сформира стабилни оксиди. По време на втвърдяването е възможно тези оксиди да се изолират към фронта на втвърдяване и да засегнат промяната на повърхността, поради ниската плътност на тези химически съединения. Още повече, дифузията в течностите се извършва много бързо, позволявайки сформирането на определени оксиди, в зависимост от температурата и

частичното налягане на кислорода. В резултат се оформят сравнително дълги зони материал, във втвърденото вещество от основния материал. Поради сформираните ентропии оксидите приемат тази форма, която по късно представлява по гладка повърхност, отколкото основната матрица от материала. В този смисъл оксидите помагат за намаляване на грапавостта на повърхността.

Основни технологични параметри на процеса. При лазерното полиране основните електро-технологични параметри за работа са сходни с тези на останалите лазерни обработки, както са представени по надолу:

- **Подавателна скорост** *(Va)*

Скоростта на движение на лазерната глава, към работната повърхност, изразена в линейно/скоростна зависимост, най-често мм/мин. Този параметър е мярка за скоростта на обработка и определя времето за взаимодействие между източника на топлина и работната повърхност. При малки скорости, дебелината на термично засегнатия материал се увеличава, докато при по големи скорости ефектът е само повърхностен.

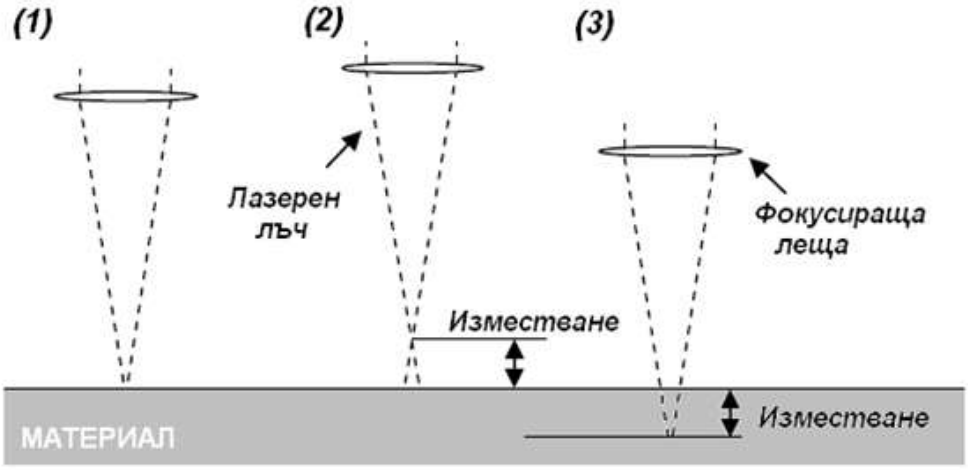
- **Енергия на облъчване**

Това е отношението между енергията на лазерният лъч (обикновено измерена в джаули или ватове) и времето (измерено в секунди). Плътността на мощността (q_p) се изразява като отношение на концентрацията на лазерният лъч и повърхността $[\mathrm{W}/cm^2]$.

- **Фокусно разстояние** *(x)*

Представлява позицията на фокуса, в разстоянието от работната повърхност до точката на фокусиране, където лазерният лъч е конвергентен.

Този параметър определя концентрацията на енергия, която се достига до работната повърхност. Ако отделни, прави и напречни секции от лазерния лъч се разграничат по дължината му, може да се забележи че най-голямата енергийна концентрация е съсредоточена в зоната разположена около точката на фокусиране. Вземайки в предвид изискванията на процеса, фокусната точка се измества от работната повърхност. Когато лазерът е фокусиран точно на повърхността, енергията която доставя е максимално концентрирана на минимална повърхност от работната зона, което води до прекалено затопляне и дори изпаряване на материала. За процеса на лазерното полиране фокусът може да се измества както в положителна посока (над работната повърхност), така и в отрицателна посока (под работната повърхност), фиг.9.

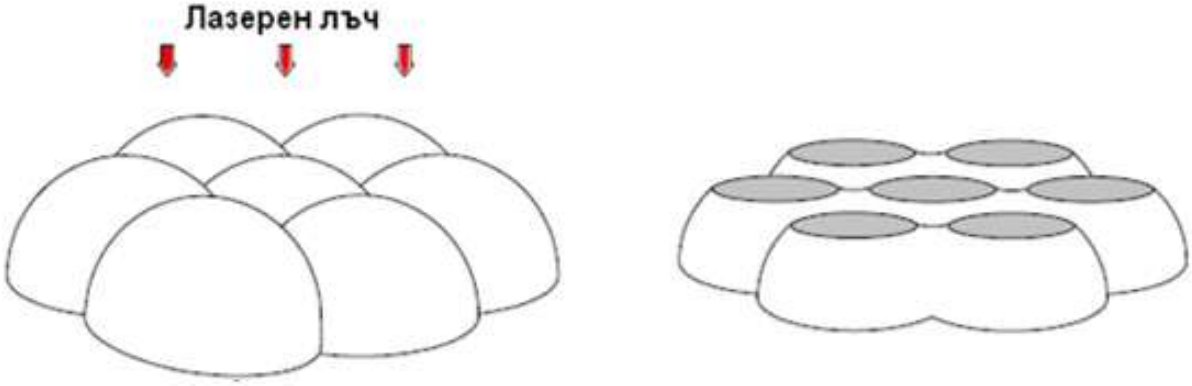


Фиг. 9. *Лазерно микро фрезоване (1), лазерно полиране с фокус над обработваната повърхност (2) и под нея (3)*

- **Газово налягане**

Всеки лазерен процес използва различни видове газове, които имат отличителна роля за процеса на обработка. Различни видове помощни газове, както и газовете от процеса се намират по протежение на лазерния лъч. В зависимост от процеса и материала който ще се обработва, газът може да бъде активен, като кислорода, или инертен газ, като аргон или хелий. Кислородът се използва при рязане на метали, основаващи се на екзотермични реакции, които улесняват процеса на топене. В този случай, газовото налягане оказва влияние на изтеглянето на разтопеният метал. В други случаи, инертен газ може да бъде използван за да се получи разделение между зоната за обработка и външната среда, при постоянно контролирани работни условия. Такъв е и случая с лазерното полиране.

Аналитичен модел на процеса. Нека да вземем за пример модела на метално - синтерована повърхност, схематично представена на фиг.10.



а) *схема на сферична повърхност преди лазерното въздействие върху нея* **б)** *схема на повърхността след като лазерът е разтопил куполите на сферите*

Фиг. 10. *Схематичен модел на метална – синтерована повърхност*

При него приемаме, че повърхността е съставена от сфери обединени около средния си диаметър, който приемаме за еднакъв по повърхността. Микроиздатините се явяват като горната част от сферите, а микровдлъбнатините са пространствата образувани между всеки три тангенциални сфери. Моделът има за цел да детерминира новосъздадената морфология на повърхността от разтопените полусфери и запълнените участъци.

Първата стъпка е да напишем същинското уравнение за енергийният баланс (1), вземайки в предвид повърхностното разтопяване и претоплянето в следствие на потока от енергия (т.е. стационарния лазерен лъч). Енергийният баланс е изразен в условието на разтопения обем от една полусфера V_{MELT}. Нужно е да се представят двата параметъра f_1 и f_2 (показани на фиг.11.а) за пресмятане на отношението между обема на термично засегнатия материал под лазерния лъч (f_1) и общият обем от загрети и разтопени полусфери от ΔT_l само за повърхността, представена с f_2.

$$P(1-\Re)\cdot\Delta t_{INTERACTION} = \left[\rho_s Cp_s \Delta T_s \cdot f_1 + (\rho_s L + \rho_l Cp_l \Delta T_l)\cdot f_2\right]\cdot V_{MELT} \qquad (1)$$

$$f_1 \propto \left[\frac{\alpha_s \cdot \Delta t_{INTERACTION}}{R^2_{PARTICLE}}\right]^{\frac{3}{2}} \qquad f_2 \propto \frac{D^2_{LASER}}{4\cdot R^2_{PARTICLE}} \qquad (2)$$

Времето, през което движещия се лазерен лъч въздейства на сферичната повърхност, е определено от неговия диаметър на въздействие и скоростта на сканиране, представено в уравнение (3).

$$\Delta t_{INTERACTION} = \frac{D_{LASER}}{V_{TRAVERSE}} \qquad (3)$$

Този израз с много добро приближение показва времето, за което стационарният лазерен лъч загрява сферичната повърхност. В табл. 1 са представени всички променливи използвани в горните уравнения.

Обемът полусфери изразен чрез функция на височината z, измерен от височината на сферата до базовата равнина, е представен с уравнение (4). Ако този израз се приравни към V_{MELT}, от уравнение (1), тогава дълбочината на стопяване z_m, може да бъде изчислена като се реши кубичния полином за z.

$$V_{CAP}(z) = \frac{1}{3}\pi z^2 \cdot (3R - z) \qquad (4)$$

Табл.1. *Дефиниция и означения на използваните в уравненията променливи*

Променлива	Дефиниция
P	Лазерна мощност
$\mathcal{R}$	Коф. на отражение
ρ_s	Плътност на твърдата фаза
ρ_l	Плътност на течната фаза
Cp_s	Топлинен капацитет на твърдата фаза
Cp_l	Топлинен капацитет на течната фаза
L	Температура на топене
α_s	Термична дифузия на твърдата фаза
D_{LASER}	Диаметър на лазерната точка
$R_{PARTICLE}$	Радиус на сферичното зърно
$\Delta t_{INTERACTION}$	Време за взаимодействие с лазера
ΔT_l	Макс. температура над топене
ΔT_s	Мин. температура под топене
$V_{TRAVERSE}$	Работна скорост на лъча

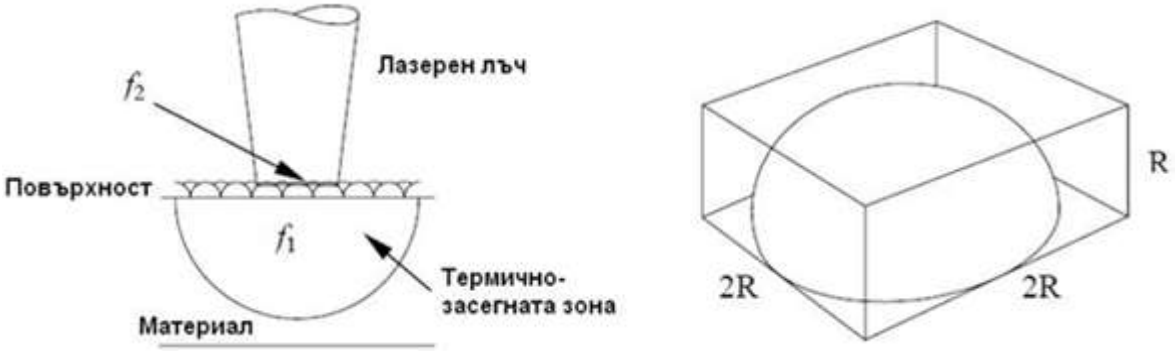
Обемът сферични сегменти е представен от уравнение (5). Изразът, представящ обема на празнините, които ще бъдат запълнени от V_{MELT}, представлява уравнение (6).

$$V_{SEGMENT}(z) = \frac{1}{6}\pi z \cdot (6R^2 - 2z^2) \qquad (5)$$

$$V_{FILLED}(z) = 4R^2 \cdot z - V_{SEGMENT}(z) \qquad (6)$$

.

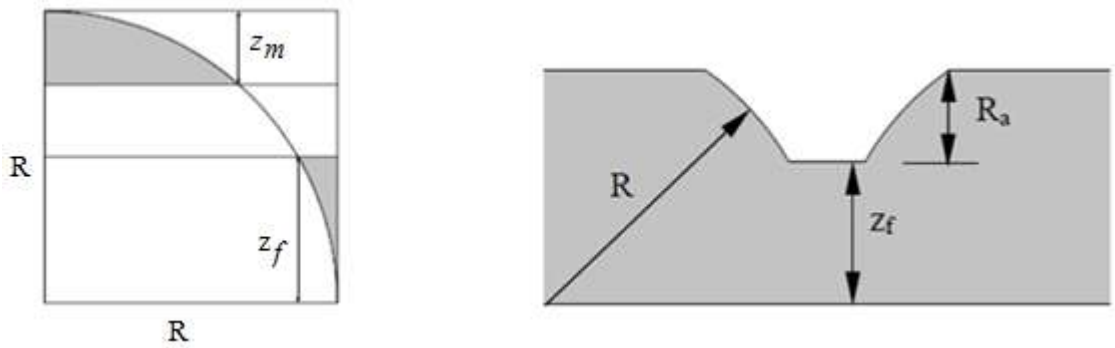
Последното е получено от изваждането на обема сферични сегменти към височината z, уравнение (5), от обема на паралелепипед (размерите му са: основа $4R^2$ и височина z), както е показано на фиг. 11.б.



а) *област, представяща същинското уравнение на енергиен баланс* **б)** *полусфера, вписана в паралелепипед*

Фиг. 11. ***Схема на модела на разтопяване на сферична повърхност***

За да намерим височината на скритите вдлъбнатини z_f, уравнение (6) се приравнява на уравнение (4), от което се получава стойност за z_m, това е изобразена на фиг.12.а. За намиране на стойността на z_f отново трябва да бъде решен полином от трети ред.



а) *отношение между бълбочината на* **б)** *идеализиран разрез след лазерно разстопяване и височината на запълване полиране*

Фиг. 12. *Схема за определяне на неравностите на повърхността и стойността на Ra*

Уравнение (7) представя израза за средноаритметичната грапавост на повърхността като функция от радиусите на сферите, отнесено към специфичната големина на сферичните сегменти. Изразът изчислява средноаритметичното разстояние от върха на издатината, до дъното на вдлъбнатината (т.е. $R_i - z_m - z_f$), за N на брои различни сферични зърна (фиг.12.б).

$$R_a \approx \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{(R_i - z_m) - z_f}{2}}{N} \qquad (7)$$

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ

Използваният материал за това изследване е неръждаема стомана ST 304, характеризираща се с физико-термични свойства, представени в табл.2.

Таблица 2. *Физико-термични свойства на ST 304*

Свойства на материала	**ST 304**
Плътност при 21°C, [kg/m^3]	8238
Топлопроводност, [W/m.K]	13.4
Специфичен топлинен капацитет, [J/kg.K]	468
Температура на топене, [K]	1670
Температура на кипене, [K]	3173

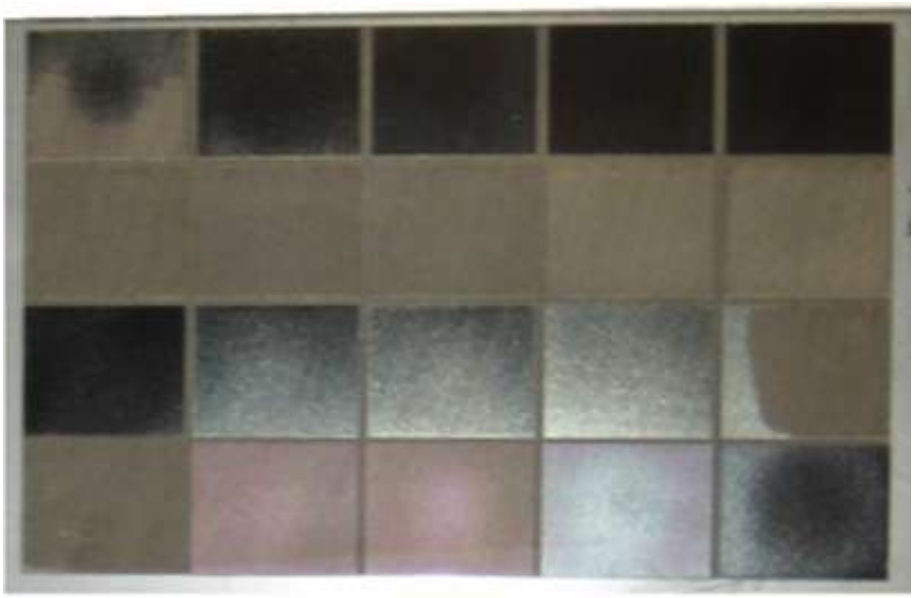
Материалът е избран поради добрата си обработваемост. С цел да се избегне наследствеността от топографията на първоначалната повърхност, пробата е шлифована до $Ra_{изх}$ = 0,167 ± 0,035 μm. За намаляване на негативните ефекти върху грапавостта на крайната повърхност, получени от интензивното окисляване при досега с въздух на нагрети микрообеми от метала, преди измерване заготовката се почиства в ултразвукова вана.

Параметърът, чиято промяна ще бъде изследвана в настоящият опит, е изместването на фокусното разстояние спрямо най-горната повърхност на материала. В рамките на това експериментално изследване отместването на фокуса варира от -2 mm до 2 mm. За да се оцени подобряването на резултатната повърхност са обработени джобове върху заготовката с нулево отместване на фокуса, представляващо нормална обработка на лазерно фрезоване. За да се намерят оптималните параметри на процеса за обработване на материала се извършват серия от експерименти. На всеки 8 слоя се измерва дълбочината след обработка и се изчислява средната дебелина на слоя отнет материал. Чрез тази итеративна процедура е настроен процесът за лазерно фрезоване на слой с дебелина 1 μm. Настройките на процеса са представени в табл. 3.

Таблица 3. *Настройки на процеса за обработка*

Параметри	**ST 304**
Големина на тока на лазерния излъчвател, I [%]	21,5
Честота, f [kHz]	30
Скорост на сканиране, V [mm/s]	300
Продължителност на импулса, [μs]	10
Стъпка на щриховане, [μm]	8
Размер на джоба, [mm]	10x10

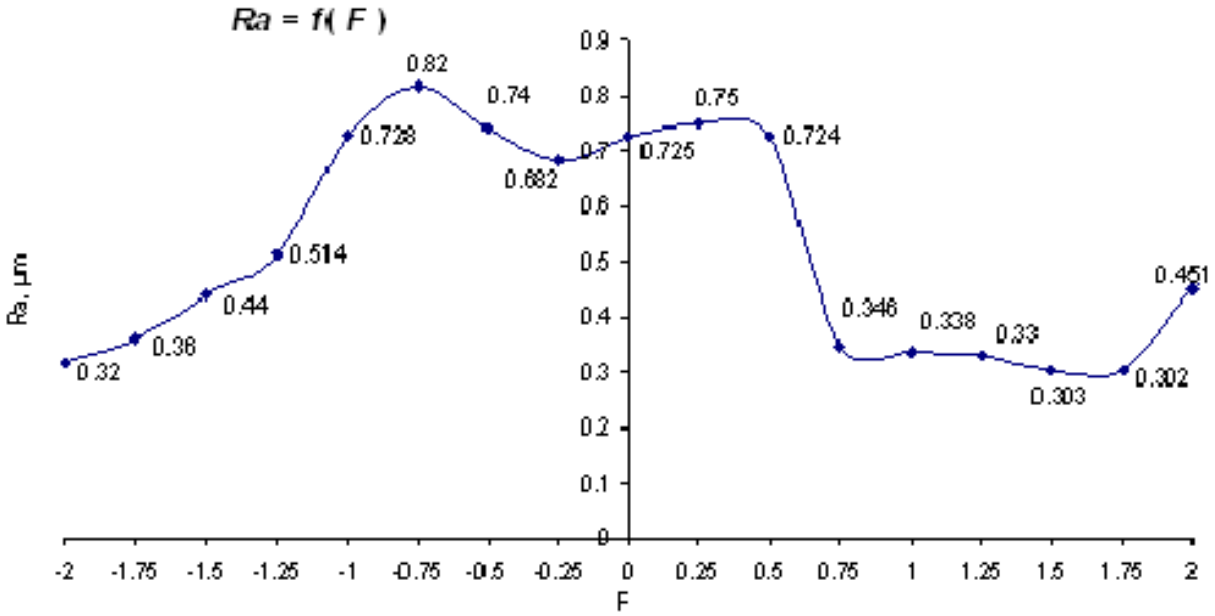
Експериментите са направени в МТФ НА ТУ-София с лазерна машина DML Lasertec 40 с наносекунден Nd:YAG лазер. След обработката на детайла при различните режими на работа, работната повърхност добива вида представен на фиг.13. Всеки един от квадратните сектори които се виждат на фигурата, съответства на обработка при различно изместване на фокуса на лазерният лъч.



Фиг. 13. *Работна повърхност на опитната проба след обработката*

След измерване на грапавостта е построена графика, отразяваща зависимостта от получената стойност спрямо изместването на фокусното разстояние, фиг.14.

Забелязва се, че за стомана ST304 графиката е относително симетрична спрямо нулата, която представлява процесът на самата обработка. Получените грапавости в средата на интервала са със стойности близки до тези на обработката, това е така тъй като отместването е незначително и интензивността на лазерния лъч е достатъчна, за да бъде извършен процеса лазерно фрезоване и от повърхността реално продължават да бъдат отнемани слоеве с дебелина близка до 1μm. Оптимален резултат от процеса на полиране на стомана ST304 се наблюдава в интервала 2÷1,75mm над- и подфокусно разстояние. В този интервал от така избраните параметри на процеса се наблюдава ППТ на материала, в следствие от което се получава едновременно отрязване на върховете на грапавините и стопяване на части от тях, които се разливат в по-ниските участъци. Също така от резултатите се наблюдава интервал, в които стойностите за грапавостта надвишават измерените при нормална обработка, +/- 0.5 mm. Повишаването на грапавостта се дължи на повърхностното претопяване, причинено от недостига на енергия за изпаряване на материала, но в достатъчно количество за разтопяване на цялата микроповърхност при обработката.

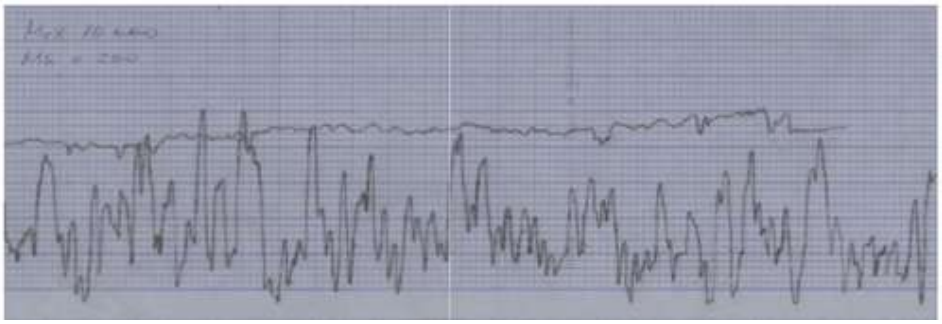


Фиг. 14. *Връзка между измерената грапавост и изместването на фокусното разстояние*

Разликата между началната, лазерно фрезованата и полираните повърхности ясно се вижда на диаграмите получени при профилното измерване на участъци от тях, показани на фиг.15.

От диаграмите се вижда малкото разсейване на грапавините след нормалната обработка на лазерната машина. Въпреки че профилът след нормална обработка (фиг.15.б) е все още доста неравен и ръбест, след обработката повърхността е подобрена като показанието за Ra се понижава с 0.1 µm.

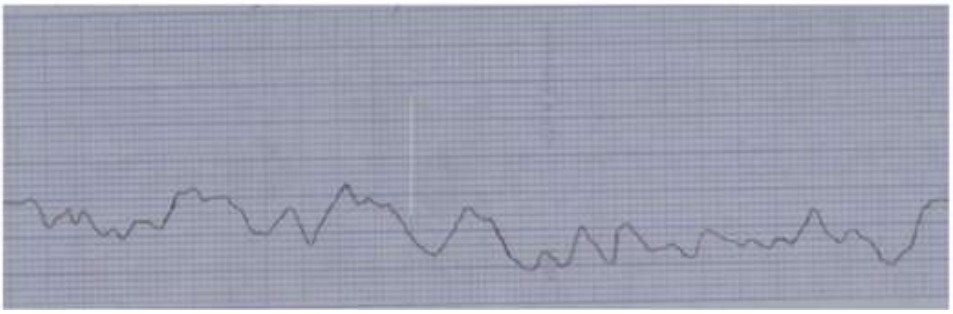
На следващите две диаграми (фиг.15.в,г) са представени диаграмите от обработките при най-сполучливите параметри на процеса, от под и над повърхностното изместване на фокуса. Смятат се за най-сполучливи, тъй като при тях са измерени най-ниските стойности за Ra: Ra = 0.32 µm за изместването на фокуса под обработваемата повърхност и Ra = 0.302 µm при фокусно изместване над повърхността. От диаграмите ясно се вижда разликата преди и след лазерното полиране, като след полирането профилните диаграми показват много по гладка и полегата графика в сравнение с графиките преди полирането. Разликата може да се види и на фиг.16, на която са показани снимки на обработената повърхност при нормално лазерно фрезоване и след лазерното полиране при x = 1.75 mm.



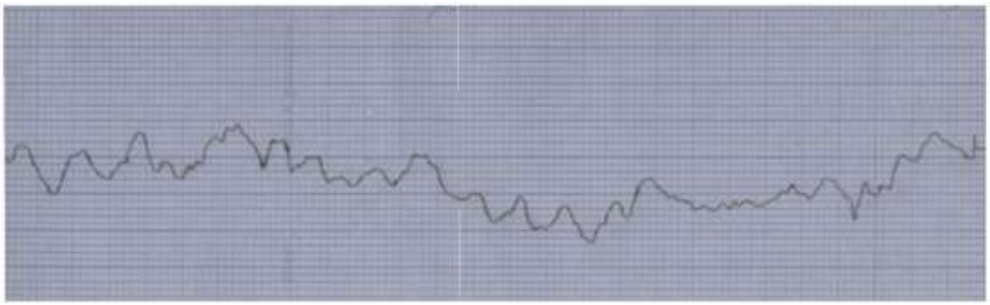
а) *профил на материала преди обработка,* $Ra = 0.827\,\mu m$



б) *профил след миро лазерно фрезоване (* $x = 0$ *),* $Ra = 0.725\mu m$



в) *профил след лазерно полиране при* $x = -2.00\,mm$, $Ra = 0.320\,\mu m$



г) *профил след лазерно полиране при* $x = 1.75\,mm$, $Ra = 0.302\mu m$

Фиг. 15. *Профилна диаграма на опитния материал*



а) *повърхност след лазерно фрезоване (* $x = 0$ *)*



а) *повърхност след лазерно полиране,* $x = 1.75mm$

Фиг. 16. *Повърхности след лазерна обработка*

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящата работа е представена техника за микро почистване/полиране на предварително лазерно фрезована повърхнина. Техниката използва дефокусиран лазерен лъч, който сканира повърхността по същия начин, както при обикновено лазерно фрезоване.

Спецификата на процеса зависи от много фактори, някои от които се явяват като недостатъци, но в повечето случаи, погледнато от друг ъгъл, тези недостатъци се трансформират в едни от най-големите предимства на процеса.

Резултатност – Това е най-голямото и важно предимство на лазерното полиране. Самата дефиниция на процеса дава като резултат заглаждането на работната повърхност, което е и основна цел на процеса. Най-добрите резултати постигнати за сега са заглаждане до Ra = 0.28 μm, на проба от инструментална стомана.

Машини за извършване на процеса – Голямо предимство на лазерното полиране е че се извършва от същите машини на които се извършва и лазерното фрезоване. Това спестява преустановяването на детайла на

отделна мащина за финишна обработка (както и нуждата от такава), като по този начин подобрява общото време за обработка на готовия детайл. Този признак има и своите отрицателни черти, тъй като машините за лазерна обработка и тяхната поддръжка са изключително скъпи.

Размер на обработваните детайли – Поради факта, че лазерното полиране се извършва от същите машини, както и лазерното фрезоване, големината на обработваните детайли зависи от големината на работната им зона. Недостатък е, че машините са пригодени за обработка на много малки детайли, но именно тази им специализация е причина за едно от големите предимства на лазерното полиране, а именно възможността за полиране на микродетайли и микроповърхнини.

Настройка на процеса – Процесът на лазерно полиране е сложен и се влияе от много фактори. За получаване на задоволителни и оптимални резултати всички параметри трябва да са в пълен синхрон, а предвиждането и пресмятането на точните резултати при промяна дори на един от тях е изключително трудно. Това е един от основните проблеми при процеса, като за неговото решаване най-често се използват изследвания, при които чрез итеративна обработка на материала при промяна на основните параметри се търси най-сполучливият режим за обработка. По този начин не само се оскъпяват детайлите, но се изразходват допълнително време и ресурси само за започване на процеса.

Механизация на процеса – Механизацията е предимство на процеса, тъй като след неговото започване не се изисква никаква допълнителна намеса до неговото завършване. Като недостатък може да се приеме това, че за задаване на повърхността за полиране се изисква триизмерен CAD модел на зоната, която ще се обработва, като този модел впоследствие се преобразува от софтуера на машината в работни кординати, по които се извършва обработката.

Материали за обработка – Лазерното полиране дава възможност за обработването на много различни видове материали. Въпреки че основно се използва за синтеровани метални материали и полиране на метални повърхнини, процесът може да се прилага и върху неметални материали и сплави.

Специфика на обработката – Специфичният метод на протичане на полирането поражда най-големите предимства на процеса. Поради липсата на обработваш инструмент има възможност за обработка на труднодостъпни повърхности. Безконтактната обработка води и до липсата на каквито и да било допълнителни напрежения върху работната повърхност по време на процеса. Това дава възможност за обработката на много крехки детайли, неподлежащи на механична обработка. Също така методът не включва каквато и да е промяна на макрогеометрията на обработваният детайл, като само намалява микрограпавините на обработената повърхност.

Време за извършване на процеса – В сравнение с ръчното полиране, при което средното време за обработка е от порядъка на 10 да 30min/cm², лазерното полиране е в пъти по бързи като при него могат да се достигнат скорости от 10 до 200s/cm². Не само, че процесът е по бърз, но и качеството на повърхнината при ръчното полиране до голяма степен зависи от уменията и опита на човека, които извършва операцията, а поради точността и монотонността на операцията много трудно се намират способни хора.

При всички разгледани изследвания, както и от резултатите от практическия опит, който беше извършен, се наблюдава подобряване на резултатната повърхност при определени режими на работа. Доказаната резултатност на процеса е причината за все по-голямото му навлизане в инженерната практика и по-честото му избиране за финализираща обработка. Въпреки многото си предимства пред останалите методи, изследванията върху лазерното полиране продължават, с цел отстраняване и на немалкото недостатъци, характеризиращи процеса.

Интерес за инженерната практика би представлявало съчетаването на лазерно полиране и последващо електрохимично полиране, което ще бъде поле на следващи изследвания на авторите.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследванията, отразени в настоящата статия, са финансирани по договор № ДУНК-01/03/12.2010 *„ УНИК за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нано технологии и материали, енергийната ефективност и виртуалното инженерство”* между НИС при ТУ-София и ФОНД “НАУЧНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ”, МОМН на РБ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Dobrev, T. Investigation of laser milling process characteristics for micro tooling applications. *PhD thesis, University of Wales*, Cardiff, Dec 2005.

[2] Hsu, H.T. J. Lin. Thermal-mechanical analysis of the surface waves in laser cleaning. *Int. J. of Machine Tools & Manufacture, Vol. 45*, 2005, pp.979-985.

[3] Curran, C., K.G. Watkins, and J.M. Lee. Effect of wavelength and incident angle in the laser removal of particles from silicon wafers. *20th International Congress on applications of laser and electro-optics ICALEO, Jacksonville*, Oct 2-5, 2001.

[4] Coupland K., P.R. Herman, and Bo Gu. Laser cleaning of ablation debris from CO2 – laser – etched vias in polyiamide. *App. Surface Science, Vol.127-129*, 1998, pp.731-737.

[5] Shao T.M., M. Hua, H.Y. Tam, E.H.M. Cheung. An approach to modeling of laser polishing of metals. *Surface and Coatings Tech., Vol. 197, Issue 1*, 2005, pp.77-84.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

СЪЗДАВАНЕ НА МЕЖДИНЕН ЛЕГИРАН СЛОЙ В МАТРИЦА ОТ НИСКОВЪГЛЕРОДНА СТОМАНА ЧРЕЗ ПЛАЗМЕНО НАВАРЯВАНЕ

***Райна Димитрова*[1], *Манахил Тонгов*[2], *Рангел Рангелов*[3]**
[1] *Технически университет-София r_dimitrova@ tu-sofia.bg*
[2] *Технически университет-София, tongov@dir.bg*
[3] *Технически университет-София rafo@ tu-sofia.bg*

CREATION OF INTERNAL ALLOYED LAYER WITHIN A LOW CARBON STEEL MATRIX BY PLASMA ARC SURFACING PROCESS

***Rayna Dimitrova*[1], *Manahil Tongov*[2], *Rangel Rangelov*[3]**
[1] *Technical University, Sofia, Bulgaria; E-mail: r_dimitrova@ tu-sofia.bg*
[2] *Technical University, Sofia, Bulgaria; E-mail: tongov@dir.bg*
[3] *Technical University, Sofia, Bulgaria; E-mail: rafo@ tu-sofia.bg*

Abstract: *In the present work are investigated the creation possibilities of internal alloyed layer with high carbon contend and decreased hardness within a low carbon matrix using a method of preliminary coated graphite based alloying material by the plasma arc surfacing process with solid wire electrode. There are obtained experimental results after metalographic analysis and microhardness profile within the surfaced metal. The investigation is related to the topic and is funded by the Ministry of Education and Science according to the contract ДУНК-01/3 of the Technical University – Sofia entitled* ***„Development of University Research Complex for Innovations and Knowledge Transfer in the area of micro/nano technologies and materials, energy efficiency and virtual engineering****".*

1. УВОД

Плазменото наваряване е вид технология за нанасяне на покрития от различни метали и сплави върху повърхнините на детайлите с оглед създаване на повърхностен слой със специални свойства. Наваряването на работните повърхности на детайлите, чрез нанасяне на метал с определен химичен състав и физико-механични свойства, повишава тяхната дълготрайност и износоустойчивост. Експлоатационните свойства на наварените повърхнини до голяма степен се предопределят от химическия състав на наварения материал. Легирането на наварения метал се осъществява в процеса на капкообразуването посредством контакта на разтопения електроден метал с газовата среда и допълнително внесения материал (метал или флюс).

Основните признаци, по които следва да се оценява методът за легиране, са: еднородност на състава по обема на наварения слой; икономичност; удобство при прилагане на метода на легиране и пр. Легирането може да се извърши за сметка на: - обменни реакции между метала и шлаката; - чрез газовата среда; - чрез въвеждане на специални добавки. Най–широко приложение е получило легирането чрез въвеждане в заваръчната вана на метални сплави, чисти метали, карбиди, нитриди, които обикновено се постига с помощта съответните методи за наваряване.

За внасянето на легиращите елементи в наварения метал се използват следните методи: - използване на плътни електродни телове или ленти; - използване на шихтови електроди (тръбна електродна тел или шихтова лента); - използване на нисковъглеродна електродна тел или лента и легиран флюс, керамични флюси и др.; - използване на нисковъглеродна електродна тел или лента и топен флюс с предварително нанасяне на легиращите елементи върху наваряваната повърхнина.

Легирането на наварения метал с плътна електродна тел или лента е традиционно приет похват, при който зададения химически състав се получава при сравнително широк диапазон на изменение режима на наваряване, при който лато легиращите елементи се разпределят равномерно в наварения метал.

Легирането на наварения метал с шихтови електроди има редица предимства, а този метод за постигане на слоеве със специфични свойства е най-широко разпространеният. Навареният метал е еднороден по състав, добре се формира, свободен е от пори и шлакови включвания. Диапазонът на наваряване, при който се получава наварен метал с определен химически състав е достатъчно широк, като химическият състав на наварения метал се определя основно от химическия състав на шихтовия електрод.

При третия метод наваряването се извършва от нисковъглеродни лента

или тел с използването на керамични флюси или флюсови смеси, от които легиращите елементи преминават от флюса към наварения метал в процеса на наваряване. При този метод флюсът е основен източник за легиране и колкото е по-голямо количеството на разтопения флюс, толкова е по-голямо количеството на преминаване на легиращите елементи в разтопения метал. Поради това съставът на наварения метал зависи основно от състава и относителната маса на флюса, както и от режима на наваряване.

При четвъртия метод за легиране посредством пасти, които се нанасят на наваряваната повърхнина с последващо наваряване с ниско въглероден електроден материал, химическият състав на наварения метал се определя от количеството дозирана паста, а така също от съотношението на количеството разтопен легиращ материал и електродната тел. Точното дозиране на шихтата или пастата, нанесена като повърхностен слой, е трудна задача, особено при наваряване на детайли със сложна форма.

Целта на настоящата работа е да се изследва възможността за създаване на междинен легиран слой с високо въглеродно съдържание и повишена твърдост в матрица от нисковъглеродна стомана чрез предварително нанесен легиращ материал на графитна основа в режим на плазмено наваряване с нисковъглероден електроден материал. Използването на нисковъглеродна тел е наложено от икономически съображения и предположението за намаляване на дефектите в наварения слой, в сравнение с методите за легиране при използуване на електроден материал с високо съдържание на легиращите елементи.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ

2.1. Методика за предварително нанасяне на легиращите елементи върху наваряваната повърхнина

Повишеното съдържание на въглерод в наварения метал се осигурява чрез легиране с допълнителнен шихтов материал от графит, нанесен върху плоска основа от нисковъглеродна стомана. За легиращи компоненти са подбрани два шихтови материала на графитна основа: - сребрист (кристален) графит; - черен графит; - и пълнеж от кварцов пясък, марка 01 ПК 016-80 с едрина около 0.16 mm и съдържание на SiO_2 над 98%.

Методиката на нанасяне на легиращия шихтов материал преди наваряването включва следната последователност:

1. Подготовка на сместа за нанасяне – графитът се смесва с водно стъкло в съотношение 1 към 10, разрежда се с вода и се разбърква интензивно до получаване на хомогенен разтвор.

2. Образецът от нисковъглеродна стомана (съдържание на въглерод до 0.12%) се нагрява в пещ до 220^{O}C.

3. Хомогенизираният графитен разтвор се нанася върху повърхността на нагретия образец до получване на плътен непрекъснат повърхностен слой от графит.

4. Образецът с нанесения повърхностен слой се оставя да изстине при стайна температура. За осигуряване на достатъчно легиращ материал при наваряването т.е. повърхностен слой с достътъча дебелина образецът се нагрява и шихтовия материал се нанася неколкократно.

5. Плазмено наваряване с нисковъглеродна тел при следния режим: I= 80 [A], V_H = 30 [mm/min], стъпка 3[mm], брой наварени ивици 6.

Броят на предварително нанасяните повърхностни слоеве е от един до три, като най-добри резултати след наваряването с нисковъглероден електроден материал са получени след трикратно нанасяне, поради което те са представени за дискусия по долу.

За сравнение е използуванана т.нар. „нулева" проба, при която е наварявано с нисковъглероден електроден материал върху свободна от легиращ материал, чиста повърхност на проба от нисковъглеродна стомана.

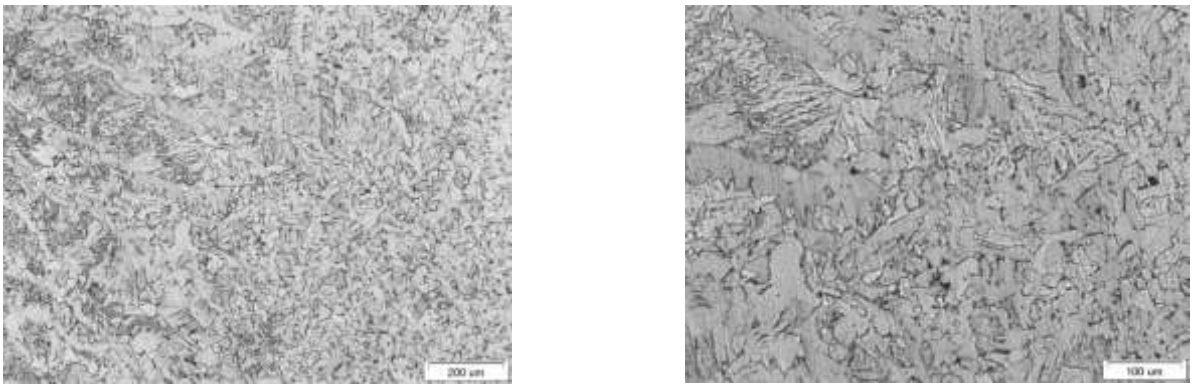
2.2. Експериментални резултати

Металографските изследвания са проведени с оптичен металографски микроскоп „Olympus – GX41", с дигитална цветна камера "Altra 20". Шлифоването е извършено на шкурки от 220 до 1500, полирани са с диамантена паста 1 μm и 1/4 μm. Микроструктурата на основата от нисковъгродна стомана и наварения метал е проявена с разтвор 2% HNO_3

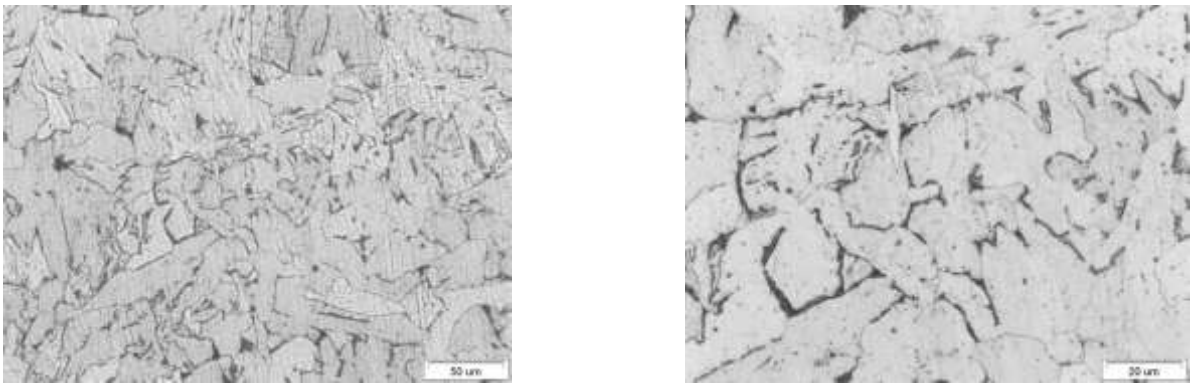
Анализът на получените слоеве, след извършване на наваряването показва, че най-ясно оформен е междинният легиран слой след трикратно нанасяне с черен графит. Наварениият метал върху тези образци е с добър външен вид, като равномерност, непрекъснатост и плътност, поради което по надолу са представени само тези резултати.

2.2.1 Микроструктурен анализ след плазмено наваряване без предварително нанасяне на легиращ материал върху наваряваната повърхнина

Фиг. 1 *Микроструктура в зоната на сплавяване на наварения метал с нисковъглеродната матрица без нанесен легиращ материал*



Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 50 пъти (вляво) и 100 пъти (вдясно)

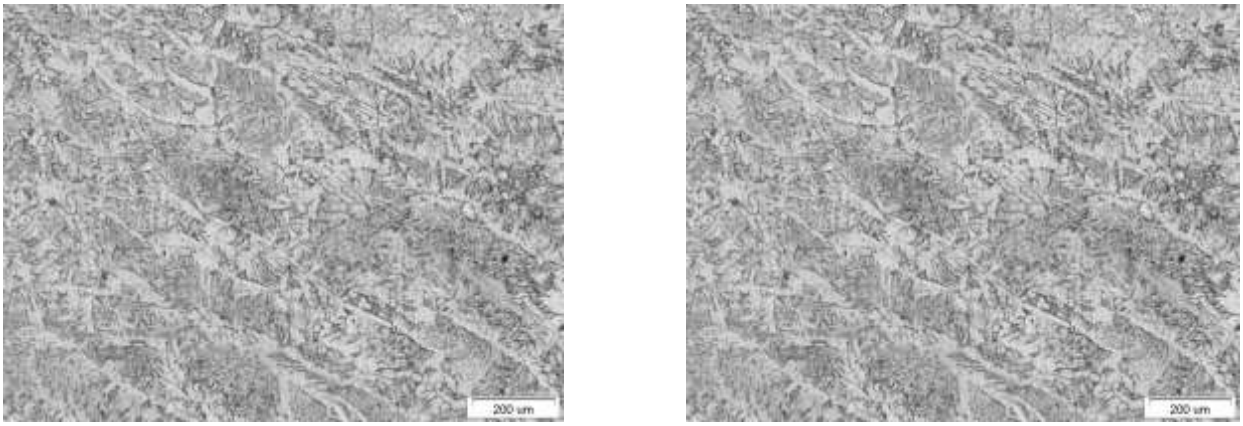


Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 500 пъти (вляво) и 1 000 пъти (вдясно)

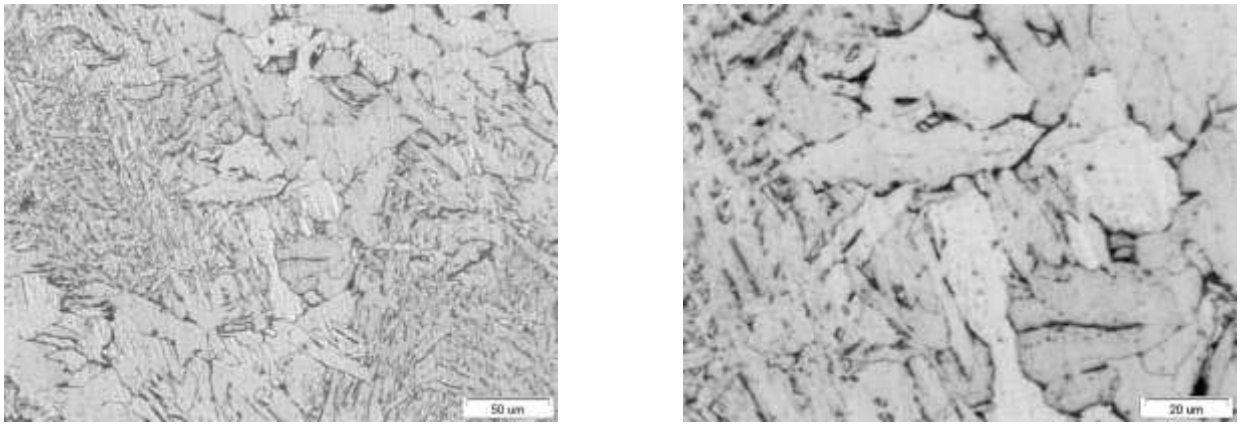
При металографските изследвания на микроструктурата без предварително нанесен легиращ материал (фиг. 1) е установено, че в зоната на сплавяване на наварения метал са оформени само два вида структури – на основния метал ферит и сравнително малко перлит по границата на зърната, която след наваряване се променя във Видманщетенов ферит.

В структурата на наварения материал доминират групи от издължени остри кристали (Видманщетенов ферит), получени при високата скорост на охлаждане след кристализация на течния метал и създаването на неравновесни структури. Липсата на междинен слой е потвърдена и от измерването в дълбочина на микротвърдост по Викерс, чийто графичен вид е даден на фиг. 7. Повишаването на твърдостта към повърхността на наварения метал се дължи на осъщественото легиране в течната фаза и високата скорост на охлаждане след кристализацията на течния метал.

Фиг. 2 *Микроструктура в зоната на наварения метал без нанесен легиращ върху нисковъглеродната матрица материал*



Микроструктура в зоната на наваряване - увеличение 50 пъти (вляво) и 100 пъти (вдясно)



Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 500 пъти (вляво) и 1 000 пъти (вдясно)

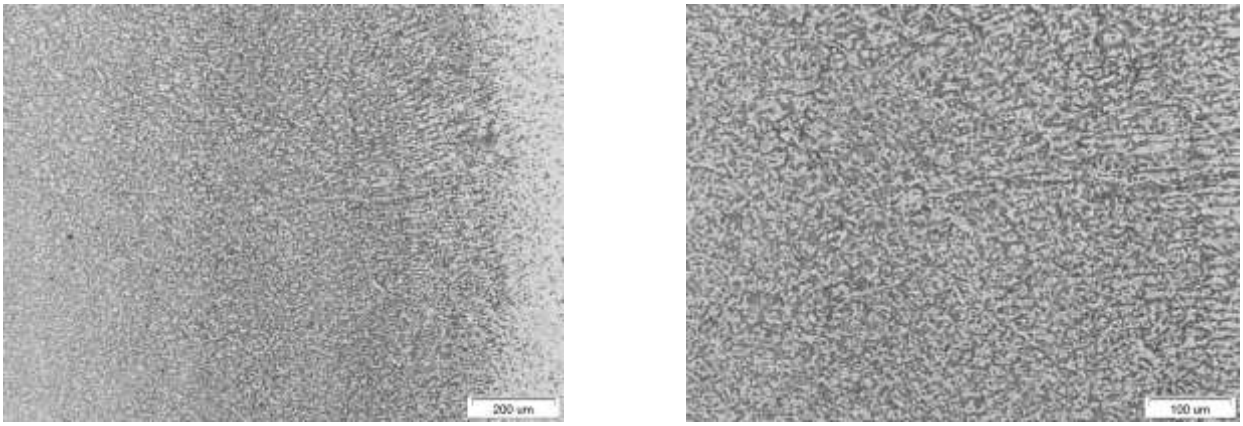
2.2.2 Микроструктурен анализ и микротвърдост след плазмено наваряване с предварително нанасяне на легиращ материал от черен графит върху наваряваната повърхнина

Предварително са извършени три повърхностни нанасяния на легиращ материал от черен графит и водно стъкло, които са дали сравнително равномерен плътен слой с дебелина от около 0.5 мм. Повърхността на предварително нанесения слой е здрава, а той е добре прикрепен към основния материал. Наваренията върху тази основа материал е равномерно разпределен (разлят) без видими дефекти и силни изменения в напречно на повърхността направление.

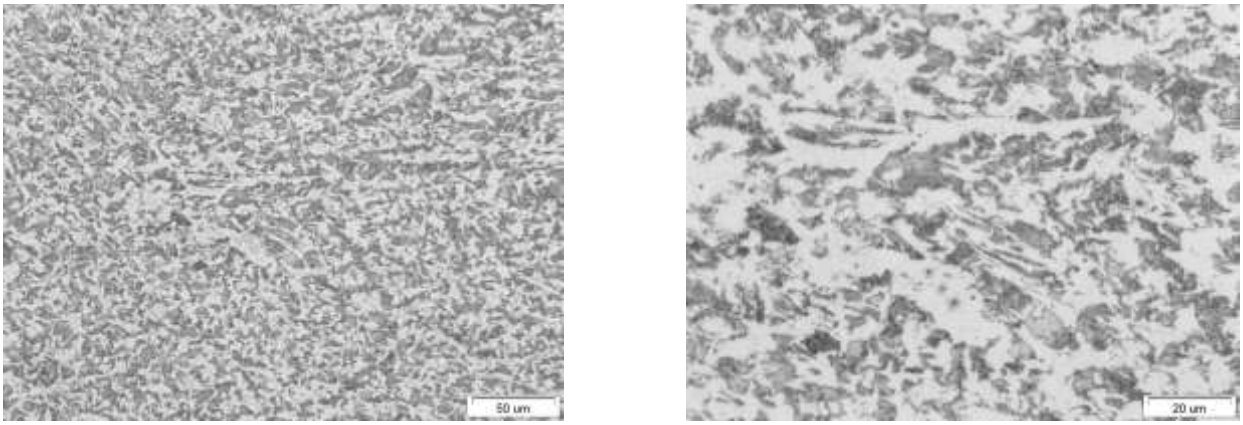
При металографските изследвания на микроструктурата с предварително нанесен легиращ материал (фиг.3) е установено, че в зоната

на сплавявяне на наварения метал и матрицата е оформена структурата на междинен легиран слой. Междинният слой вероятно е с повишено съдържание на въглерод и се състои от ферит и увеличено съдържание на перлит (вероятно сорбит), в съотношение 1 : 1.

Фиг. 3 *Микроструктура в зоната на сплавявяне на наварения метал с нисковъглеродната матрица с предварително нанесен легиращ материал от графит*

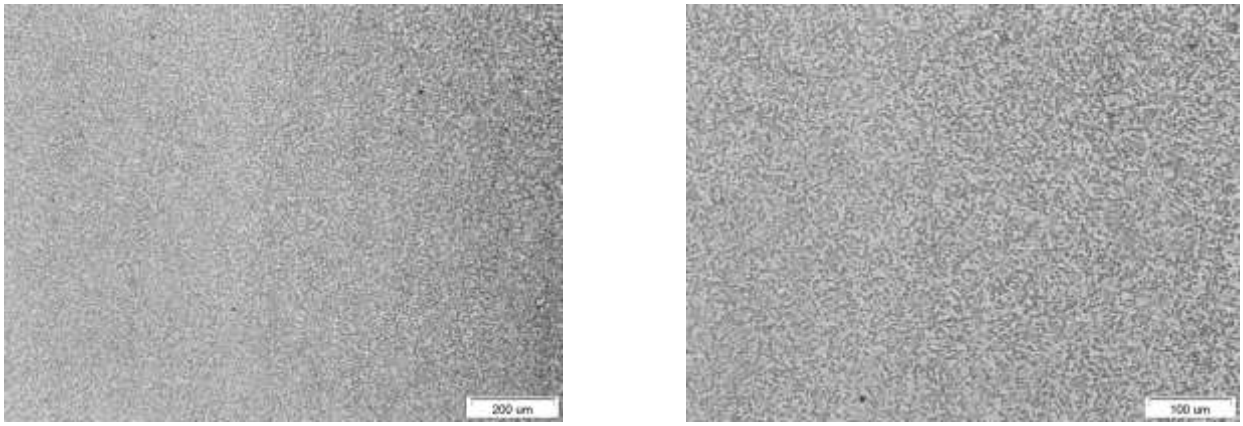


Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 50 пъти (вляво) и 100 пъти (вдясно)

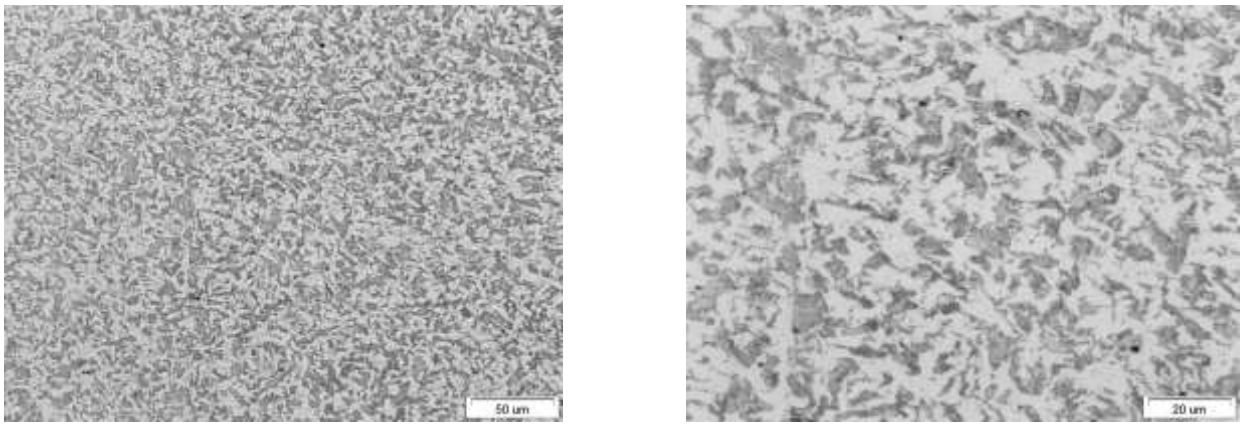


Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 500 пъти (вляво) и 1 000 пъти (вдясно)

Фиг. 4 *Микроструктура в зоната на наварения метал с предварително нанесен легиращ слой от графит*



Микроструктура в зоната на наваряване - увеличение 50 пъти (вляво) и 100 пъти (вдясно)



Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 500 пъти (вляво) и 1 000 пъти (вдясно)

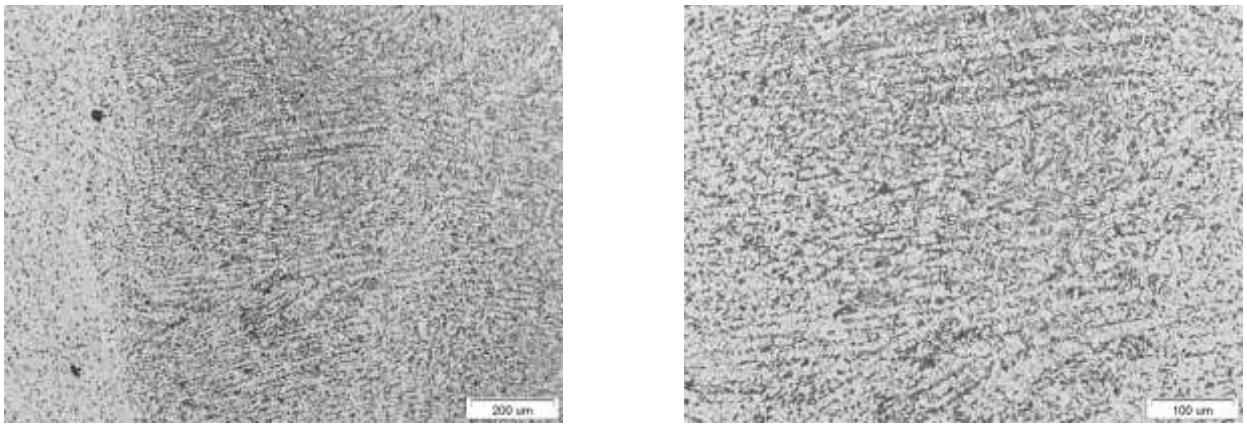
Структурата на наварения материал е издребнена структура, получена при кристализацията на течния метал, и се състои от феритна матрица и перлит (сорбит).

Наличието на междинен слой с дебелина от около 200 ÷ 300 μm е потвърдена и от измерването на микротвърдост по Викерс, чийто графичен вид е даден на фиг. 7. Твърдостта на междинния слой е по-висока с около 20-30% от заобикалящата го матрица.

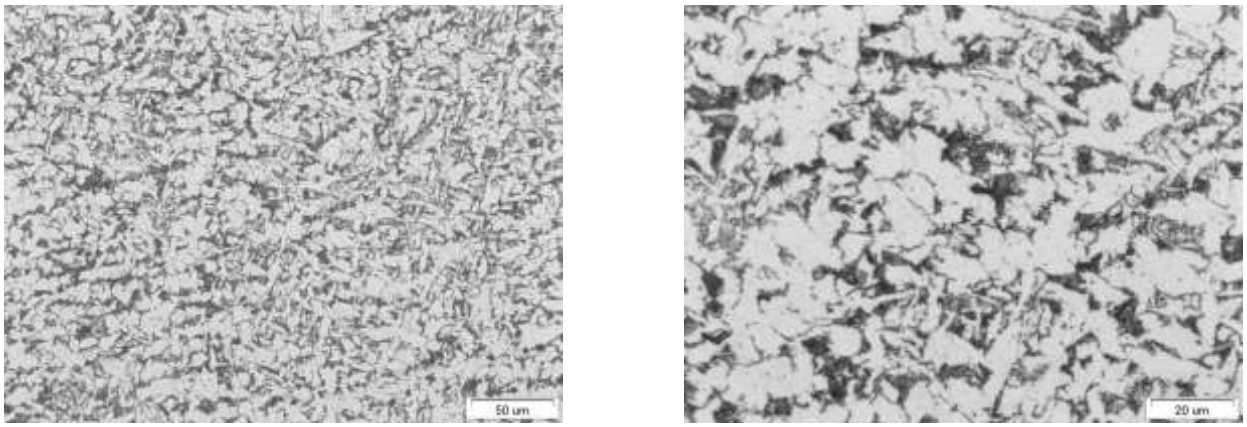
2.2.3 Микроструктурен анализ и микротвърдост след плазмено наваряване с предварително нанасяне на легиращ материал от черен графит и кварцов пясък върху наваряваната повърхнина

Предварително са извършени три повърхностни нанасяния от черен графит и водно стъкло, като последното е с добавен фин кварцов пясък. Те са образували сравнително плътен слой с неравномерно включени песъчинки и с дебелина около 0.5÷0.7 мм. Повърхността на предварително нанесения слой е здрава, а той е добре прикрепен към основния материал. Навареният върху тази основа материал е също равномерно разпределен (разлят) без видими дефекти и изменения в напречно на повърхността направление.

Фиг. 5 *Микроструктура в зоната на сплавяване на наварения метал с нисковъглеродната матрица с предварително нанесен материал от черен графит и кварцов пясък*



Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 50 пъти (вляво) и 100 пъти (вдясно)

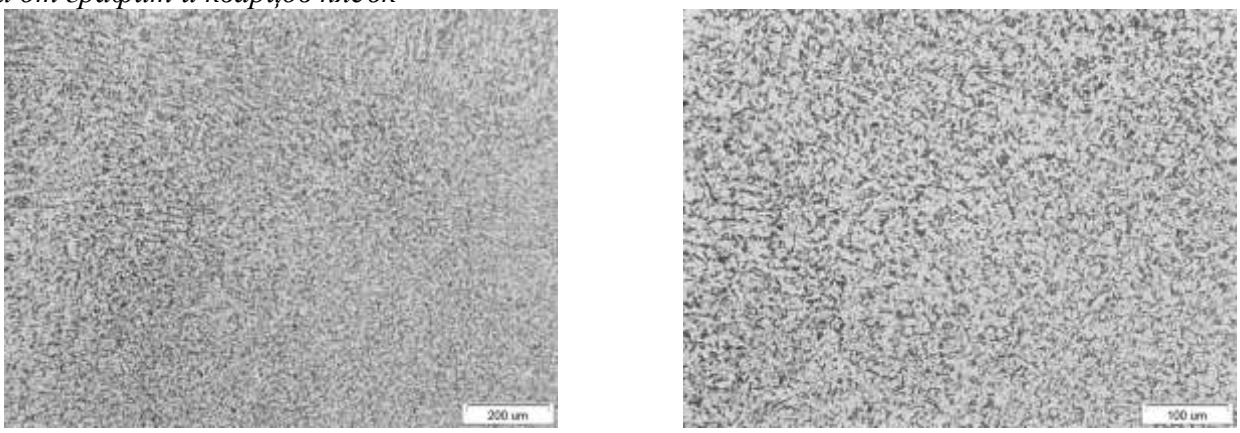


Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 500 пъти (вляво) и 1 000 пъти (вдясно)

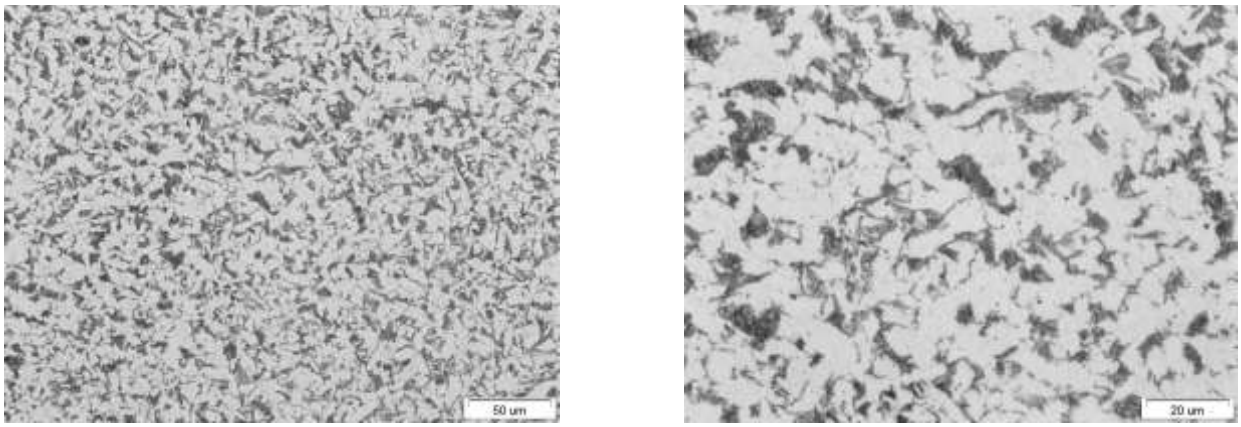
При металографските изследвания на микроструктурата с предварително нанесен легиращ материал (фиг. 5) е установено, че в зоната на сплавяване на наварения метал и матрицата е оформена структурата на междинен легиран слой. Междинният слой вероятно е с

повишено съдържание на въглерод и се състои от сегрегирани ивици от легиран ферит и перлит (пластинчат и зърнест).

Фиг. 6 *Микроструктура в зоната на наварения метал с предварително нанесен легиращ слой от графит и кварцов пясък*



Микроструктура в зоната на наваряване - увеличение 50 пъти (вляво) и 100 пъти (вдясно)



Микроструктура в зоната на сплавяване - увеличение 500 пъти (вляво) и 1 000 пъти (вдясно)

Структурата на наварения материал е дребнозърнеста, получени при неравновестната кристализация на течния метал и се състои от феритна матрица и групи перлит (вероятно сорбит).

Наличието на междинен слой с дебелина от около 150 ÷ 200 μm е потвърдена и от измерването на микротвърдост по Викерс, чийто графичен вид е даден на фиг. 7. Твърдостта на междинния слой е по-висока с около 30-40% от заобикалящата го нисковъглеродна матрица.

2.3. Изпитване на микротвърдост на наварения метал след плазмено наваряване

За определяне на твърдостта е използван микротвърдомер Zwick (Германия), с обхват 100 N. Изпитването е проведено при натоварване 200 g с продължителност 10 s, съгласно БДС EN 6507-1:2001.

Профилите на твърдостта са построени със стъпка на измерване е 100 μm в дълбочина. Те започват от основния метал, преминават пред зоната

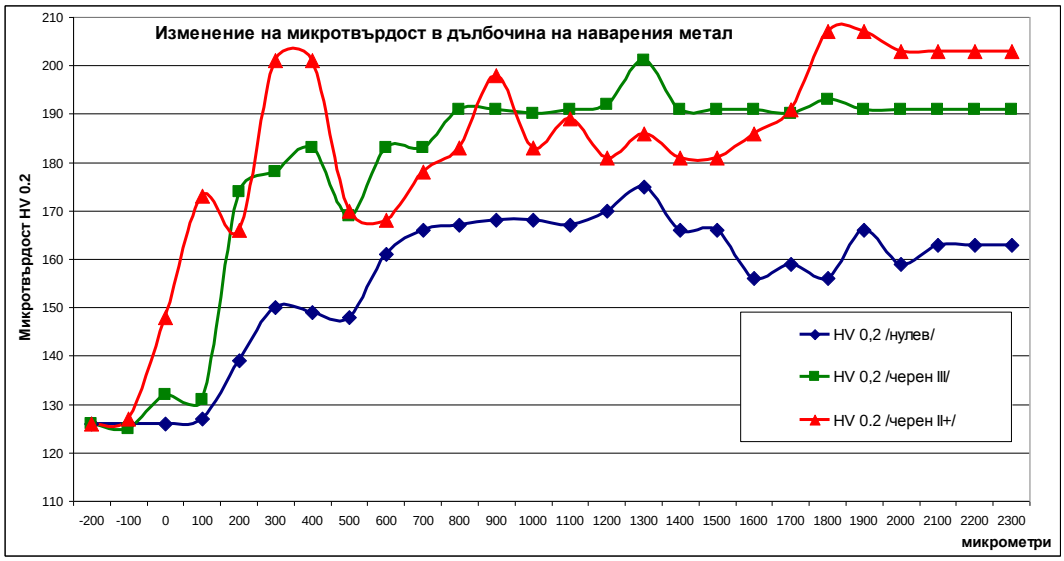
на сплавяване и продължават към повърхността на наварения метал. Проведеното изпитване на твърдост е за два от случаите за наварени слоеве с предварително нанесени легиращи компоненти: - III - три слоя черен графит; - II+ - два слоя черен графит и трети с пълнеж от кварцов пясък; и за т.нар. нулева проба - наваряване с нисковъглероден електроден материал върху свободна от легиращ материал повърхност.

Наличието на междинен легиран слой с високо въглеродно съдържание в матрицата от нисковъглеродна стомана се вижда от изменението на микротвърдостта в дълбочина на наварения метал и в двата случая на предварително нанесен легиращ слой - фиг. 7.

Най-висока микротвърдост над 200 $HV_{0.2}$ на междинния слой е получена при две нанасяния на черен графит и трето с пълнеж от кварцов пясък, като дебелината на този слой е около 100 – 150 μm (между 300 и 400 μm). Сравнително големите скокове в твърдостта (фиг. 7) в дълбочина се дължат на нервномерното разпределение на частиците кварцов пясък в наварения метал

При три нанасяния на черен графит с водно стъкло дебелината на междинния слой е около 200 – 250 μm (между 200 и 400 μm), а микротвърдостта е над 180 $HV_{0.2}$. Слоят повишава равномерно твърдостта си към повърхността и е сравнително хомогенен.

И при двата легирани слоя се наблюдава повишаване на твърдостта до нивата на междинния слой близо до повърхността на наварения метал. Това увеличаване на твърдостта в зони, близки до повърхността на наварения метал, се дължи на осъщественото легиране с въглерод, преминаването му в повърхностните наварени слоеве, както и на по-високата им скорост на охлаждане.



Фиг. 7 *Изменението на микротвърдостта на наварения материал в дълбочина*

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата е потвърдена възможността за създаване на междинен легиращ слой с високо въглеродно съдържание и повишена твърдост в матрица от нисковъглеродна стомана чрез предварително нанасяне на легиращ слой в режим на плазмено наваряване с нисковъглероден електроден материал.

Основните изводи от представените експерименти и техният анализ могат да бъдат обобщени от следните резултати:

1. Потвърдена е възможността за легиране при наваряване на нисковъглеродна матрица с никсовъглероден електроден материал чрез предварително нанесен шихтов материал на основата на графит и водно стъкло.

2. Установена е възможността за получаване на нееднороден наварен метал и наличие на междинен слой с вероятно по-високо съдържание на въглерод, повишена твърдост и повишена твърдост спрямо заобикалящата го матрица.

3. Повишаването на твърдостта на наварения метал при предварително нанесен легиращ материал не е свързано с появата на вътрешни дефекти (пукнатини, пори, неметални включвания, шлака и пр.) или на видима промяна във външния вид на наварения метал.

Благодарности

Авторите благодарят на Договор № ДУНК-01/03 от 12.2009 за проект за създаване на „УНИК за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нано технологии и материали, енергийната ефективност и виртуалното инженерство” при Технически Университет – София за оказаната финансова помощ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Asthana Rajiv, Ashok Kumar, Narendra B. Dahotre, Coatings and Surface Engineering. Materials Processing and Manufacturing Science, 2006

[2] Bell G. R., Surface coatings 3 - Gas-welded coatings. Tribology, Volume 5, Issue 5, 1972

[3] Fischer A., Well-founded selection of materials for improved wear resistance. Wear, Volume 194, Issues 1-2, 1996

[4] Hazzard R. Surface coatings 2-Arc-weIded coatings. Tribology, Volume 5, Issue 5, 1972

[5] Henderson J. L., J. H. Bulloch, The abrasive wear resistance of the martensitic group 2 and 3 hardfacing materials: The influence of abradent type. International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 57, Issue 3, 1994

[6] Hou, R., D. M. Evans, J. McCure, A. C. Nunes, G. Garcia. 1996. Shielding gas and heat transfer efficiency in plasma arc welding. Welding Journal.

[7] Анчев В., Тошков В., Василева Л., Захаридова Ж., Калейчева Ж., Николов Й., Петров Р., Симеонов В. Ръководство за лабораторни упражнения по материалознание,

[8] Бучков Д., Кънев М. Материалознание, София, 2007

[9] Василев В. Технология на възстановяване на детайлите. Русе, 1996

[10] Манолов Н., Кандева М., Обща трибология, София, 2004

[11]Манолов Н., Кандева М., Интердисциплинна парадигма на трибология, София, 2010

[12] Желев А. Н. Комплексен термодинамичен подход за оценяване горещата трошливост на металите при заваряване. Дисертация за получаване на научна степен „Доктор на техническите науки", София 1989

[13] Лолов Н. В., Заваряемост на металите Част 1: Физични процеси., София 1995

[14] Тонгов М. Заваряване Част Първа Процеси, София, 2009

[15] Христов Н. Повишаване качеството на наварения метал чрез нанасяне на слоеве със специални свойства в условията на електродъгово наваряване. Автореферат на дисертационен труд, София, 2011

[16] Хасуи А. Техника напьшения. Москва, Машиностроение, 1975

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ХАРАКТЕРИЗИРАНЕ НА КОМПОЗИТНИ ПОКРИТИЯ, НАНЕСЕНИ ЧРЕЗ ГАЗОТЕРМИЧНА СВРЪХЗВУКОВА СТРУЯ (HVOF-ПРОЦЕС) ПРИ РАЗЛИЧНИ ТЕХНОЛОГИЧНИ РЕЖИМИ

Илиян Пейчев[1]***, Мара Кандева***[2]

[1] *Шумен – Пътнически автортранспорт ООД-град Шумен, iliqn_pei4ev@abv.bg*

[2] *Технически университет-София, kandeva@tu-sofia.bg*

CHARACTERIZING OF COMPOSITE COATINGS DEPOSITED THROUGH GAS-THERMAL SUPER SOUND STREAM (HVOF-PROCESS) AT DIFFERENT TECHNOLOGICAL REGIMES

Iliyan Peichev[1]***, Mara Kandeva***[2]

[1] *Shumen – Passenger Autotransport Ltd, the city of Shumen, Bulgaria, iliqn_pei4ev@abv.bg*

[2] *Tribology Laboratory, Technical University, Sofia, Bulgaria; E-mail: kandeva@tu-sofia.bg*

Abstract: *The paper presents the results obtained for hardness, porosity and roughness of three type gas-thermal composite coatings deposited through HVOF – technology, using three type powder composites for three technological regimes of deposition. The results are given in tables and as diagrams. The optimum regime of coating deposition as regards the enumerated above characteristics is being determined.*

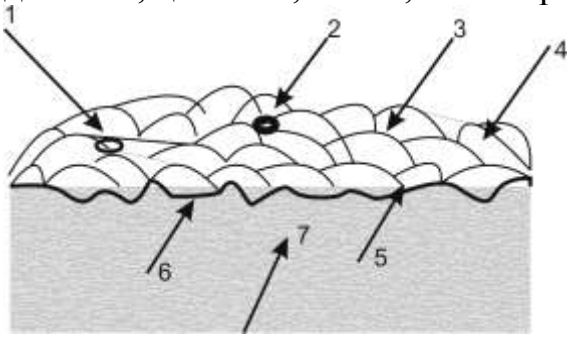
The investigation is related to the topic and is funded by the Ministry of Education and Science according to the contract ДУНК-01/3 of the Technical University – Sofia entitled ***„Development of University Research Complex for Innovations and Knowledge Transfer in the area of micro/nano technologies and materials, energy efficiency and virtual engineering****”.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Триботехнологията за нанасяне на покрития чрез газотермична свръхзвукова струя (*HVOF*-процес) представлява комплекс от процеси, при които подаваният на входа материал се загрява и се изстрелва под формата на самостоятелни частици или капки върху дадена повърхност. Устройството генерира необходимата за процеса топлина с помощта на горими газове пропан и кислород.

При загряването си праховите частици преминават в пластично или разтопено състояние, увличат се и се ускоряват в струята от газове под налягане към базовата повърхнина. Удряйки се в повърхнината, частиците се деформират (сплескват) и образуват тънки ламели (пръски), които формират адхезионни контактни връзки от една страна с неравностите на подготвената повърхнина, а от друга – кохезионни връзки със съседните ламели. При удара си с повърхнината частиците (капки) се охлаждат и напластяват пръска върху пръска в ламинарна структура, формираща композитното покритие.

На фиг. 1 е представено схематично напречното сечение на ламинарна структура на нанесеното покритие. Тя е нехомогенна, съдържа определено количество пори и окиси в случай на депониране на метал. Нанесеният материал може да бъде всяко вещество, което подлежи на разтопяване – метали, метални съединения, цименти, окиси, полимери и др.



фиг.1: *Схема на типично напречно сечение на ламинарната структура на депонирано покритие*

Обозначенията на фигура 1 са: *1 – пори; 2 – окисни включвания; 3 – кохезионни контакти между частиците на покритието; 4 – пръски (ламели); 5 – адхезионни контакти между повърхнината и покритието; 6 – неравности на повърхностния слой на базовата повърхнина 7.*

Формиращата се контактна връзка между покритието и базовата повърхнина може да бъде механична, химична и/или металургична, или комбинация от трите.

Свойствата на покритието зависят от съвместното действие на много фактори – състав и размерност на праховата смес за нанасяне на

покритието, параметри на технологичния процес, естество, грапавост на базовата повърхнина.

Основен критерий за използване на материала в качеството му на покритие е възможността частиците му да преминават в разтопено или високопластично състояние и впоследствие да се деформират при ударния си контакт с повърхнината. Високите температури в съчетание с възможността за широко регулиране на състава, енергията на струята и пространствената й конфигурация спрямо повърхнината осигуряват голямо разнообразие от материали и обстоятелства за формиране на покрития с различни свойства [1,2].

HVOF е един от най-новите методи в триботехнологиите за термично депониране на покрития. Тази технология минимизира използваната топлинна енергия и максимизира кинетичната енергия на частиците за нанасяне на покрития с голяма плътност, ниска пористост и висока адхезионна якост [3,4,5].

Целта на настоящата работа е да се изследват характеристиките твърдост, грапавост и пористост на три вида покрития с различна дебелина, нанесени чрез HVOF-процес при три технологични режима и да се определи оптималният режим за всяко покритие.

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПРАХОВИТЕ КОМПОЗИЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧНИЯ ПРОЦЕС

В изследването се използват три вида прахови композиции - с обозначения *602 P* , *F382F* и *WC/Co (88/12)*, получени чрез агломерационен процес с включен етап на синтероване. Средният размер на праховите частици е в границите $45 \pm 2{,}5 \ \mu m$. Покритията са нанесени със системата Микрожет Прах –GMA, Белгия.

В таблици 1,2 и 3 са представени данни за химическия състав и някои физико-механични свойства на праховите композиции.

Таблица 1: *Прахова композиция* 602 *P*

№	Химичен състав	плътност $\rho, kg/m^3$	Температура на топене, $^o C$	Твърдост по Моос
1.	*Cr* , 13,2 %	$7{,}19.10^3$	1850	9
2.	*Si* , 3,98 %	$2{,}33.10^3$	1414	7
3.	*B* , 2,79 %	$2{,}3.10^3$	2300	9
4.	*Fe* , 4,6 %	$7{,}87.10^3$	1535	4
5.	*Co* , 0,03%	$8{,}76.10^3$	1490	5,5
6.	*C* , 0,63%	$22{,}67.10^3$	3500	-
7.	*Ni* , баланс	$8{,}91.10^3$	1455	3,8

Таблица 2: *Прахова композиция* $F382F$

№	Химичен състав	плътност $\rho, kg/m^3$	Температура на топене, ^oC	Твърдост по Моос
1.	Cr, 17,3 %	$7{,}19.10^3$	1850	9
2.	Mo, 2,2 %	$10{,}21.10^3$	2620	-
3.	C, 0,019 %	$22{,}67.10^3$	3500	-
4.	S, 0,009 %	$2{,}07.10^3$	119,05	-
5.	P, 0,02%	-	44,15	-
6.	Si, 0,9%	$2{,}33.10^3$	1414	7
7.	Mn <0,3 %	$7{,}21.10^3$	1246	-
8.	Fe, баланс	$7{,}87.10^3$	1535	4

Таблица 3: *Прахова композиция* ***WC/Co (88/12)***

№	Химичен състав	плътност $\rho, kg/m^3$	Температура на топене, ^oC	Твърдост по Моос
1.	Co, 12 %	$8{,}76.10^3$	1490	5,5
3.	C, 5,4 %	$22{,}67.10^3$	3500	-
4.	Fe <, 0,1 %	$7{,}87.10^3$	1535	4
5.	Ni <, 0,1 %	$8{,}91.10^3$	1455	3,8
6.	W, баланс	$18{,}91.10^3$	3370	9

Относно специфичните особености на елементите, които присъстват в композициите *602 P,* $F382F$ и WC/Co (88/12***)***:

- при при високи температури хромът (Cr) се свързва с въглерода (C), силиция (Si) и бора (B) като образува металоиди. С кислорода образува оксиди $(CrO_3; Cr_2O_3)$. При температура над 196^oC (CrO_3) отделя (O_2) и образува труднотопима, твърда структура $-(Cr_2O_3)$;

- желязото (Fe), кобалтът (Co) и никелът (Ni) проявяват феромагнитни свойства;

- при високи температури борът (B) се съединява с някои метали (Fe, Ni) и с въглерода (C), като образува съответно бориди и карбид (B_4C), отличаващи се с голяма твърдост;

- молибденът (Mo) образува сплав с желязото (Fe), а при високи температури взаимодейства с кислорода (O_2) като образува оксид (MoO_3);

- волфрамът (W) влиза във взаимодействие с въглерода (C) и образува волфрамов карбид (WC) – съединение с висока твърдост. Кобалтът (Co) изпълнява ролята на свързващ елемент с волфрамовата матрица.

Получени са покрития с трите композиции при три технологични режима, чиито параметри са представени в таблица 4.

Таблица 4: *Параметри на технологичните режими при нанасяне на покритията*

№	Параметър	Технологичен режим **TR-I**	Технологичен режим **TR-II**	Технологичен режим **TR-III**
1.	Отношение C_3H_8/O_2,%	45/100	55/100	55/100
2.	Скорост на струята , m/s	700	1000	1000
3.	Разстояние „дюза-покритие” L, mm	80	120	160
4.	Ъгъл между дюзата и покритието, α , ^{o}	90	90	90
5.	Налягане на въздуха от компресора, bar	5	5	5
6.	Налягане на азота в дозиращото устройство, bar	4	4	4
7.	Скорост на подаване на праховия материал, $tr/\min$	1,5	1,5	1,5
8.	Масов дебит на праховия материал, $g/\min$	22	22	22

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

Получени са експериментални резултати за изменението на твърдостта на покритията от тяхната дабалина, за пористостта и грапавостта на покрития с една и съща дебелина $\delta = 350 \mu m$ за трите технологични режима на нанасяне. В таблици 5, 6 и 7 са представени резултатите за твърдостта на покрития с различна дебелина за всяка прахова композиция при трите режима.

Таблица 5: *Зависимост на твърдостта HRC на покритието от неговата дебелина* ***-602P***

$\delta, \mu m$ **режим**	**0**	**50** μm	**100** μm	**150** μm	**200** μm	**250** μm	**300** μm	**350** μm
TR-I	57,5	58,2	58,6	59	59,4	60,2	60,4	60,6
TR-II	57,5	58,4	59,1	59,9	60,7	60,9	61	61,4
TR-III	57,5	57,8	58,4	58,9	60	60,1	60,2	60,4

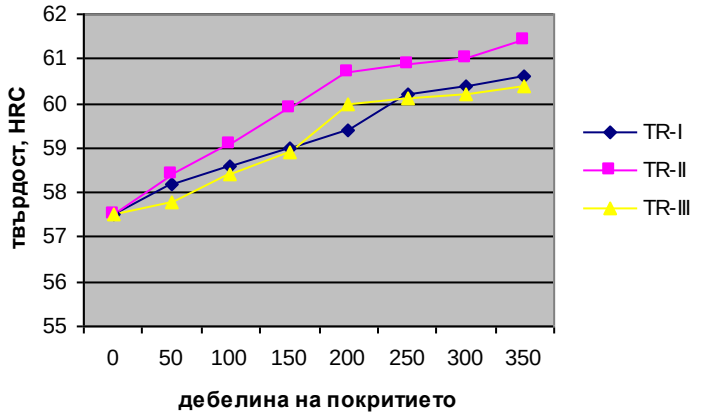
Таблица 6: *Зависимост на твърдостта HRC на покритието от неговата дебелина* ***-F382F***

$\delta, \mu m$ **режим**	**0**	**50** μm	**100** μm	**150** μm	**200** μm	**250** μm	**300** μm	**350** μm
TR-I	14	15,5	16,5	17	18	19	20	20
TR-II	14	18	20	23	24,5	25,5	26	26
TR-III	14	19,5	21,5	24	24,8	25	25	25,1

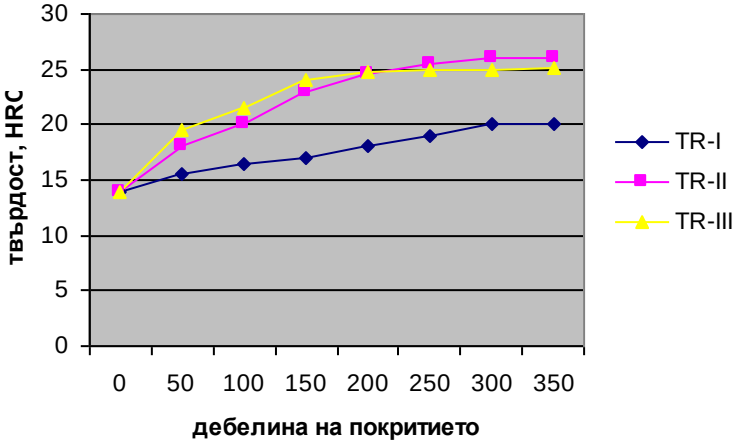
Таблица 7: *Зависимост на твърдостта HRC на покритието от неговата дебелина –* ***WC/Co (88/12)***

$\delta, \mu m$ **режим**	**0**	**50** μm	**100** μm	**150** μm	**200** μm	**250** μm	**300** μm	**350** μm
TR-I	67	68,35	68,35	68,4	68,45	68,48	68,5	68,5
TR-II	67	68,6	68,65	68,7	68,8	68,9	70	70
TR-III	67	67,3	67,5	67,9	68,3	68,4	68,5	68,5

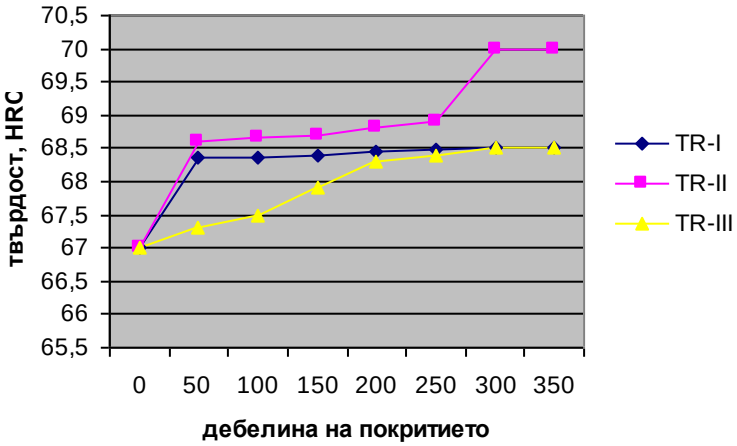
На фигури 2, 3 и 4 е представена графично изменението на твърдостта от дебелината на покритието при трите технологични режима съответно за покрития *602P*, *F382F* и *WC/Co (88/12)*



фиг 2. *Изменение на твърдостта HRC на покритие* ***602P*** *от неговата дебелина* $\delta, \mu m$ *за трите технологични режима*



фиг 3. *Изменение на твърдостта HRC на покритие* ***F382F*** *от неговата дебелина* $\delta, \mu m$ *за трите технологични режима*



фиг 4. *Изменение на твърдостта HRC на покритие* ***WC/Co (88/12)*** *от неговата дебелина* $\delta, \mu m$ *за трите технологични режима*

Експерименталните резултати за пористостта P,[%] и грапавостта Ra,[μm] за всяко покритие при трите технологични режима са представени в таблици 8 и 9.

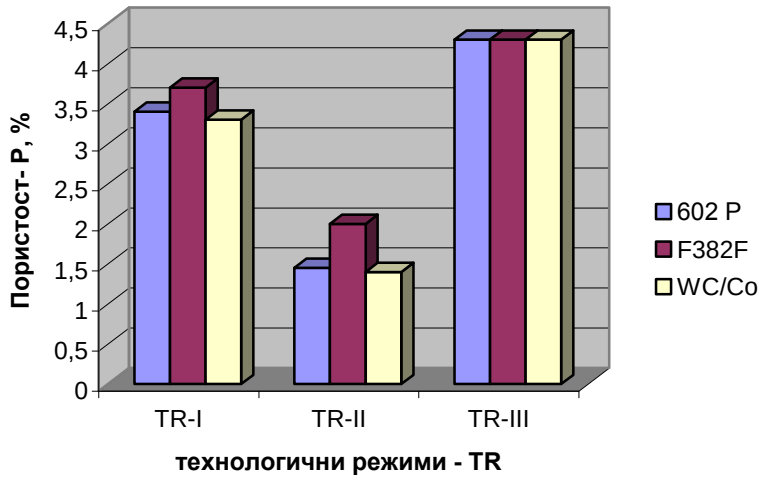
Таблица 8: *Изследване на пористостта, P,% при дебелина на покритието* $\delta = 350\ \mu m$

№	Технологичен режим	*602P*	*F382F*	*WC/Co (88/12)*
1.	**TR-I**	3,4 %	3,7 %	3,3 %
2.	**TR-II**	1,45 %	2 %	1,4 %
3.	**TR-III**	4,3 %	4,3 %	4,3 %

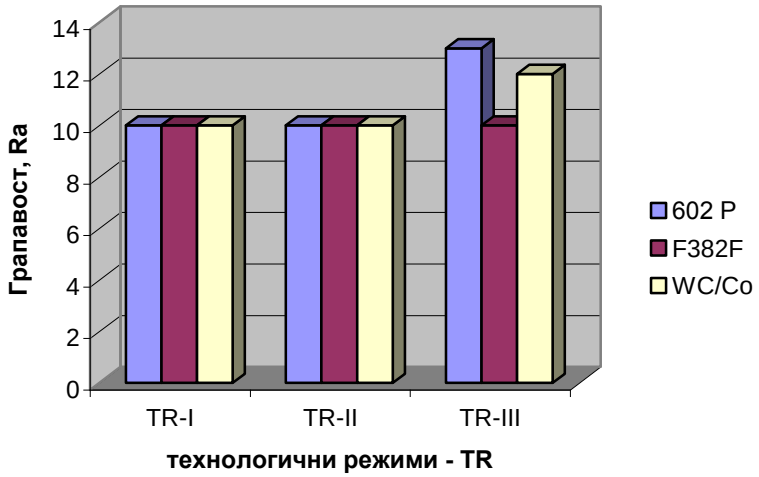
Таблица 9: *Изследване на грапавостта Ra,* μm *при дебелина на покритието* $\delta = 350\ \mu m$

№	Технологичен режим	*602P*	*F382F*	*WC/Co (88/12)*
1.	**TR-I**	10 μm	10 μm	13 μm
2.	**TR-II**	10 μm	10 μm	10 μm
3.	**TR-III**	10 μm	10 μm	12 μm

На фигури 5 и 6 са представени таболограми съответно на пористостта и грапавостта на всички покрития при трите технологични режими.



фиг 5: *Изменение на пористостта P , % при трите технологични режима при дебелина на покритията* $\delta = 350\ \mu m$



фиг. 6: *Изменение на грапавостта* $Ra, \mu m$ *при трите технологични режима при дебелина на покритията* $\delta = 350\ \mu m$

4. АНАЛИЗ НА ПОЛУЧЕНИТЕ РЕЗУЛТАТИ И КОНСТАТАЦИИ

При анализа на резултатите за изменението на твърдостта на покритията на фигури 2, 3 и 4 е очевидно, че твърдостта нараства с увеличаване дебелината δ на трите вида покрития при трите режима, но има различни стойности и характер на изменение. За всички покрития и режими с изключение на покритие от *WC/Co (88/12)* при режим TR-I – фиг.4, зависимостта на твърдостта от дебелината на покритието има силно нелинеен характер. Максимална твърдост се получава при покритие *WC/Co (88/12)* - 70 HRC при технологичен режим TR-II. Прави впечатление, че тази твърдост се получава с рязък скок в областта на изменение на дебелината от 250 μm до 300 μm. Най-ниска е твърдостта на покритие *F382F* при TR-I при дебелина 50 μm - 15,5 HRC.

При анализа на резултатите за пористостта (таблица 8) и таболограмата на фиг. 5 се вижда, че най-голяма пористост и с близки стойности имат всички покрития при TR-III, т.е. при най-отдалечена дюза от повърхнината $L = 160\,[mm]$ и съотношение на пропан/кислород 45%/100%. Най-малка пористост за всички покрития се получава при TR-II, като най-малка е на покритието *WC/Co (88/12)*. Таболограмата на грапавостта *Ra* показва, че най-висока грапавост се получава при третия технологичен режим TR-I при покрития *602P* и *WC/Co (88/12)*. При другите два режима грапавостта е по-малка и приблизително с една и съща стойност - 10 μm .

От направения анализ на получените резултати може да се констатира, че оптималният технологичен режим на свръхзвуковата система „МИКРОЖЕТ-ПРАХ” от гледна точка на характеристиките твърдост, пористост и грапавост е вторият режим TR-II.

В таблица 10 са представени оптималните технологични режими за всяко покритие и съответстващите характеристики – пористост, грапавост и твърдост.

Таблица 10: *Оптимални технологични режими и параметри за различните покрития*

№	Покритие	Технологичен режим	Пористост *P*,%	Грапавост *Ra*, μm	Дебелина δ, μm	Твърдост *HRC*
1.	***602P***	**TR-II**	1,45 %	10 μm	350 μm	61,4
2.	***F382F***	**TR-II**	2 %	10 μm	350 μm	26
3.	***WC/Co (88/12)***	**TR-II**	1,4 %	10 μm	350 μm	70

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работата са получени резултати за твърдостта, пористостта и грапавостта на три вида покрития, нанесени чрез HVOF – процес технологията, с три вида прахови композиции за три технологични режима на нанасяне. Резултатите се представени в табличен и графичен вид.

Определен е оптималният режим за нанасяне на покритията по отношение на показателите твърдост, пористост и грапавост.

Изследването в настоящата публикация е свързано с проблематиката и е финансирано по договор ДУНК-01/3 на Техническия университет-София с МОН на тема:

„Създаване на „Университетски научно-изследователски комплекс” (УНИК) за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нано технологии и материали, енергийна ефективност и виртуално инженерство”.

ЛИТЕРАТУРА

[1] R.Schwetzke, H. Kreye: Microstructure and properties of coatings and WC deposited by different HVOF–systems, in: *Proc. International Conference on Gas-Thermal Powder Deposition, Nice, France, pp. 187-192, 1998.*

[2] L. Baldaev: Regeneration and reinforcement of machine details by the method of gas-thermal deposition, *Ed. KXT, Moscow, 2004 (in Russian).*

[3] Peichev Il., M. Kandeva, E. Assenova, V. Pojidaeva, About the Deposition of Superilloys by Means of Supersonic HVOF Process, *Journal of the Balkan Tribological Association, № 3, Vol.17 , 2011 pp 380-386.*

[4]Kandeva M., Il. Peichev, N. Kostova, K. Stoichkov, Complex Study of Surface Layers and Coatings, *12 th International Conference on Tribology, Kraguevac, Serbia, 11-13 May 2011, pp 46-50; Journal of the Balkan Tribological Association, № 3, Vol.17, 2011 pp 387-393.*

[5] I. Peichev, Application of supersonic technological processes /HVOF and Plasma for deposition of wear-resistant coatings. Corrosion and erosion protection in power plants, *Tribological Journal, 01/2010, Sofia, pp. 101-108 (in Bulgarian).*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ИЗНОСВАНЕ НА КОМПОЗИТНИ ПОКРИТИЯ, НАНЕСЕНИ ЧРЕЗ ГАЗОТЕРМИЧНА СВРЪХЗВУКОВА СТРУЯ (HVOF-ПРОЦЕС)

Мара Кандева [1], ***Илиян Пейчев*** [2], ***Анна Димитрова*** [1]

[1] *Технически университет-София,*

kandeva@tu-sofia.bg, a_dimitrova@tu-sofia.bg

[2] *Шумен – Пътнически автотранспорт ООД-град Шумен,*

iliqn_pei4ev@abv.bg

WEAR OF COMPOSITE COATINGS DEPOSITED THROUGH GAS-THERMAL SUPER SOUND STREAM (HVOF-PROCESS)

Mara Kandeva [1], ***Iliyan Peichev*** [2], ***Anna Dimitrova*** [1]

[1] *Tribology Laboratory, Technical University, Sofia, Bulgaria;*

kandeva@tu-sofia.bg, a_dimitrova@tu-sofia.bg

[2] *Shumen – Passenger Autotransport Ltd , the city of Shumen, Bulgaria,*
iliqn_pei4ev@abv.bg

Abstract: *By means of the procedure is developed by us, wear and wear-resistance have been studied according to the acting standards for three type composite coatings under conditions of fixed abrasive friction. The coatings were deposited by gas-thermal supersonic stream (HVOF-process) under conditions of two technological regimes. Results are given in tables and graphs.*
The investigation is related to the topic and is funded by the Ministry of Education and Science according to the contract ДУНК-01/3 of the Technical University – Sofia entitled ***„Development of University Research Complex for Innovations and Knowledge Transfer in the area of micro/nano technologies and materials, energy efficiency and virtual engineering****".*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

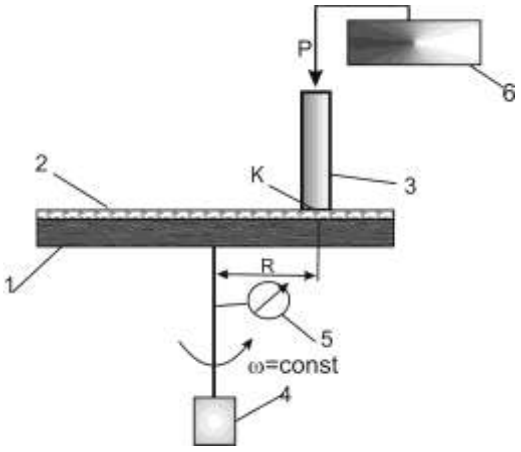
Триботехнологията за нанасяне на покрития чрез газотермична свръхзвукова струя (*HVOF* – процес) представлява комплекс от процеси, при които подаваният на входа прахов материал се загрява и се изстрелва под формата на самостоятелни частици или капки върху дадена повърхност.

Настоящото изследване е продължение на работа [1] и има за цел разработване на методика и изследване на износването и износоустойчивостта на композитните покрития, получени при оптимален технологичен режим, в условия на триене по закрепен абразив.

2. МЕТОДИКА И УСТРОЙСТВО ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА АБРАЗИВНО ИЗНОСВАНЕ

Експерименталното изследване се осъществява по методика и с устройство за ускорени изпитания по кинематичната схема „палец-диск”. Функционалната схема на устройството е представена на фиг.1. Методиката е разработена в лабораторията по трибология и е съобразена с изискванията на действащите стандарти [2,3,4].

Изследваният цилиндричен образец 3 (тяло) с покритие *K* се монтира неподвижно в натоварваща глава 6 като с челната си повърхнина контактува с абразивната повърхнина 2 на хоризонтален диск 1 (противотяло). Противотялото 2 се върти с постоянна ъглова скорост $\omega = const$ около вертикалната си ос. Броят на оборотите се отчита с оборотомера 5. Устройството позволява изменение на скоростта на плъзгане чрез изменение на ъгловата скорост на диска от управляващ блок и чрез изменение на разстоянието *R* между оста на въртене на противотялото 1 и оста на образеца 3.



Фиг. 1: *Функционална схема на устройство за изследване износването на покрития при триене по закрепен абразив*

Абразивната повърхнина 2 на противотялото 1 се моделира чрез импрегниран каброкорунд с твърдост минимум 60% по-висока от твърдостта на изпитваните покрития в съответствие с изискванията на стандарта [2].

Методиката се осъществява в следната последователност от операции:

- Подготовка на еднакви призматични образци 3 с размери 13x15x5 $[mm]$.
- Измерване на масата на образците преди и след изминаване на определен път на триене S с помощта на електронна везна WPS 180/C/2 с точност 0,1,$[mg]$. При всяко измерване образците се почистват с подходящ разтвор за предотвратяване на статичното електричество;
- Образецът 3 се монтира в натоварващата глава, задава се определено нормално натоварване P по оста на образеца и определен път на триене S чрез брояч на обороти 5.
- След изминаване на съответния зададен път на триене S (брой цикли N) се измерва отново масата на образеца.

3. ТРИБОЛОГИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Определят се следните основни характеристики на износване:

∗ абсолютно масово износване, $m,[mg]$ - разлика между масите на образеца преди и след изминаване на определен път на триене S.

∗ скорост на масовото износване $dm/dt,[mg/\min]$ - разрушената маса от конткатната повърхнина на покритието за време една минута.

∗ абсолютна интензивност на износване i: представлява разрушената дебелина на покритието, отнесена за единица път на триене S. Абсолютната интензивност на износване, представена чрез абсолютното масово износване m, се пресмята по формулата:

$$i = \frac{m}{\rho.A_a.S} \qquad (1)$$

където: ρ е плътността на покритието; A_a - номиналната контактна площ на взаимодействие, а S - пътят на триене, който се пресмята чрез съответния брой цикли N на контактно взаимодействие, по формулата:

$$S = 2\pi RN \qquad (2)$$

∗ абсолютна износоустойчивост I: пресмята се като реципрочна стойност на интензивността на износване и съответно също е бездименсионна величина, т.е.

$$I = \frac{1}{i} = \frac{\rho.A_a.S}{m} \qquad (3)$$

* специфична интензивност на износване i_s: разрушената маса m от покритието, отнесена за единица номинална контактна площ $A_a = 1[mm^2]$ за единица път на триене $S = 1[m]$, т.е.:

$$i_s = \frac{m}{S.A_a} \qquad (4)$$

Специфичната интензивност на износване i_s има дименсия $[mg/m.mm^2]$.

* специфична износоустойчивост I_s: пресмята се като реципрочна стойност на специфичната интензивност на износване, т.е.:

$$I_s = \frac{1}{i_s} = \frac{S.A_a}{m} \qquad (5)$$

Специфичната износоустойчивост I_s е число, което показва колко метра път на триене S ще измине контактна площадка с площ 1 квадратен милиметър, за да се разруши от нея вещество с маса 1 mg. Дименсията е съответно $[m.mm^2/mg]$.

* номинално контактно налягане p_a, $[N/cm^2]$: представлява нормалното натоварване P, което се разпределя на единица номинална (геометрична) контактна площ на допиране, т.е.

$$p_a = \frac{P}{A_a}, [N/cm^2] \qquad (6)$$

В таблица 1 са представени данни за показателите на експеримента, при които е проведено трибологичното изследване.

Таблица 1: *Експериментални параметри*

Параметри	Стойности
Номинално контактно налягане, $p_a [N/cm^2]$	5,82
Средна скорост на плъзгане, $V [cm/s]$	15,5
Номинална контактна площ, $A_a [mm^2]$	195

В работата се изследва износването на 7 броя образци от покрития, нанесени с 4 вида прахови композиции.

4. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ПРАХОВИТЕ КОМПОЗИЦИИ И ТЕХНОЛОГИЧНИЯ ПРОЦЕС

В изследването се използват три вида прахови композиции - с обозначения *602 P* , *F382F* и *WC/Co (88/12)*, получени чрез агломерационен процес с включен етап на синтероване. Средният размер на праховите частици е в границите $45 \pm 2{,}5 \ \mu m$. Покритията са нанесени със системата Микрожет Прах–GMA, Белгия. В изследването е включено покритие, нанесено с прахов материал от Cr_2O_3.

В таблици 2, 3, 4 и 5 са представени данни за химическия състав и някои физико-механичните свойства на праховите композиции $602P$, $F382F$, $WC/Co(88/12)$ и Cr_2O_3.

Таблица 2: *Прахова композиция* $602P$

№	Химичен състав	плътност $\rho, kg/m^3$	Температура на топене, $^o C$	Твърдост по Моос
1.	Cr, 13,2 %	$7{,}19.10^3$	1850	9
2.	Si, 3,98 %	$2{,}33.10^3$	1414	7
3.	B, 2,79 %	$2{,}3.10^3$	2300	9
4.	Fe, 4,6 %	$7{,}87.10^3$	1535	4
5.	Co, 0,03%	$8{,}76.10^3$	1490	5,5
6.	C, 0,63%	$22{,}67.10^3$	3500	-
7.	Ni, баланс	$8{,}91.10^3$	1455	3,8

Таблица 3: *Прахова композиция* $F382F$

№	Химичен състав	плътност $\rho, kg/m^3$	Температура на топене, $^o C$	Твърдост по Моос
1.	Cr, 17,3 %	$7{,}19.10^3$	1850	9
2.	Mo, 2,2 %	$10{,}21.10^3$	2620	-
3.	C, 0,019 %	$22{,}67.10^3$	3500	-
4.	S, 0,009 %	$2{,}07.10^3$	119,05	-
5.	P, 0,02%	-	44,15	-
6.	Si, 0,9%	$2{,}33.10^3$	1414	7
7.	$Mn < 0{,}3$ %	$7{,}21.10^3$	1246	-
8.	Fe, баланс	$7{,}87.10^3$	1535	4

Таблица 4: *Прахова композиция* $WC/Co(88/12)$

№	Химичен състав	плътност $\rho, kg/m^3$	Температура на топене, $^o C$	Твърдост по Моос
1.	Co, 12 %	$8{,}76.10^3$	1490	5,5
3.	C, 5,4 %	$22{,}67.10^3$	3500	-
4.	$Fe <$, 0,1 %	$7{,}87.10^3$	1535	4
5.	$Ni <$, 0,1 %	$8{,}91.10^3$	1455	3,8
6.	W, баланс	$18{,}91.10^3$	3370	9

Таблица 5: *Прахов материал* Cr_2O_3

№	Химичен състав	плътност $\rho, kg/m^3$	Температура на топене, $^o C$	Твърдост по Моос
1.	Cr, 99,99 %	$7{,}19.10^3$	1850	9

В таблица 6 са представени данни за параметрите на технологичния режим, при който са нанесени покритията, а в таблица 7 – някои характеристики на изследваните образци.

Таблица 6: *Параметри на технологичния режим при нанасяне на покритията*

№	Параметър	Технологичен режим **TR-I**	Технологичен режим **TR-II**
1.	Отношение C_3H_8/O_2,%	45/100	55/100
2.	Скорост на струята , m/s	700	1000
3.	Разстояние „дюза-покритие” L, mm	80	120
4.	Ъгъл между дюзата и покритието, $\alpha, ^o$	90	90
5.	Налягане на въздуха от компресора, bar	5	5
6.	Налягане на азота в дозиращото устройство, bar	4	4
7.	Скорост на подаване на праховия материал, $tr/\min$	1,5	1,5
8.	Масов дебит на праховия материал, $g/\min$	22	22

Таблица 7: *Характеристики на изследваните образци*

№ образец	Обозначение	Дебелина на покритието, $\delta, \mu m$	Твърдост HRC	Грапавост $Ra, \mu m$	Пористост, P %	Плътност на матрицата $\rho, kg/m^3$
1	602P -TR I	350 μm	60,6	10 μm	3,4 %	$8{,}91.10^3$
2	602P -TR II	350 μm	61,4	10 μm	1,45 %	$8{,}91.10^3$
3	F382F -TR I	350 μm	20	10 μm	3,7 %	$7{,}87.10^3$
4	F382F -TR II	350 μm	26	10 μm	2 %	$7{,}87.10^3$
5	$WC/Co(88/12)$ TR-II	350 μm	70	10 μm	1,4 %	$18{,}91.10^3$
6	Cr_2O_3 -TR I	350 μm	57,5	12 μm	4,5 %	$7{,}19.10^3$
7	Cr_2O_3 - TR II	350 μm	58	12 μm	3 %	$7{,}19.10^3$
8	1710 D (DIN)	-	45	10 μm	4,6%	$7{,}87.10^3$

5. ЕКПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

С описаните методика и устройство са получени експериментални резултати, представени в таблици 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 и 15, за масовото износване m, скоростта на износването dm/dt, абсолютната i и специфична i_s интензивност на износване, абсолютната I, специфична I_s износоустойчивост на покритията и тяхното изменение във времето.

Таблица 8: *Експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на* ***образец №1*** *-* 602P ($L = 80mm$)

Път на триене, S [m]	116	232	348	464	580
Брой цикли , N	500	1000	1500	2000	2500
Време , t [min]	2,35	4,7	7	9,4	14,1
Износване, m [mg]	150,2	180,8	200,5	215	217,2
Скорост на износване [mg / min]	63,91	38,47	28,64	22,87	18,48
Интензивност на износване, i	$7.44.10^{-7}$	$4{,}48.10^{-7}$	$3{,}31.10^{-7}$	$2{,}66.10^{-7}$	$2{,}15.10^{-7}$
Износоустойчивост, I	$0{,}13.10^7$	$0{,}22.10^7$	$0{,}30.10^7$	$0{,}37.10^7$	$0{,}46.10^7$
Специфична интензивност на износване, i_s	$6{,}62.10^{-3}$	$3{,}97.10^{-3}$	$2{,}94.10^{-3}$	$2{,}36.10^{-3}$	$1{,}91.10^{-3}$
Специфична износоустойчивост, I_s	$0{,}15.10^3$	$0{,}25.10^3$	$0{,}34.10^3$	$0{,}42.10^3$	$0{,}52.10^3$

Таблица 9: *Експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на* ***образец № 2 -*** $602P$ $(L = 120mm)$

Път на триене, S [m]	116	232	348	464	580
Брой цикли , N	500	1000	1500	2000	2500
Време , t [min]	2,35	4,7	7	9,4	14,1
Износване, m [mg]	4,5	5,9	7,2	7,9	8,8
Скорост на износване [mg / min]	1,9	1,2	1	0,84	0,75
Интензивност на износване, i	$0,22.10^{-7}$	$0,14.10^{-7}$	$0,12.10^{-7}$	$0,1.10^{-7}$	$0,09.10^{-7}$
Износоустойчивост, I	$4,48.10^{7}$	$7,14.10^{7}$	$8,83.10^{7}$	$10,2.10^{7}$	$11,46.10^{7}$
Специфична интензивност на износване, i_s	$0,2.10^{-3}$	$0,13.10^{-3}$	$0,1.10^{-3}$	$0,05.10^{-3}$	$0,08.10^{-3}$
Специфична износоустойчивост, I_s	$5,05.10^{3}$	$7,7.10^{3}$	$9,5.10^{3}$	20.10^{3}	$12,5.10^{3}$

Таблица 10: *Експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на* ***образец № 3 -*** $F382F$ $(L = 80mm)$

Път на триене, S [m]	116	232	348	464	580
Брой цикли , N	500	1000	1500	2000	2500
Време , t [min]	2,35	4,7	7	9,4	14,1
Износване, m [mg]	13,5	17,8	24,5	29,6	33,4
Скорост на износване [mg / min]	5,7	3,78	3,5	3,1	2,84
Интензивност на износване, i	$0,76.10^{-7}$	$0,5.10^{-7}$	$0,46.10^{-7}$	$0,41.10^{-7}$	$0,37.10^{-7}$
Износоустойчивост, I	$1,32.10^{7}$	2.10^{7}	$2,18.10^{7}$	$2,4.10^{7}$	$2,66.10^{7}$
Специфична интензивност на износване, i_s	$0,59.10^{-3}$	$0,39.10^{-3}$	$0,36.10^{-3}$	$0,32.10^{-3}$	$0,29.10^{-3}$
Специфична износоустойчивост, I_s	$1,68.10^{3}$	$2,55.10^{3}$	$2,78.10^{3}$	$3,07.10^{3}$	$3,4.10^{3}$

Таблица 11: *Експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на* ***образец № 4 -*** $F382F$ $(L=120mm)$

Път на триене, S [m]	116	232	348	464	580
Брой цикли , N	500	1000	1500	2000	2500
Време , t [min]	2,35	4,7	7	9,4	14,1
Износване, m [mg]	10,2	15,7.	20,5	29,4.	32,8.
Скорост на износване [mg / min]	4,34	3,34	2,93	3,13	2,79
Интензивност на износване, i	$0,57.10^{-7}$	$0,44.10^{-7}$	$0,38.10^{-7}$	$0,41.10^{-7}$	$0,37.10^{-7}$
Износоустойчивост, I	$1,75.10^{7}$	$2,27.10^{7}$	$2,6.10^{7}$	$2,42.10^{7}$	$2,71.10^{7}$
Специфична интензивност на износване, i_s	$0,45.10^{-3}$	$0,34.10^{-3}$	$0,30.10^{-3}$	$0,32.10^{-3}$	$0,29.10^{-3}$
Специфична износоустойчивост, I_s	$2,23.10^{3}$	$2,9.10^{3}$	$3,33.10^{3}$	$3,09.10^{3}$	$3,47.10^{3}$

Таблица 12: *Експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на* ***образец № 5 -*** $WC/Co(88/12)$ $(L=80mm)$

Път на триене, S [m]	116	232	348	464	580
Брой цикли , N	500	1000	1500	2000	2500
Време , t [min]	2,35	4,7	7	9,4	14,1
Износване, m [mg]	0,6	0,8	1,0	1,4	1,6
Скорост на износване [mg / min]	0,21	0,17	0,14	0,15	0,13
Интензивност на износване, i	$0,014.10^{-7}$	$0,009.10^{-7}$	$0,008.10^{-7}$	$0,008.10^{-7}$	$0,00710^{-7}$
Износоустойчивост, I	$71,6.10^{7}$	$107,4.10^{7}$	129.10^{7}	129.10^{7}	134.10^{7}
Специфична интензивност на износване, i_s	$0,03.10^{-3}$	$0,02.10^{-3}$	$0,01.10^{-3}$	$0,015.10^{-3}$	$0,014.10^{-3}$
Специфична износоустойчивост, I_s	$37,9.10^{3}$	$56,9.10^{3}$	$68,2.10^{3}$	65.10^{3}	$71,1.10^{3}$

Таблица 13: *Експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на* ***образец № 6 -*** Cr_2O_3 $(L = 80mm)$

Път на триене, S [m]	116	232	348	464	580
Брой цикли , N	500	1000	1500	2000	2500
Време , t [min]	2,35	4,7	7	9,4	14,1
Износване, m [mg]	18,6	30,2	42,3	56,1	66
Скорост на износване [mg / min]	7,91	6,42	6,04	5,97	5,62
Интензивност на износване, i	$1,14.10^{-7}$	$0,92.10^{-7}$	$0,86.10^{-7}$	$0,86.10^{-7}$	$0,81.10^{-7}$
Износоустойчивост, I	$0,87.10^{7}$	$1,08.10^{7}$	$1,16.10^{7}$	$1,16.10^{7}$	$1,24.10^{7}$
Специфична интензивност на износване, i_s	$0,82.10^{-3}$	$0,66.10^{-3}$	$0,62.10^{-3}$	$0,61.10^{-3}$	$0,58.10^{-3}$
Специфична износоустойчивост, I_s	$1,22.10^{3}$	$1,5.10^{3}$	$1,61.10^{3}$	$1,62.10^{3}$	$1,72.10^{3}$

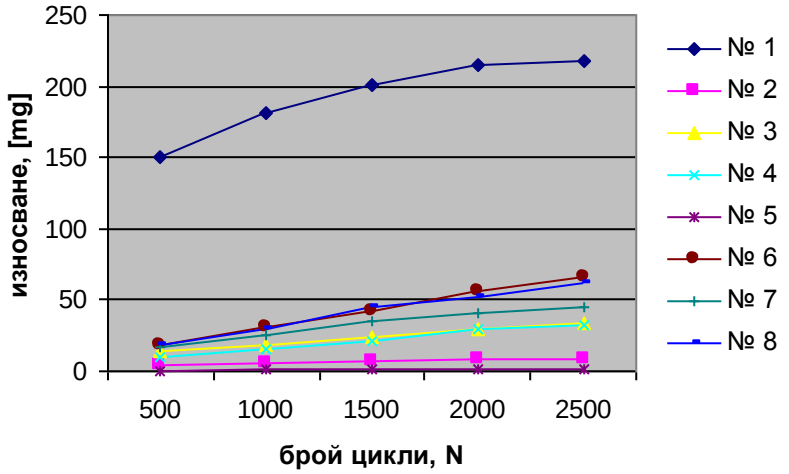
Таблица 14: *Експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на* ***образец № 7 -*** Cr_2O_3 $(L = 120mm)$

Път на триене, S [m]	116	232	348	464	580
Брой цикли , N	500	1000	1500	2000	2500
Време , t [min]	2,35	4,7	7	9,4	14,1
Износване, m [mg]	17,5	25,4	35,1	40,8	44,6
Скорост на износване [mg / min]	7,45	5,4	5,01	4,34	3,79
Интензивност на износване, i	$1,07.10^{-7}$	$0,78.10^{-7}$	$0,72.10^{-7}$	$0,62.10^{-7}$	$0,54.10^{-7}$
Износоустойчивост, I	$0,93.10^{7}$	$1,29.10^{7}$	$1,4.10^{7}$	$1,6.10^{7}$	$1,83.10^{7}$
Специфична интензивност на износване, i_s	$0,77.10^{-3}$	$0,56.10^{-3}$	$0,51.10^{-3}$	$0,45.10^{-3}$	$0,39.10^{-3}$
Специфична износоустойчивост, I_s	$1,3.10^{3}$	$1,79.10^{3}$	$1,94.10^{3}$	$2,23.10^{3}$	$2,55.10^{3}$

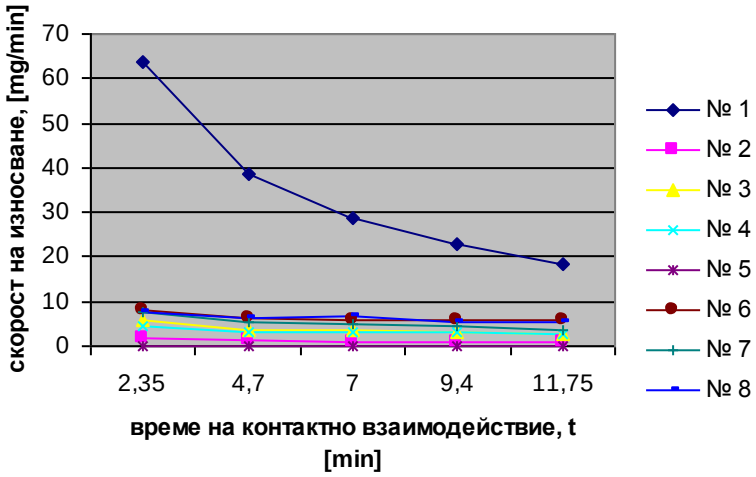
Таблица 15: *Експериментални резултати за масовото износване, скоростта на износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на* ***образец № 8*** - 1710 D (DIN) ($L = 80mm$)

Път на триене, S [m]	116	232	348	464	580
Брой цикли , N	500	1000	1500	2000	2500
Време , t [min]	2,35	4,7	7	9,4	14,1
Износване, m [mg]	18,2	30,1	45,6	52,4	61,1
Скорост на износване [mg / min]	7,74	6,4	6,51	5,57	5,2
Интензивност на износване, i	$1,02.10^{-7}$	$0,84.10^{-7}$	$0,85.10^{-7}$	$0,74.10^{-7}$	$0,69.10^{-7}$
Износоустойчивост, I	$0,97.10^{7}$	$1,18.10^{7}$	$1,17.10^{7}$	$1,36.10^{7}$	$1,45.10^{7}$
Специфична интензивност на износване, i_s	$0,8.10^{-3}$	$0,66.10^{-3}$	$0,67.10^{-3}$	$0,57.10^{-3}$	$0,54.10^{-3}$
Специфична износоустойчивост, I_s	$1,25.10^{3}$	$1,51.10^{3}$	$1,5.10^{3}$	$1,74.10^{3}$	$1,86.10^{3}$

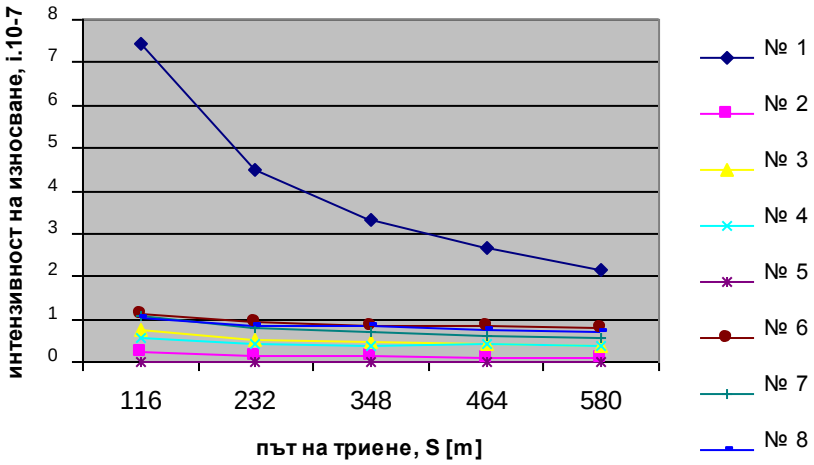
На следващите фигури са представени графично: зависимост на масовото износване m от броя цикли на износване N (фиг.2), зависимост на скоростта на износване от времето t (фиг.3), зависимостта на абсолютната интензивност на износване i от пътя на триене S (фиг.4), зависимост на специфичната интензивност на износване i_s от пътя на триене S (фиг.5).



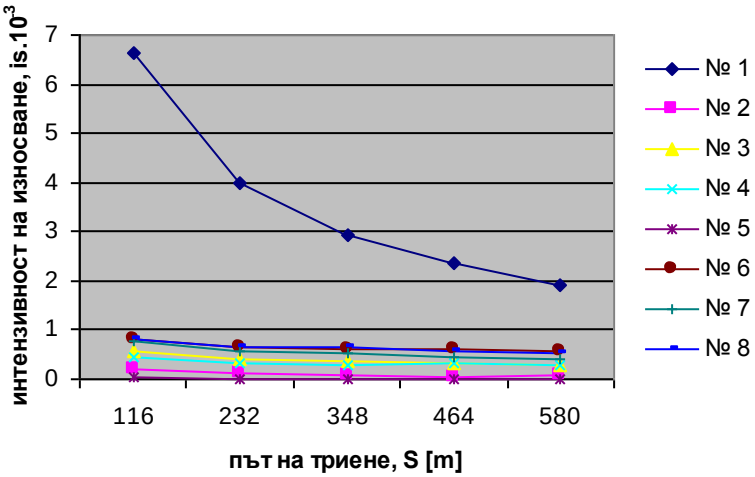
фиг. 2: *Зависимост на масовото износване* m *от броя цикли* N.



фиг. 3: *Зависимост на скоростта на износване* $\dot{m}$ *от времето* t



фиг.4 : *Зависимост на абсолютната интензивност на износване* i *от пътя на триене* S

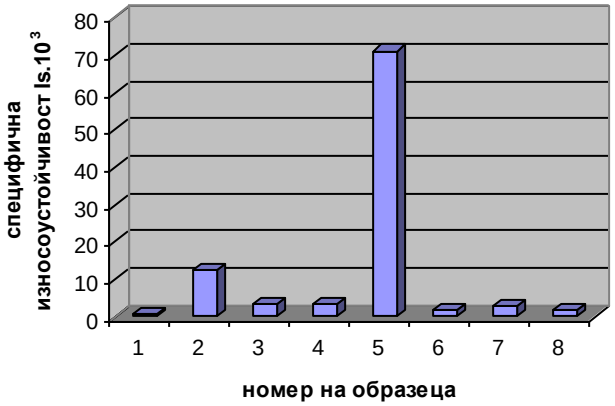


фиг.5: *Зависимост на специфичната интензивност на износване* i_s *от пътя на триене* S

На фиг. 6 и фиг. 7 са представени таболограмите съответно на абсолютната износоустойчивост I и на специфичната износоустойчивост I_s на образците за един и същ път на триене $S = 580\ [m]$, съответстващ на $N = 2500$ цикъла.



фиг. 6: *Таболограма на абсолютната износоустойчивост I на образците*



фиг. 7: *Таболограма на специфичната износоустойчивост I_s на образците*



фиг. 8: *Таболограма на износоустойчивостта на образците, изключваща покритие от $WC/Co(88/12)$*

6. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Получени са експериментални резултати за износването и износоустойчивостта на 7 вида композитни покрития, представени в графичен вид, за:

* зависимостта на масовото износване от броя цикли на триене;
* зависимостта на скоростта на масовото износване от времето;
* изменението на абсолютната интензивност на износване от пътя на триене;
* изменение на специфичната интензивност на износване от пътя на триене.

Във вид на таболограма са представени абсолютната и специфична износоустойчивост на всички покрития при 2500 цикъла път на триене.

Основните констатации се свеждат да:

- покритие, нанесено с прахова композиция 602 Р има силно изразен нелинеен характер на износването от броя цикли (път на триене) и по-продължителен период на приработване в сравнение с останалите покрития [5,6];
- най-ниска износоустойчивост има покритие 602Р при $L = 80mm$;
- най-висока износоустойчивост има покритие $WC/Co(88/12)$, чиято стойност е несъизмерима с износоустойчивостта на останалите покрития – тя е с няколко порядъка по-висока;
- от останалите покрития най-висока е износоустойчивостта на покритие F382F при режим $L = 120mm$.

Като заключение може да се направи следната препоръка: в условия на абразивно износване най- подходящи за експлоатация са покрития, нанесени чрез технологията HVOF-процес, с прахови композиции $WC/Co(88/12)$ и покритие F382F при режим $L = 120mm$.

Иследването в настоящата работа е свързано с проблематиката и е финансирано по договор ДУНК-01/3 на Техническия университет-София с МОН на тема:

„Създаване на „Университетски научно-изследователски комплекс” (УНИК) за иновации и трансфер на знания в областта на микро/нано технологии и материали, енергийна ефективност и виртуално инженерство”.

ЛИТЕРАТУРА

[1] I. Peichev , M. Kandeva, Characterizing of composite coatings deposited through gas-thermal super sound stream (HVOF-process) at different technological regimes, *11th International Conference on Tribology "BULTRIB 2012", Sofia, 2012, in print*.

[2] M. Kandeva, J. Kaleicheva, E. Assenova, I.Peichev, B. Ivanova, V. Mishev, Wear of powder-flame coatings containing microparticles, *Proceedings of the 17th International Colloquium Tribology, Esslingen, Germany, 9-12 January, 2012, in Print*.

[3] БДС 14289-77 Метод за изпитване на абразивно износване при триене върху закрепени абразивни частици.

[4] M. Kandeva, N. Hristov, N. Tonchev, E. Assenova: Tribological Study of Cladded Bimetallic Coatings, *Solving Friction and Wear Problems, Proceedings of the 17th International Colloquium Tribology, Esslingen, Germany, 19-21 January, 2010.*

[5] Manolov, M. Kandeva, Обща трибология, „Св. Иван Рилски", С., 2004

[6] Kandeva M., I. Peichev, N. Kostova, K. Stoichkov, *Complex study of surface layers and coatings, 12th International Conference on Tribology SERBIATRIB'2011,Kragujevac, Serbia, 11 – 13 May 2011, pp 46-50.*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

METHOD FOR DETERMINATION OF SPEED REDUCER GEARINGS WEAR IN MINING AND ORE-PROCESSING MACHINES

V. Pozhidaeva[1], M. Kandeva[2], E. Assenova[2]

University of mining and geology "Sv. Ivan Rilski" – Sofia, Bulgaria,
vpojidaeva@abv.bg

Tribology Centre, Technical University, Sofia, Bulgaria,

kandeva@tu-sofia.bg

Tribology Centre, Society of Bulgarian Tribologists, Sofia, Bulgaria,
emiass@abv.bg

МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ИЗНОСВАНЕТО В ЗЪБНИТЕ ПРЕДАВКИ НА РЕДУКТОРИТЕ ОТ МИННИ И ОБОГАТИТЕЛНИ МАШИНИ

В. Пожидаева, М. Кандева, Е. Асенова

Abstract:*The article treats the issue of gear wheels wear in speed reducer gears of mining and ore-processing machines. Relationships illustrating gear wheels wear were obtained on the basis of the hydro-dynamic theory for lubrication of rubbing pairs and the roughness of these surfaces in characteristic points of the line of meshing.*

INTRODUCTION

The operational reliability of mining and ore-processing machines is directly related to the technical condition and quality of the speed reducers from their driving. These machines operate in the conditions of high dynamic loads of casual nature and aggressive ambience with regard to dust loading, abrasiveness, moisture, etc., which is a prerequisite for low degree of wear-resistance of the reducer parts. The most vulnerable in this respect are rolling bearings and gear drives with evolving meshing, which prevail in the speed reducers of mining machines. While for rolling bearings, there are methods of calculating the wear resistance, for gear drives the wear-resistance factors can not always be reliably accounted for.

It is well known that the wear processes are related to the lubrication regime through the so called lubrication regime coefficient λ, which illustrates the relationship between the thickness of the oil film h_o (μm) and the roughness of the contact surfaces R_a (μm)

$$\lambda = \frac{h_o}{R_a} \tag{1}$$

where:

$$R_a = \sqrt{R_{a_a}^2 + R_{a_b}^2}\ ;\ R_{a_a} \text{ and } R_{a_b}$$

are roughnesses of the two contact surfaces from the teeth in the meshing.

To determine h_o, we shall refer to Kodnir's D. (1976) method, where for cylindric gear wheels with straight teeth, the thickness of the lubrication layer h_o in the well-known five characteristic points from the line of active meshing is of primary interest from the point of view of gear serviceability (points *A, B, P, C, D* from Fig. 1).

In each one of these "*i* " points, h_o can be determined from:

$$h_0 = \frac{3{,}17.n^{0,6}\left[\mu_0\left(u_{a_i} + u_{b_i}\right)\right]^{0,75}}{k_{0_i}^{0,15}\left(\lambda_a \pm \lambda_b\right)^{0,4}}, [\mu m] \tag{2}$$

To calculate the corresponding h_o, it is necessary to determine in advance the quantities for each "*i*" point from Formula (2).

1. REDUCED CURVATURE $\lambda_a \pm \lambda_b$

$$\lambda_a \pm \lambda_b = \frac{1000}{\rho_{np_i}}, \quad \frac{1}{m} \tag{3}$$

where:

ρ_{np_i} is reduced radius of curvature for each one of the five points of the two gear wheels from the meshing, designated by indices a and b (ρ_{a_i} and ρ_{b_i}).

The symbol (+) refers to external meshing, and the symbol (-) for inner meshing.

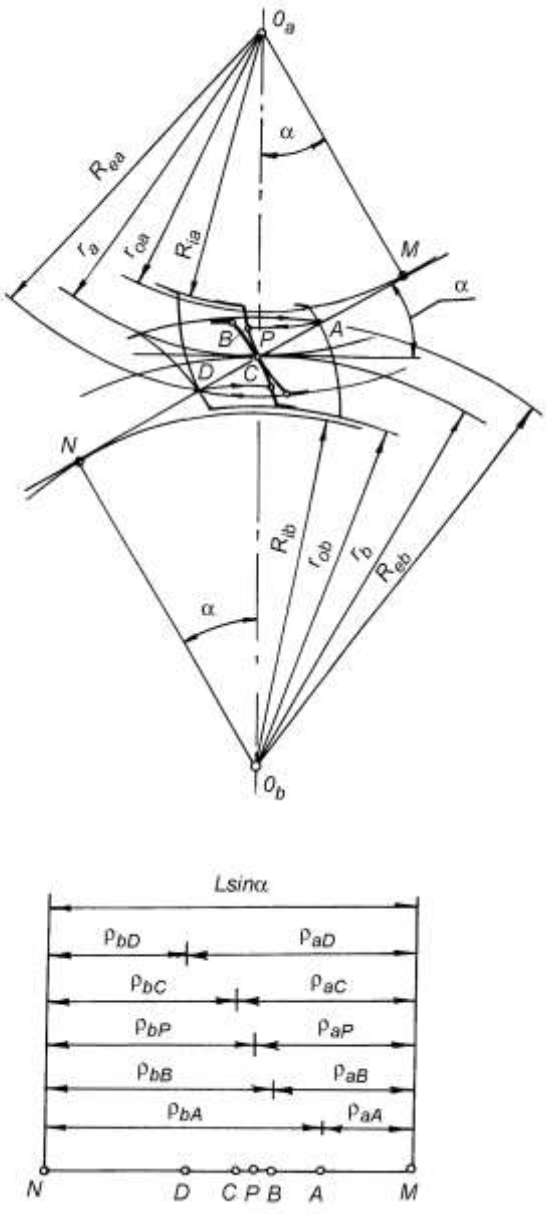


***Fig. 1**. Characteristic points from the line of active meshing*

Curvature radii are as follows:
a) for point *A*:

$$\rho_{b_A} = \sqrt{R_{eb}^2 - r_{ob}^2}$$

$$\rho_{a_A} = L\sin\alpha - \sqrt{R_{eb}^2 - r_{ob}^2}$$

b) for point *D:*

$$\rho_{a_D} = \sqrt{R_{ea}^2 - r_{oa}^2}$$

$$\rho_{b_D} = L\sin\alpha - \sqrt{R_{ea}^2 - r_{oa}^2}$$

c) for point *B:*

$$\rho_{a_B} = \sqrt{R_{ea}^2 - r_{oa}^2} - t_0$$

$$\rho_{b_B} = L\sin\alpha - \left(\sqrt{R_{ea}^2 - r_{oa}^2} - t_0\right)$$

d) for point *C:*

$$\rho_{b_C} = \sqrt{R_{eb}^2 - r_{ob}^2} - t_0$$

$$\rho_{a_C} = L\sin\alpha - \left(\sqrt{R_{eb}^2 - r_{ob}^2} - t_0\right)$$

e) for point *P:*

$$\rho_{b_P} = r_b \sin\alpha$$

$$\rho_{a_P} = r_a \sin\alpha$$

where:
R_{ea}, R_{eb} - radii of the top circumferences of the two gear wheels, mm;
r_{oa}, r_{ob} - radii of the main cicumferences of the two gear wheels, mm;
L – inter-central distance, mm;
$\alpha°$ - angle of meshing;

r_a, r_b - radii of the initial circumferences of the two gear wheels, mm;
t_0 - main step.

2. ROLLING SPEED FOR EACH ITH POINT u_{a_i} AND u_{b_i} OF THE TWO GEAR WHEELS

$$u_{a_i} = \rho_{a_i}.\omega_a.10^{-3}, [mm/s] \quad (6)$$

$$u_{b_i} = \rho_{b_i}.\omega_b.10^{-3}, [mm/s] \quad (7)$$

where: ω_a and ω_b are the angular speeds of the two gear wheels, 1/s.

3. RELATIVE LINEAR LOADING K_0

$$K_0 = k(K_{0\,\Pi} + Q), \quad [N/m] \quad (8)$$

where:
k – coefficient of loading;
$K_{0\,\Pi}$ - useful relative linear loading, $[N/m]$;
Q – dynamic relative linear loading, $[N/m]$;
The estimation of $K_{0\,\Pi}$, Q, κ is illustrated in Semencha P. and Zislin U. (1990).

4. VISCOSITY OF THE OIL FOR ATMOSPHERIC PRESSURE OF μ_0, [N.S/M^2] AND PIEZO-COEFFICIENT OF THE LUBRICANT FOR RESPECTIVE TEMPERATURE OF N, [M^2/N], (SEMENCHA P., ZISLIN U. 1990).

The roughness R_a of the contact surfaces (formula 1) for gear wheels in speed reducers of mining and ore-processing machines is standardized as limit values in three intervals: $R_a = 1{,}25 - 0{,}63$; $R_a = 2{,}5 - 1{,}25$; $R_a = 10 - 2{,}5$ (Semencha P., Zislin U. 1990). The parameter R_a, according to the definition in standard (Russeva Sl. et al. 1988), represents the height of a rectangle with a base equal to the base length for roughness control and a face equal to the amount of profile faces on both sides of the middle line. This definition fully corresponds to Kragelskij's thickness Δh [μm] of the idealized volumetric layer

of material separated from the contact spots of the teeth upon their wear out (Kragelkij I. et al. 1977).

The correction of reduced curvature radii in the five characteristic points from the meshing line with the quantity Δh gives possibility to normalize the parameters in formulae (1) to (8) for limit gear wear in each specific case of building.

REFERENCE:

[1] Kodnir D.S., (1976) Contact hydrodynamics of machine details lubrication, M., "Machinostroenie".

[2] Kragelskij I.V., Dobujchin M. N., Kombalov V. S., (1977) Principles of accounting for friction and wear, M., "Machinostroenie".

[3] Ruseva Sl., Papazyan K., Atanasov As., Petkova St., ESKD, (1988) Reference Book of Building Documentation, S., "Technika".

[4] Semencha P.V., Zislin U. A., (1990) Speed Reducers of Mining Machines. Construction, Estimations and Testing, M., "Nedra".

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

СТЕНД ЗА УДАРНО-АБРАЗИВНО ИЗНОСВАНЕ. ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА УДАРНИЯ МЕХАНИЗЪМ

Александър Монов

Висше траспортно училище „Тодор Каблешков" – София, България,
almonov@gmail.com

BENCH IMPACT-ABRASION. PECULIARITIES IN HAMMER MECHANISM

Alexander Monov

Trasport Higher School "Todor Kableshkov" - Sofia, Bulgaria

Abstract: *The communication scheme are presented and design of bench-impact and abrasion characteristics in the design of stroke mechanism. The new proposal is consistent with contemporary trends in tribological testing under certain conditions. The presented solution is compared with like, based on that defined the benefits of the proposed structure. E shared experience in solving some technical issues of designing the hammer mechanism.*

Keywords: tribology, shock-abrasion, bench, bench construction

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Експлоатационната дълготрайност, надеждност, работоспособност и конкурентноспособност на промишлените изделия зависят от използваните материали и приложените разнообразни (механични, физични, химични и др.) въздействия върху тях.

В секторите на миннодобивната промишленост и машиностроенето е установено, че в повечето случаи основната причина за снижаване

дълготрайността на детайлите на машините, механизмите и инструментите е износването. В резултат от него се намалява ефективното време за работа и се изразходват средства за ремонт и възстановяване. На свой ред, разликата в условията на работа на триещите се двойки при експлоатация на машините, обуславя появата на принципно различни видове износване.

За да се направят редица експлоатационни изпитания на наварени детайли, вкл. и на тези от пътно-строителната техника и рудодобивната промишленост, е необходимо да се изследва тяхното поведение в условия на ударно-абразивно износване - критерий определящ ефективността на покритията. Ударно-абразивното износване се проявява при удар на твърди частици, способни да променят контактната повърхност, като образуват следи от пряко динамично проникване. Подложената на този вид износване повърхност няма насочена грапавина (напр. драскотина), а следователно няма и относително преместване на твърди частици по нея.

Процесът на износване се проявява след пряк удар на изпитваното тяло и еталонен образец, при непосредствен контакт със свободно падащи абразивни частици под формата на пясъчна маса. В механизма на ударно-абразивното износване се проявява малоциклична умора на микрообеми на метала, предизвикана от повторното приложение на динамичното натоварване при еластичен и еластично-пластичен контакт. В основата на този механизъм е прякото динамично проникване на твърдата частица в метала и свързаната с нея деформация, завършваща с разрушаване на микрообеми на метала и образуване на частици от износването.

Целта на настоящото съобщение е да представи функционалната схемата и принцип на действие на съществуващ и новопредложен стенд, както и особеностите при проектирането на ударния механизъм.

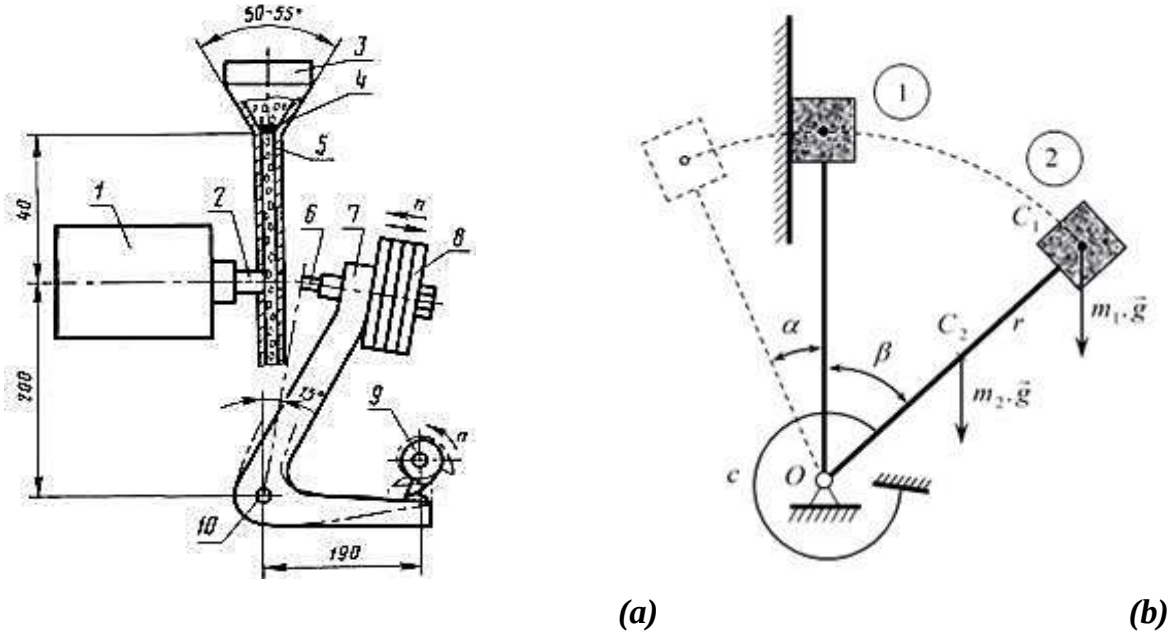
2. ИЗЛОЖЕНИЕ

2.1. Схема, принцип на действие и конструктивни недостатъци на съществуващ стенд за ударно-абразивно износване.

За оценяване на разглежданото ударно-абразивно износване *(фиг.1)* е представен съществуващ стенд. Конструкцията на апаратурата за изпитания е показана в стандарт, озаконен в Русия през 1979 г.

Изпитателният стенд се състои от наковалня *1*, в която неподвижно е закрепено еталонно тяло *2* с определени твърдост и размери. Ударът се осъществява през слой от абразивен прах *5* с помощта на ударник *7*, който се притиска в единия си край от гърбичния вал *9*, задвижван от електродвигател. В горния край на ударника неподвижно се закрепва изпитван или еталонен образец, чиято сила и скорост на движение може да се регулират. Това се осъществява както чрез изменение дължината на усукващия се торсионния прът *10*, така и чрез добавяне и отнемане на

сменяемите тежести *8*. Абразивният прах *5* е с точно определена средна едрина на зърната и се съхранява в бункер *3* със затвор *4*.



(a) ***(b)***

фиг.1 *Стенд за изпитване на ударно-абразивно износване (a) и механичен модел на действие на ударната част (b)*

По време на изпитанията стендът трябва да осигури вариране в определени граници на няколко параметъра, а именно:

- скорост на ударника – $V_{уд}$;
- енергия на удара – $E_м$;
- честота на контакт между изпитваното тяло и еталонния образец.

Едно от основните изисквания, гарантиращи достоверност на данните от изпитанията, е условието за отклонение от успоредност на челните повърхнини на изпитваното тяло и еталонния образец – то трябва да бъде не по-голямо от *0,05 [mm]*.

При удовлетворяване условията на стандарта за провеждане на опитите се проявяват и конструктивните недостатъци на морално остарялата конструкция, които могат да се определят в няколко основни направления:

- грешки, възникващи вследствие износването на сухотриещи се части в конструкцията –гърбицата *9* на задвижващия вал и контакта с ударника, налагат постоянно измерване и корекция ъгъла на усукване на торсиона;
- отклонения от успоредност на контактните повърхнини на изпитваните образци, излизащи извън зададените граници, вследствие конзолното закрепване на ударника и използване на тежести с голяма маса – над *10 [kg]*;
- невъзможност за промяна на едрината на зърната на абразивния прах и неговия дебит (количество прах за единица време), тъй като не е предвидено регулиране „светлия отвор“ на направляващия канал в бункера;

- трудно регулиране честотата и броя на ударите по време на изпитанията, поради отсъствие на електронно управление на задвижващия ел. Двигател.

2.2. Избор на решение за модернизиране и конструктивно подобряване на стенд за ударно-абразивно износване

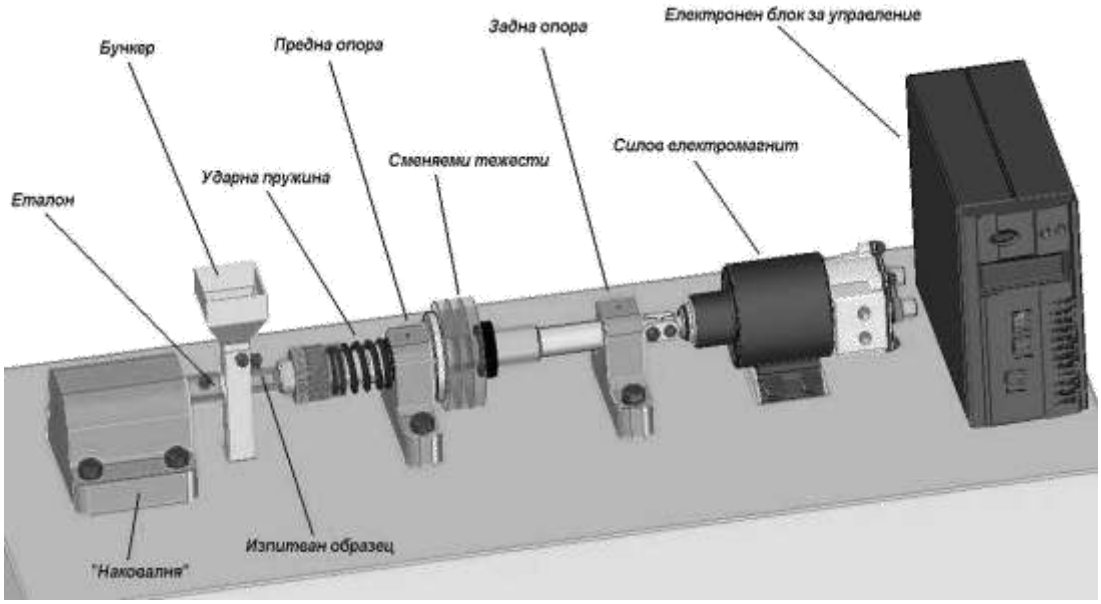
В процеса на работа за подобряване конструкцията на съществуващия стенд, възникват въпроси и проблеми, чието разрешаване е от съществено значение за запазване коректността на изпитанията, а именно:

- статично и динамично пресмятане на няколко нови конструкции при спазване на зададените по стандарт граници на параметрите;
- подбор на подходяща кинематична схема за замяна на оригиналната конструкция и мотивирано обосноваване на избора, съгласно статичните и динамични пресмятания;
- решаване на проблеми, които е възможно да възникнат по време на изпитанията при определена честота на ударите;
- разработване на нова технология за подготовка и провеждането на опитите;
- определяне на нови материали за изпитания съобразно разширените възможности за промяна параметрите на опита;
- замяна на механичните уреди и устройства за измерване с електронни такива.

За да се осигурят коректно зададените условия е необходимо ново решение за модернизиране не само на отделни елементи в съществуващата апаратура, но и промяна в кинематиката на изпитваното тяло. Развитието на технологиите, позволява да се предложи ново решение със значително усъвършенствана конструкция *(фиг.2)*, използваща електронно управление и задвижващ силов електромагнит.

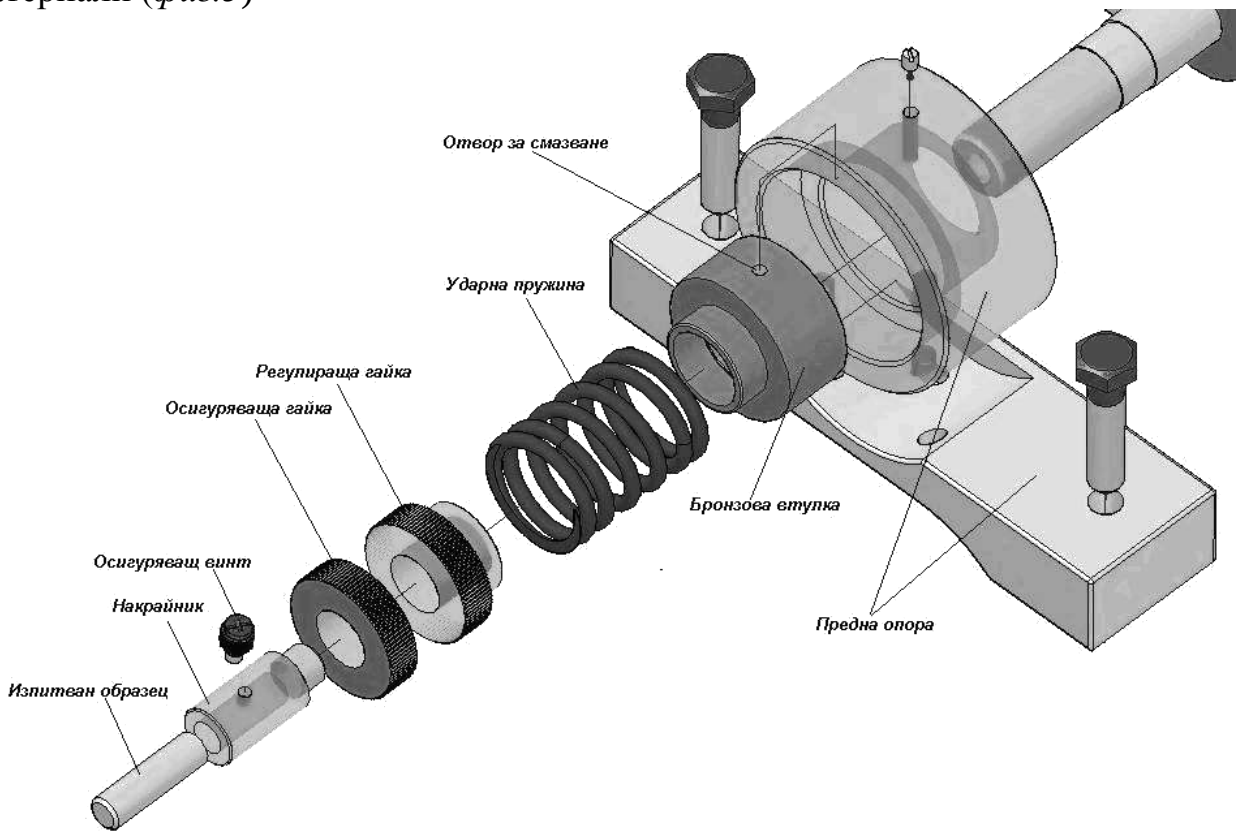
Представеният на фигурата модернизиран стенд е с осъвременена конструкция и разширен диапазон на изследваните параметри. Оптимизирането на конструкцията се състои в промяна движението на ударника от параболично в праволинейно, при което съосността и отклонението от успоредност на контактните повърхнини се гарантира.

Опитният образец се задвижва от цилиндрична винтова пружина, която се свива и отпуска под въздействието на силов електромагнит. Конструктивно се създава възможността за промяна масата на ударника (сменяеми тежести), както и настройване първоначалната дължина на ударната пружина (регулираща гайка).



фиг.2 *Модернизиран стенд за изпитване на ударно-абразивно износване*

Коравината на пружината, а от тук и основните и параметри, се определят на базата на статични и динамични изчисления, в основата на които е увеличаване диапазона на скоростта и отдаваната енергия в зоната на контакт. С помощта на комплект пружини с различни характеристики модернизираният стенд разширява и номенклатурата от изпитвани материали (*фиг.3*)



фиг.3 *Ударна част на модернизиран стенд за изпитване на ударно-абразивно износване.*

Параметрите на силовия електромагнит се избират така, че използваното напрежение да бъде безопасно за изпитващия, а самият соленоид да осигури достатъчно голям честотен диапазон на ударите по време на изпитанията. Използването на електромагнит от друга страна дава възможност за въвеждане на електронно управление и точно спазване общия брой контакти между двете тела по време на изпитанията.

2.3. **Особености при проектирането на ударната част на стенда**

Конструираният стенд е предназначен за изпитване на машиностроителни материали, композиции на метална основа и метални покрития на ударно-абразивно износване. Това изпитване се осъществява чрез многократни директни удари на износващата се повърхност в еталонен образец, през слой от абразивни частици с определена едрина на зърното. Диапазонът на изпитването обхваща метали и метални покрития с твърдост по-голяма от *100 HV*, порести материали със среден размер на порите не по-голям от *0,10 [mm]*, а така също и покрития с дебелина не по-малка от *0,6 [mm]*.

Генерираните от стенда удари оценяват относителната износоустойчивост на материалите и са с определена скорост, честота и енергия. Тази оценка се прави на база сравнението на резултатите от изпитван и еталонен образци, при еднакви условия на провеждане на опита определени в действащия стандарт:

- скоростта при удара на изпитваното тяло по сменяемия еталонен образец, закрепен в наковалнята, е необходимо да бъде в диапазона $V_{уд}$*=0,5 ÷ 5[м/с]*, с точност $\pm$*2.5%*;
- енергията на удара да се изменя в границите *E = 2,94 ÷ 29,4[J]* с точност $\pm$*2.5%*;
- бункерът с направляващ канал е необходимо да подава в зоната на контакт, непрекъснат слой от абразивни частици с дебелина *1 [mm]*;
- неподвижната наковалня трябва да има маса не по-малка от *50 [кg]*;
- сменяемият еталонен образец, закрепен в наковалнята, се изработва от стомана *C45*, с твърдост *640÷675 HV* (закаляване *840*^{0} *C* във вода, температура на отвръщане *150*^{0} *C*);
- износването на образците се определя при претеглянето им с точност не по-малка от *0,0002 [g]*. преди и след изпитанието;
- загубата на маса на образеца в следствие износването при изпитването трябва да бъде не по-малко от *0,005 [g]*.;
- за почистване на образците преди изпитване и след износване да се използва технически бензин или ацетон;

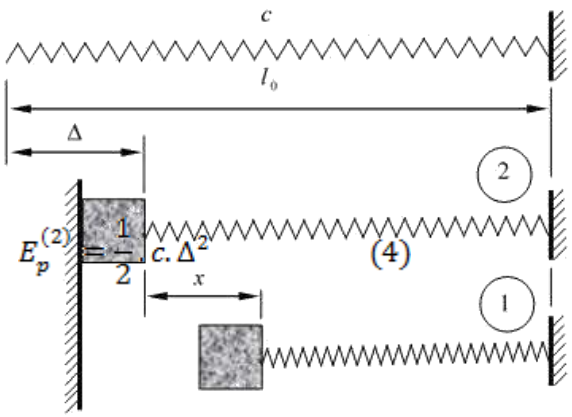
- абразивният материал - карбид на черен силиций, със средна едрина на зърната *0,63 [mm]* и с относително съдържание на влага не повече от *0,15 %* по маса.

Забележка: *За оценка на износоустойчивостта на материала, отнесено към конкретните условия на изпитване, се допуска използването на абразивен материал, съответстващ на въздействащият материал при експлоатация, но с размери на частиците не по-големи от 0,8 [mm].*

При изчисляване на ударната част на стенда трябва да се осигури вариране в определените граници на посочените по-горе параметри, а така също при възможност те да бъдат разширени. Най-важният елемент от ударната част на стенда за ударно-абразивно износване, е цилиндричната винтова пружина. Нейните конструктивни параметри (диаметър на телта, вътрешен, външен и основен диаметър, стъпка и др.) трябва да се изберат така, че тя да осигурява определено количество отдадена енергия в зоната на контакта между изпитвания образец и пробното тяло *($E_{уд}$)*, при спазване на зададена скорост *($V_{уд}$)*.

Пресмятането на тези параметри и последващия избор на пружина, преминава през следните етапи:

- изчисляване на кинетичната и потенциална енергия в положение *1* (пружината е деформирана от силовия електромагнит) и в положение *2* (свободно или предварително деформирано състояние) - *фиг.4*



$$E_k^{(1)} = 0 \qquad (1)$$

$$E_p^{(1)} = \frac{1}{2}.c.(\Delta + x)^2 \qquad (2)$$

$$E_k^{(2)} = \frac{1}{2}.m.V^2 \qquad (3)$$

фиг.4 *: Начално (1) и работно положение (2) на ударната пружина по време на изпитване.*

където:

l_0– свободно състояние на пружината *[m]*;

c – коравина на пружината *[N/m]*;

Δ – предварително контролирано деформиране на пружината *[m]*;

x – деформиране на пружината от силовия електромагнит *[m];*

m – маса на ударната част *[kg]*;
$V_{уд}$ – скорост на ударника *[m/s]*.

$$E_M^{(1)} = E_M^{(2)} \Rightarrow \frac{1}{2}.c.(\Delta + x)^2 = \frac{1}{2}.m.V^2 + \frac{1}{2}.c.\Delta^2 \qquad (5)$$

- решаване на уравнението спрямо c и получаване на теоретични минимална и максимална стойности за коравината на пружината;

$$c = \frac{m.V^2}{x(x + 2\Delta)} \qquad (N/m)$$

- определяне на геометричните параметри *(d, D,N)* и материала на пружината, в зависимост от коравината;

$$c = \frac{G.d^4}{8.\xi.N.D^3} \qquad (N/m)$$

където:
- G, [Pa] -модул на ъгловите деформации;
- $\xi = 1 - \frac{3}{16}\left(\frac{d}{D}\right)^2$ – коефициент, отчитащ напреженията от чисто срязване в тела на пружината;
- d [mm]– диаметър на пружинния тел;
- D, [mm] – основен диаметър на пружината.

Изборът на параметрите на пружината трябва да е съобразен и със следните конструктивни ограничения :
- вътрешният диаметър на пружината трябва да бъде по-голям от външния диаметър на водача на бронзовата втулка;
- външният диаметър на пружината трябва да бъде по-малък от вътрешния диаметър на тялото на предната опора;
- максималната деформация на пружината трябва да бъде с *10%* по-малка от границата на допиране на навивките.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Представеното ново предложение е съобразено със съвременните трибологични тенденции за изпитване при определени условия.

Модернизираният стенд за ударно-абразивно износване отстранява конструктивните недостатъци на морално остарялата конструкция посочена в стандарта от 1979 г., а именно:
- значително се разширяват границите за изпитване и номенклатурата от материали, които могат да се изследват;

- променя се движението на ударника от параболично в праволинейно, при което съосността и отклонението от успоредност на контактните повърхнини се гарантира
- избягват се неточности, предизвикани от износване на контактни повърхности с влошено смазване и еластичните деформации на конзолно закрепения ударник;
- новата опция за регулиране на отвора, през който преминава абразивния прах, дава възможност за използване на абразиви с различни средна едрина на зърното и свойства, както и да се регулира масовия дебит на изтичащия абразивен поток;
- използване на електромагнит и въвеждане на блок за електронно управление, дава възможност за финна и точна настройка на брой и честота на контактите по време на изпитването;
- при изчисляване на ударната част, чрез изменение на различни конструктивни параметри, може да се изберат набор от пружини, разширяващи възможността за изпитване на материали с висока твърдост и износоустойчивост;
- за разлика от конструкцията посочена в стандарта от 1972 г., модернизираният стенд се захранва с напрежение *(12V)*, което е безопасно за изпитващия оператор.

ЛИТЕРАТУРА

[1] ГОСТ 23.207-79, Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний машино-строительных материалов на ударно-абразивное изнашивание.

[2] Бахметьев В.В., Расчет энергосиловых параметров установки для испытания металов и сплавов на ударно-абразивный износ

[3] Тончев Г. П., Изследване процесите на възстановяване на детайлите от автотракторната и земеделската техника с флуидни покрития, *Дисертация, Русе, 1994 г.*

[4] Воловик Е. Л., Справочник по восстановлению деталей, *М. Колос, 1981г.*

[5] Масино М. А., Организация восстановления автомобильных деталей, *М. Транспорт, 1981г.*

[6] Маслов М. П., Эфективность и качество ремонта автомобилей, *М. Транспорт, 1981г.*

[7] Monov Al., N.Tontchev, N. Kemilev, Comparative analysis of the geometric parameters and the quality of welded-up seams made with two types of pipe electrode wire, *Proceedings of 15th International conference Transport 2005, Sofia, 2005.*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

МНОГОКРИТЕРИАЛНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА КОМПОЗИТНИ ПОКРИТИЯ ПРИ ЕЛЕКТРОДЪГОВО РАВНИННО НАВАРЯВАНЕ

Александър Монов [1], Мара Кандева[2]

[1]Висше транспортно училище „Тодор Каблешков" – София, България, almonov@gmail.com
[2]Технически университет-София, България, kandeva@tu-sofia.bg

MULTI STUDY OF COMPOSITE COATINGS IN PLANE ARC WELDING

Alexander Monov[1], Mara Kandeva[2]

[1] Trasport Higher School "Todor Kableshkov" - Sofia, Bulgaria, almonov@gmail.com
[2]Technical University of Sofia, Bulgaria, kandeva@tu-sofia.bg

Abstract: *A methodology has been conducted and Multicriteria study to determine the geometrical parameters of weld seams with overlapping of the main technological factors - current, voltage, welding speed and electrode outlet. Studied two types of coatings in terms of abrasion depending on the mass wear, wear rate of mass - time and intensity of friction wear, durability of the coatings under the same values in the path of nominal friction and contact pressure.*

Keywords: *metallic materials, coatings, welding, tribotechnika*

1.ВЪВЕДЕНИЕ

Една от основните задачи на триботехнологиите се свежда до разработване на методи и средства за управление на състава, структурата и свойствата на повърхностните слоеве в контактните съединения по посока постигане на определени трибологични показатели – фрикционност и износоустойчивост при минимално замърсяване на околната среда.

Перспективна триботехнология с широки области на приложение в индустрията, съчетаваща висока производителност и икономическа ефективност, се явява електродъговото наваряване с тръбна тел в среда от защитни газове.

Основното предимство на тръбния електрод, е че с помощта на различни легиращи елементи, намиращи се в сърцевината на тръбната тел може да се получат композитни покрития с точно определени състав, структура и свойства, което трудно се постига с плътна тел за наваряване.

В състава на тръбната тел, освен легиращи елементи, се съдържат газообразуващи и шлакообразуващи компоненти, които осигуряват защита на дъгата, правилно протичане на физико-химичните и металургични процеси на взаимодействие с базовата повърхнина, и съответно по-високи качествени показатели на покритията.

Като заключителен етап тази триботехнология се включва задължително механична обработка на полученото покритие. Покритията, получени при наваряване, имат висока твърдост, в резултат на което изборът на една или друга технология за обработване е от съществено значение и зависи от формата, размерите и условията на експлоатация на детайлите.

Целта на настоящата работа е да се разработи методика за изследване на три геометрични параметъра, определящи качеството на покрития, нанесени чрез електродъгово равнинно наваряване, а именно - усилване, широчина на шева и допуск за механична обработка.

Изследва се комплексното въздействие на четири технологични фактора (сила на тока, напрежение, скорост на наваряване и електроден излаз), върху всеки от трите качествени параметъра, като последните се оптимизират по посока минимизиране на механичната обработка.

В технологичен режим с оптимизирани параметри се разработва методика и се изследва експериментално масовото износване и износоустойчивостта два вида покрития в условия на сухо триене по повърхнина с твърдо закрепени абразивни частици.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

2.1. Методика и изследване на геометричните параметри на качеството.

Методиката се основава на метода за интерполация чрез полином. Търси се функция от вида:

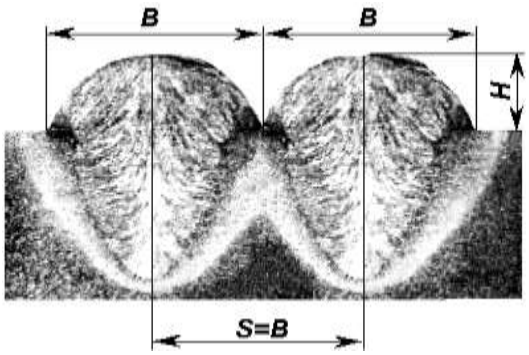
$$y = f_1(x) = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2} x^2, \qquad (1)$$

удовлетворяващи условията:

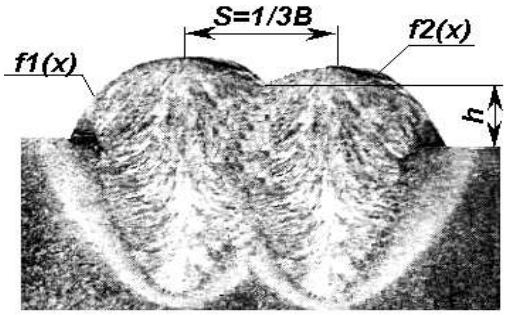
$$f_1(0) = y_{\max};\ f_1(0) = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}.0^2 = y_{\max}$$

$$f_1(\Delta) = 0;\ f_1(\Delta) = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}\Delta^2 = y_{\max} - y_{\max} = 0$$

$$f_1(-\Delta) = 0$$



фиг. 1: *Наваряване без припокриване на шевовете*



фиг. 2: *Наваряване с припокриване на шевовете*

При извеждането на методиката са използвани следните означения:

$$y_{\max} = H \qquad \delta = H \qquad (2)$$

$$2\Delta = B \qquad \Delta = \frac{B}{2} \qquad (3)$$

$$P = \frac{H}{y_{\max}} \qquad (4)$$

Формира се функция $g_2(x)$ от вида,

$$g_2(x) = g_1(x-\delta) \tag{5}$$

тогава функцията описваща вторият слой приема вида:

$$f_2(x) = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}(x-\delta)^2 \tag{6}$$

$$h = f_1(\xi) = f_2(\xi) \tag{7}$$

$$y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}\xi^2 = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}(\xi-\delta)^2 \tag{8}$$

$$-\frac{y_{\max}}{\Delta^2}\xi^2 = -\frac{y_{\max}}{\Delta^2}(\xi-\delta)^2 \tag{9}$$

$$\xi^2 = (\xi-\delta)^2;\ \ \xi^2 = \xi^2 - 2\xi\delta + \delta^2 \tag{10}$$

След извършените преобразувания се получава:

$$2\xi\delta = \delta^2;\quad 2\xi = \delta;\quad \xi = \frac{\delta}{2} \tag{11}$$

$$f_1(\xi) = f_1\left(\frac{\delta}{2}\right) = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \tag{12}$$

$$f_2(\xi) = f_2\left(\frac{\delta}{2}\right) = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}\left(\frac{\delta}{2}-\delta\right)^2 = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}\left(-\frac{\delta}{2}\right)^2 \tag{13}$$

$$f_1(\xi) = f_2\xi \tag{14}$$

$$f_1\left(\frac{\delta}{2}\right) = f_2\left(\frac{\delta}{2}\right) = h \tag{15}$$

Изразът за „чисто” наварената повърхност придобива вида:

$$h = y_{\max} - \frac{y_{\max}}{\Delta^2}\left(\frac{\delta}{2}\right)^2 = y_{\max}\left(1 - \frac{\delta^2}{4\Delta^2}\right) \tag{16}$$

$$h = y_{\max}\left(1 - \frac{\delta^2}{4\Delta^2}\right) \tag{17}$$

Съгласно означенията на чертежа изразът за h приема вида:

$$h = H\left(1 - \frac{S^2}{B^2}\right) \tag{18}$$

Прилагайки методиката е възможно да се изведе уравнение, свързващо стъпката и показателя за равнинност след наваряване - ***P***,

$$P = \frac{h}{y_{\max}} \tag{19}$$

Като се използват вече дефинираните означения:

$$h = y_{\max}\left(1 - \frac{\delta^2}{4\Delta^2}\right) \;;\; P = \left(1 - \frac{\delta^2}{4\Delta^2}\right) \tag{20}$$

$$P = 1 - \frac{1}{4}\left(\frac{\delta}{\Delta}\right)^2 \;;\; P = 1 - \left(\frac{\delta}{2\Delta}\right)^2 \tag{21}$$

$0 < P < 1$ - по условие $\frac{\delta}{2\Delta} > 0$ - по условие,

$$\frac{\delta}{2\Delta} = +\sqrt{1 - P} \tag{22}$$

се получава връзката между застъпването и показателя за равнинност:

$$\delta = 2\Delta\sqrt{1 - P} \tag{23}$$

или, ако се използват означенията от чертежа, тази връзка приема вида:

$$S = B\sqrt{1 - \frac{h}{H}} \tag{24}$$

Геометрията на полученото покритие се определя в зависимост от степента на износване и прибавката за механична обработка, като 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 и различна геометрия на шева. Въпросът за формата и размерите на наваръчния шев е пряко свързан с производителността при възстановяване на износена повърхност и качеството на наварения слой.

За постигане на поставената цел са проведени планирани експерименти като при лабораторните опити са наварени плоски образци от ***Cm20*** с тръбна електродна тел *Fluxofil 58 -1.4 mm (фирма OERLIKON) DIN - 8555,* със следния химически състав:

C-0.5 , Mn-1.5 , Si-0.5 , S-0.007 , P-0.012 , Cr-5.41 , Mo-0.64

Защитната газова смес се състои от 83% аргон и 17% CO_2.

Границите на факторното пространство са представени в *таблица 1*.

Таблица 1: *Стойности на управляващите фактори*

	Основни фактори			
	(X_1) **Ток**	(X_2) **Напрежение**	(X_3) **Скорост на наваряване**	(X_4) **Електроден излаз**
	[A]	*[V]*	*[m/min]*	*[mm]*
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 под внимание технологичните режими и вида на наваряване, за провеждане на опитите е 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 (CO_2); 320A (Ar+CO_2).*

Наваряваният материал представляват опитни образци от *Cm20* с размери: ширина 250 *mm*, дължина 500 *mm* и дебелина 20 *mm*.

Всеки един от геометричните параметри на шева (усилване ***H***, широчина ***B*** и допуск за механична обработка H-h) се описва с регресионен модел, с който този параметър реагира на въздействието на факторите от *таблица 1*. Допускът за механична обработка е определен при припокриването на шевовете с една трета от дължината на единичен шев.

Използвайки стандартна методика [3], за изследваните параметри на качеството се получават следните регресионни зависимости:

$$B = 6{,}179 + 0{,}866X_1 + 1{,}04X_2 - 1{,}78X_3 - 0{,}137X_4 + 0{,}215X_1^2 + 0{,}148X_1X_2 - \\ - 0{,}42X_1X_3 - 0{,}058X_1X_4 + 0{,}393X_2^2 - 0{,}437X_2X_3 + 0{,}542X_3^2 - \\ - 0{,}179X_3X_4 - 0{,}392X_4^2 \qquad (25)$$

$$H = 1{,}559 + 0{,}225X_1 - 0{,}19X_2 - 0{,}63X_3 + 0{,}033X_4 + 0{,}085X_1^2 + 0{,}021X_1X_2 - \\ - 0{,}112X_1X_3 + 0{,}078X_1X_4 + 0{,}246X_2^2 + 0{,}226X_2X_3 + 0{,}04X_2X_4 + 0{,}476X_3^2 - \\ - 0{,}076X_3X_4 \qquad (26)$$

$$H - h = 0{,}734 + 0{,}061X_1 - 0{,}119X_2 - 0{,}268X_3 - 0{,}026X_4 + 0{,}032X_1^2 - 0{,}006X_1X_2 + \\ + 0{,}003X_1X_3 - 0{,}053X_1X_4 + 0{,}113X_2^2 + 0{,}071X_2X_3 + 0{,}026X_2X_4 + 0{,}196X_3^2 + \\ + 0{,}053X_3X_4 - 0{,}069X_4^2 \qquad (27)$$

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

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

Изведените регресионни модели позволяват да се формулира многокритериална задача, от решаването на която могат да се определят най-производителните режими в изследваният диапазон.

За решаването на многокритериалната задача се използва първият от цитираните в [6] методи. За да се приложи метода е необходимо да се определят екстремумите на изследваните геометрични параметри. Резултатите от това изследване са представени в *таблици 2*, *3* и *4*.

Таблица 2: *Екстремални стойности на широчината на наварения слой*

B *[mm]*	**Стойности на технологичните параметри**			
	X_1 **Ток** *[A]*	X_2 **Напрежение** *[V]*	X_3 **Скорост на наваряване** *[m/min]*	X_4 **Електроден излаз** *[mm]*
12,02 (max)	**1**	**1**	**-1**	**0**
	250	**26**	**0,28**	**13**
3,92 (min)	**-0,75**	**-0, 5**	**1**	**1**
	163	**19**	**1,36**	**16**

Таблица 3: *Екстремални стойности на височината на наварения слой*

H *[mm]*	**Стойности на технологичните параметри**			
	X_1 **Ток** *[A]*	X_2 **Напрежение** *[V]*	X_3 **Скорост на наваряване** *[m/min]*	X_4 **Електроден излаз** *[mm]*
3,87 (max)	**1**	**-1**	**-1**	**1**
	250	**18**	**0,28**	**16**
1,19 (min)	**- 1**	**0**	**0,5**	**1**
	150	**22**	**1,09**	**16**

Таблица 4: *Екстремални стойности на допуска за механична обработка на шевовете със застъпване при 1/3 от дължината на единичен шев*

H-h *[mm]*	**Стойности на технологичните параметри**			
	X_1 **Ток** *[A]*	X_2 **Напрежение** *[V]*	X_3 **Скорост на наваряване** *[m/min]*	X_4 **Електроден излаз** *[mm]*
1,69 (max)	**1**	**-1**	**-1**	**-1**
	250	**18**	**0,28**	**13**
0,46 (min)	**-1**	**0,5**	**0,75**	**-1**
	150	**22,5**	**1,225**	**13**

Създадената методика за определяне обема на механична обработка при наваряване, даде възможност да се направи корекция във високо-производителните технологични режими, с цел намаляване на последващото обработване.

След решаването на многокритериалната задача с описания метод се получиха високопроизводителни режими за наваряване. Решението на втората многокритериална задача, включваща и допуска за механично обработване, е представено в *таблица 5*.

Таблица 5. *Оптимизирани режими по отношение на широчината, височината и допуска за последващо обработване на наварения слой*

№	Оптимизирани параметри			Ток *[A]*		Напрежение *[V]*		Скорост на наваряване *[m/min]*		Електроден излаз *[mm]*	
	Параметър		Стойност	Код	Стойност	Код	Стойност	Код	Стойност	Код	Стойност
1	**B**	%	**70,37**	**1**	**250**	**0,5**	**22,5**	**-0,75**	**0,42**	**1**	**16**
		[mm]	**9,61**								
	H	%	**58,9**								
		[mm]	**2,77**								
	H-h	%	**35,83**								
		[mm]	**0,9**								
2	**B**	%	**83,3**	**1**	**250**	**1**	**26**	**-0,75**	**0,42**	**1**	**16**
		[mm]	**10,67**								
	H	%	**60,2**								
		[mm]	**2,81**								
	H-h	%	**36,54**								
		[mm]	**0,91**								

2.2. Трибологично изследване в условия на сухо триене по повърхнина с твърдозакрепени абразивни частици

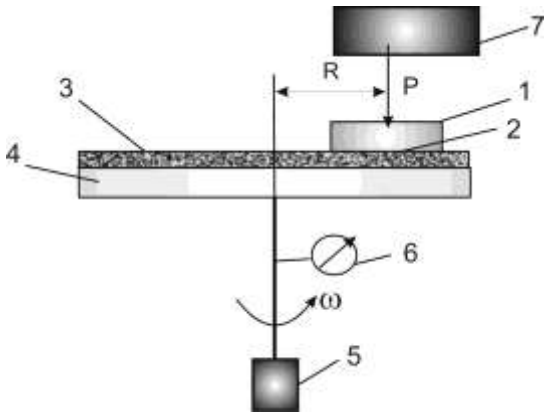
Разработена е методика и е проведено изследване на износването на два вида покрития *LNM 420 FM* и *FLUXOFIL 58* в условия на сухо триене по повърхнина с твърдозакрепен абразив. Покритията са нанесени чрез технологичен режим с оптимизирани параметри в съответствие с таблица 5.

Методиката е хармонизирана с действащия стандарт *БДС 14289* „Метод за изследване на абразивно износване при триене върху закрепени абразивни частици”.

Методиката се реализира с устройство, работещо по принципа „палец-диск”, чиято функционална схема е представена на фиг. 3.

Образецът *1* (тяло) с нанесено покритие *2* има форма на диск с радиус *10 mm* и височина *10 mm*. Противотялото *3* представлява абразивна повърхнина, която се моделира чрез импрегниран корунд с определени характеристики. Изборът му се съобразява със задължителното условие на стандарта – твърдост *60%* по-висока от твърдостта на покритието.

Противотялото *3* е твърдо закрепено за носещ хоризонтален диск *4* и се подменя при всяко измерване. С това се гарантират еднаквите начални условия на контактното взаимодействие между покритието *2* и абразивната повърхнина *3*. В близост до пътечката на триене е включен накрайник на вакуумна помпа, с който се засмукват отделените частици в процеса на износване.



фиг.3 *Функционална схема на устройство за изследване на абразивно износване*

Носещият хоризонтален диск *4* заедно с абразивната повърхнина *3* ротира с постоянна ъглова скорост $\omega=const$ около собствената си вертикална ос. Ъгловата скорост се задава с електродвигател *5*, а броя цикли, респективно пътя на триене *S*, се отчита с брояча *6*. Образецът *1* се закрепва подходящо в натоварващата глава *7*, където с лостова система се осигурява желаното нормално натоварване *P* в центъра на тежестта на образеца *1*. Средната скорост на плъзгане при триене се задава чрез изменение на разстоянието *R* между оста на диска *4* и оста на образеца *1*.

Методиката на изследване включва следната последователност от операции:

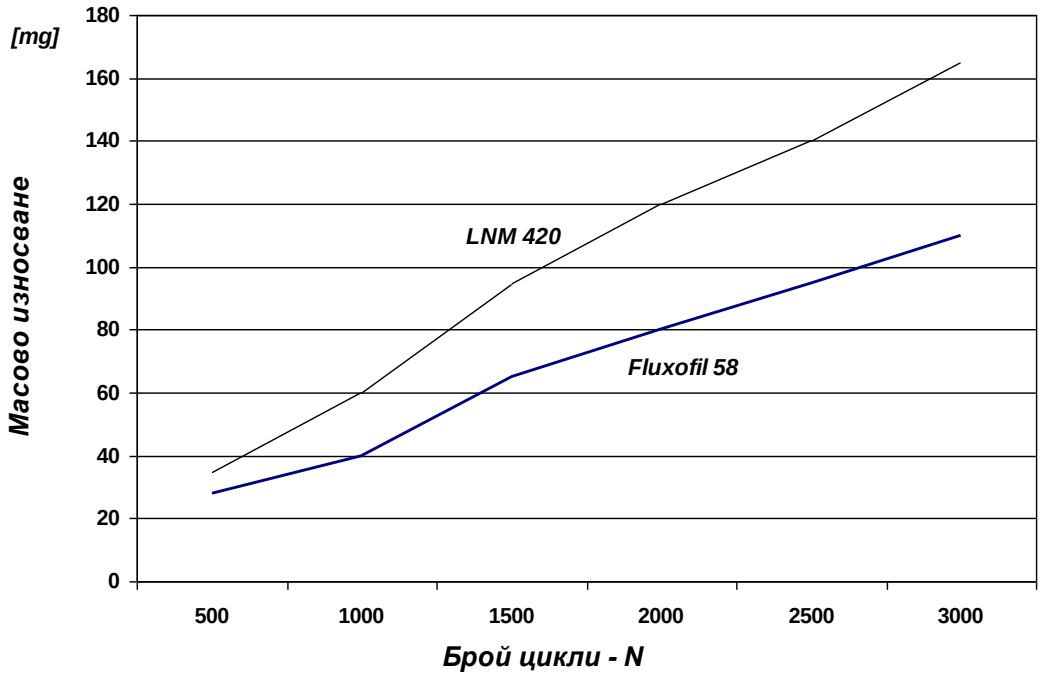
- Повърхнината на всички образци, изработени с еднаква форма и размери, преди нанасяне на покритието се подлага на механична обработка в три етапа – груба, шлифоване и/или полиране до постигане на еднаква

желана грапавост, в случая R_a=*0,4÷0,6μm*. Това е необходимо и задължително условие за гарантиране на еднакви начални условия при последващото сравнително изследване на износоустойчивостта на покритията и оптимизиране на технологията за нанасяне на покритията;

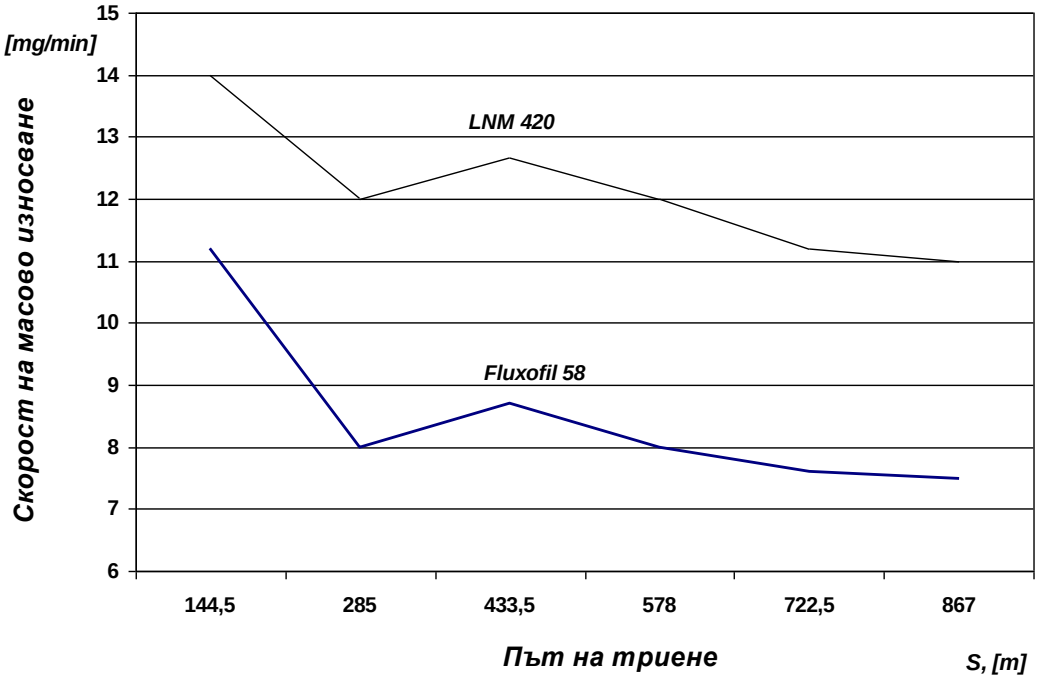
- Измерва се дебелината *z* на нанесените покрития с уреда "*Pocket LEPTOSKOP 2021 Fe*" на двете плоски страни на образеца в 10 точки и се взема средноаритметичната й стойност;
- Измерва масата на образеца преди и след изминаване на определен път на триене (брой цикли на взаимодействие) с помощта на електронна везна тип *WPS 180/C/2* с точност до *0,1mg*. Преди всяко измерване с везната образците се почистват с разтвор, неутрализиращ статичното електричество;
- Образецът *1* се закрепва в натоварващата глава *7* в определено положение и чрез лостова система се задава нормалното централно натоварване *P*.

Скоростта на масовото износване (dm/dt) представлява разрушената маса от повърхностния слой на покритието за време 1 минута.

На фигури 4 и 5 графично са представени експериментални резултати за изменението на масовото износване (m) и скоростта на масовото износване (dm/dt) от броя цикли N и пътя на триене - S на образци с двата вида покрития.



фиг. 4: *Зависимост на масовото износване* ***m*** *от броя цикли на триене* ***N***



фиг. 5 *Зависимост на скоростта на масовото износване* dm/dt *от пътя на триене* $\boldsymbol{S}$

От характера на кривите се вижда, че и при двете покрития скоростта на износване има нелинеен характер с времето на взаимодействие. За двете покрития времето за достигане на стационарно износване е различно, то е по-малко за покритието *FLUXOFIL 58* , което съответства на път на триене около $S \approx 450\,[m]$, докато при покритието *LNM 420 FM* - $S \approx 720\,[m]$. Тези факти имат отношение към процесите на приработване на покритията, които имат са пряко свързани с техния ресурс и са обект на самостоятелно бъдещо изследване от авторите.

Линейното износване h представлява разлика между дебелината на покритието z_1 преди износване и дебелината на покритието z_2 след износване, т.е.

$$h = z_1 - z_2 \tag{28}$$

Интензивността на износване i_h представлява отношение на линейното износване h и пътя на триене S:

$$i_h = \frac{h}{S} \tag{29}$$

Износоустойчивостта I е бездименсионно число, получено като реципрочна стойност на интензивността на износване:

$$I = \frac{1}{i_h} \tag{30}$$

Интензивността на износване, респективно износоустойчивостта е комплексна характеристика на контактното взаимодействие между покритието и контартялото, зависи нелинейно от редица фактори, включително и от пътя на триене.

В таблица 6 са представени данни за линейното износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на покритията.

Таблица 6. *Линейно износване, интензивност на износване и износоустойчивост*

№	Образец покритие	Линейно износване $h, [\mu m]$	Интензивност на износване $i_h, [\mu m/m]$	Износоустойчивост I	Път на триене $S, [m]$
1	**LNM 420 FM**	**190**	**0,7**	$1{,}4.10^6$	**282,6**
2	**FLUXOFIL 58**	**170**	**0,6**	$1{,}7.10^6$	**282,6**

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основните приноси в настоящата работа се свеждат до:

1. Разработена е методика, проведено многокритериално изследване и са получени резултати за геометричните параметри на композитни покрития при електродъгово равнинно наваряване, по-конкретно:

* получени са три регресионни нелинейни адекватни модела за зависимостта на три геометрични параметъра (усилване, ширина на шева и допуск за механична обработка) от четири технологични фактора (сила на тока, напрежение, скорост на наваряване и електроден излаз);
* на основата на регресионните модели е формулирана и решена многокритериална задача, в резултат на което са получени оптимизирани технологични режими по отношение на трите геометрични параметъра.

2. Разработена е методика, проведено е изследване и се получени резултати в условия на абразивно износване на два вида покрития:

* зависимост на масовото износване и скоростта на масовото износване от пътя на триене;
* определено е линейното износване, интензивността на износване и износоустойчивостта на покритията при едни и същи стойности на пътя на триене и номиналното контактно налягане.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Tonchev N., L. Kirilov, Multi-objective approach to technological processes optimization, report presented at the *Int. Conference on Methods and Applications of Multiple Criteria Decision Making, FUCAM, Mons, Belgium, May 14-16 1997, pp. 116-118.* .

[2] Kirilov L., N. Tonchev, Al. Monov, Multiple Criteria Approach to Solving Problems of Metal Building-up by Welding, Proceedings of the *4-th IFAC Workshop DECOM-TT 2004 – Automatic Systems for Building the Infrastructure in Developing Countries (Regional and Global Aspects), (Eds. V. Sgurev. G. Dimitrovski, M. Hadjiiski), Bansko - Bulgaria, October 2004, pp. 255-260.*

[3] Grauer M., Reference point optimization – the non-linear case, in *P.Hansen (editor): Essays and Surveys on Multiple Criteria Decision Making, Springer – Verlag, Berlin, (1982).*

[4] Masud A. S. and C. L. Hwang, Interactive sequential goal programming, *Journal of the Operational Research Society 32, pp. 391-400, (1981).*

[5] Kandeva M., N. Hristov, N. Tonchev, E. Assenova, Tribological Study of Claddet Bimetallic Coating, *Journal of the Balkan Tribological Association, 15-4: pp 455-464*

[6] Kandeva M., L. Vassileva, R. Rangelov, S. Simeonova, Wear-Resistance of Aluminum Matrix Microcomposite Materials, *Tribology in industry, Vol. 33, №. 2, 2011, pp 57-62.*

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧНИ ХАРАТЕРИСТИКИ НА ВИСОКОЯКА СТОМАНА S700MC СЛЕД ОТГРЯВАНЕ И ЗАВАРЯВАНЕ

Савина Демирова
Технически университет-София, cemi@abv.bg

STRUCTURE AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF FERRITIC STEEL S700MC AFTER ANNEALING AND WELDING

Savina Demirova
Technical University – Sofia – Bulgaria, cemi.cemi@abv.bg

Abstract: *In the work examined the structure, mechanical characteristics tensile and hardness of the strengthened steel S700MC after annealing at different temperatures and welding. Experimental results are obtained in tensile testing of samples at several annealing temperatures and welding to conventional yield strength welding, has analyzed the microstructure of different samples.*

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Високояките термомеханично уякчени нисковъглеродни и нисколегирани стомани намират широко приложение в практиката за изработване на корпусни, кранови детайли и изделия, съчетаващи големи габарити при малка маса и необходимите за конкретния случай на работа механични характеристики. Изделията от стомана S700MC под формата на листов материал изискват широко прилагане на заваръчни операции. Използването на допълнителен заваръчен материал, съчетано с нагряването на материала в зоната на заваръчния шев води до промени в химичния състав, структурата и респективно - механични характеристики.

Целта на настоящата работа е да се изследват структурата, механичните харатеристики при опън и твърдостта на високояка стомана S700MC след отгряване при различни температури и заваряване**.**

За постигане на целта се решават следните задачи:

- Отгряване на образци от стомана *S700MC* при 200, 400, 600 °C, изработване на заварен образец от изследваната стомана в условията на „СПАРКИ - АД";
- Металографски анализ на образците;
- Определяне на твърдостта и механичните харатеристики на образците при изпитване на опън.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

2.1.Обща характеристика и някои особености на Стомана S700MC

Обект на настоящата работа е термомеханично уякчена листова стомана *S700MC*, получена чрез HTMO, с дебелина на листа 8 *mm*. Средният и химичен състав, съгласно таблица 1, варира в известни граници според фирмата-производител. Този състав и термомеханична обработка трябва да осигуряват механични показатели R_m = 750 - 950 MPa и R_e >700 MPa.

Таблица 1: *Химичен състав на стомана S700MC*

Елемент	C	Si	Mn	P	S	Al (min)	Nb	V	Ti	Mo	B
%	0.12	0.60	2.10	0.025	0.015	0.015	0.09	0.20	0.22	0.50	0.005

Разглежданата стомана притежава редица предимства пред традиционните високояки стомани, получени чрез закаляване и отвръщане - значително намалено въглеродно съдържание, намален въглероден еквивалент, подобрена заваряемост, много по-ниско съотношение граница на провлачване / якост на опан, по-голяма жилавост, по-голямя надеждност на изделията, по-високо качество на повърхността, по-кратко време за производство. Поради това, преимуществата по отношение методите за обработване на стоманата за получаване на изделия са [4]:

<u>При студена пластична деформация:</u>

- *Минимален радиус на огъване* поради дребнозърнестата си хомогенна сруктура;
- *Устойчивост против напукване* благодарение на високото качество на повархността си, след студено изтегляне.

<u>При заваряване:</u>

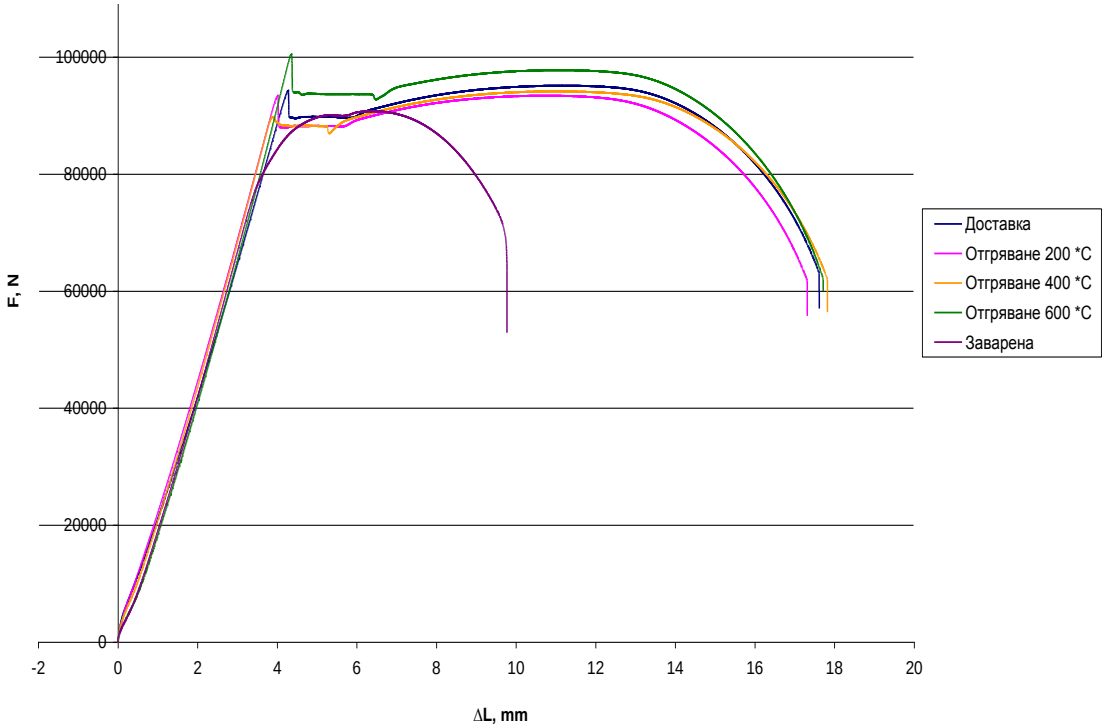
- *Лесна подготовка за заваряване* - ръбовете, определени за заваряване,могат да се режат без предварително нагряване както с газово, така също и чрез лазерно или плазмено рязане; предварителното нагряване.

При използване на заварични материали с ниско съдържание на въглерод не е необходимо предварително нагряване.

2.2. Експериментални резултати и анализи

Резултати от изпитването на опън

Резултатите “F – ΔL” от изпитването на различните образци са показани обобщено на фиг. 1 за по-удобно сравняване на резултатите. Вижда се, че кривите на образеца в състояние на доставка и отгретите образци са близки помежду си. Изключение прави кривата от заварения образец.



фиг. 1: *Криви “F – ΔL” на образците*

В хода на изпитванията е установено, че с изключение на заварения образец, останалите обраци имат аналогично поведение. При всички образци се формира добре изразена площадка на провлачване. При образуването на шийка не се стига до класическото скъсване на образеца, а в областта на шийката надлъжно по оста на пробното тяло се формира пукнатина. При заварения образец площадка на провлачване не се наблюдава, пукнатина не се образува и той се разрушава чрез скъсване, странично на шева, т.е. в зоната на термично влияние.

На база получените данни са пресметнати стойностите на границата на провлачване и заедно с якостта на опън са представени обобщено в Таблица 2.

Таблица 2: *Якостни и деформационни характеристики.*

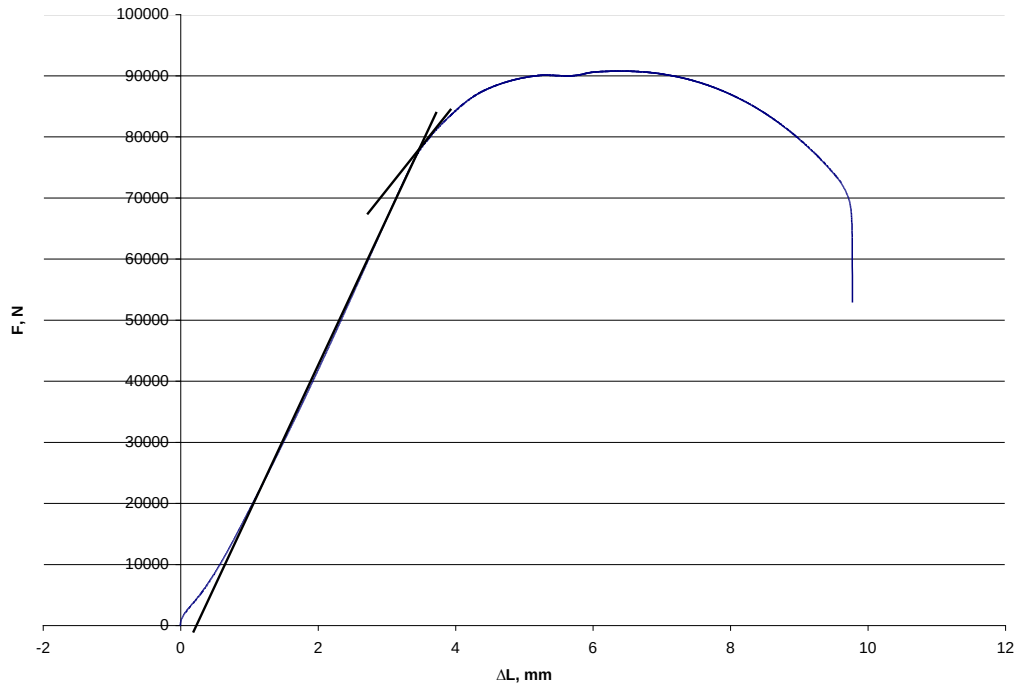
Образец	Характеристики			
	$R^{H}_{e,Mpa}$	R^{L}_{e},Mpa	R_{m},Mpa	A,%
Доставка	818	780	825.43	23.1** 24.4***
Отгрят 200°C	794	760	804.10	25 24
Отгрят 400°C	760	750	800.14	26
Отгрят 600°C	854	796	854.12	26 25
Заварен	660*		753	30 32

Пояснения по таблица 2:

* *определена е условна граница на провлачване*

** *относително удължение без отчитане, че разрушаването е в края на изчислителната дължина*

*** *относително удължение с отчитане, че разрушаването е в края на изчислителната дължина*



фиг. 2: *Определяне условната граница на провлачване на заварения образец*

Резултатите показват, че якостните характеристики в състояние на доставка и след отгряване са в границите на изискванията за тази стомана. Впечетлиние прави, че с повишаване на температурата, стойностите имат минимум при 400°C температура на отгряване и рязко увеличаване при 600°C – по-високи от тези в състояние на доставка. При коментирането на

тези и по-нататък резултати трябва да се има предвид, че те са получени при изпитването по на един образец от вид.

За заварения образец е пресметната условна граница на провлачване. Поради неизползването на тензометриране, необходимо съгласно стандарта, е направено приблизително определяне на границата по метода на допирателните - фиг.2. Стойностите на якостните характеристики са по-ниски от тези по сертификат. Причината за това може да се търси в промяната на състава и структурата на стоманата в шева и зоната на термично влияние ЗТВ около него поради въвеждането на заваръчен тел, получаване на кристализираща течна вана и прегряване на материала.

Данните за деформационната характеристика А,%, обобщени в таблица 2 показват, че съществена разлика между стойностите, получени с и без отчитане мястото на разрушаване няма. Относителното удължение на отгретите образци е по-голямо от това при състояние на доставка, но установена зависимост между удължение и температура няма. Най-значително е удължението на заварения образец, вероятно поради протеклите промени в структурата и състава в зоната на шева.

<u>Макроструктурен анализ</u>

На фиг. 3 е представена макроструктурата на заварения образец. Ясно се виждат двата шева и зоните на термично влияние. Последните са с ширина в интервала 1.5 – 2 *mm*. При изпитването на опън на такъв образец скъсването е леко в страни, т.е в зоната на термично влияние. Този резултат корелира с данните за твърдостта – последната се повишава в областта на заваръчния шев.

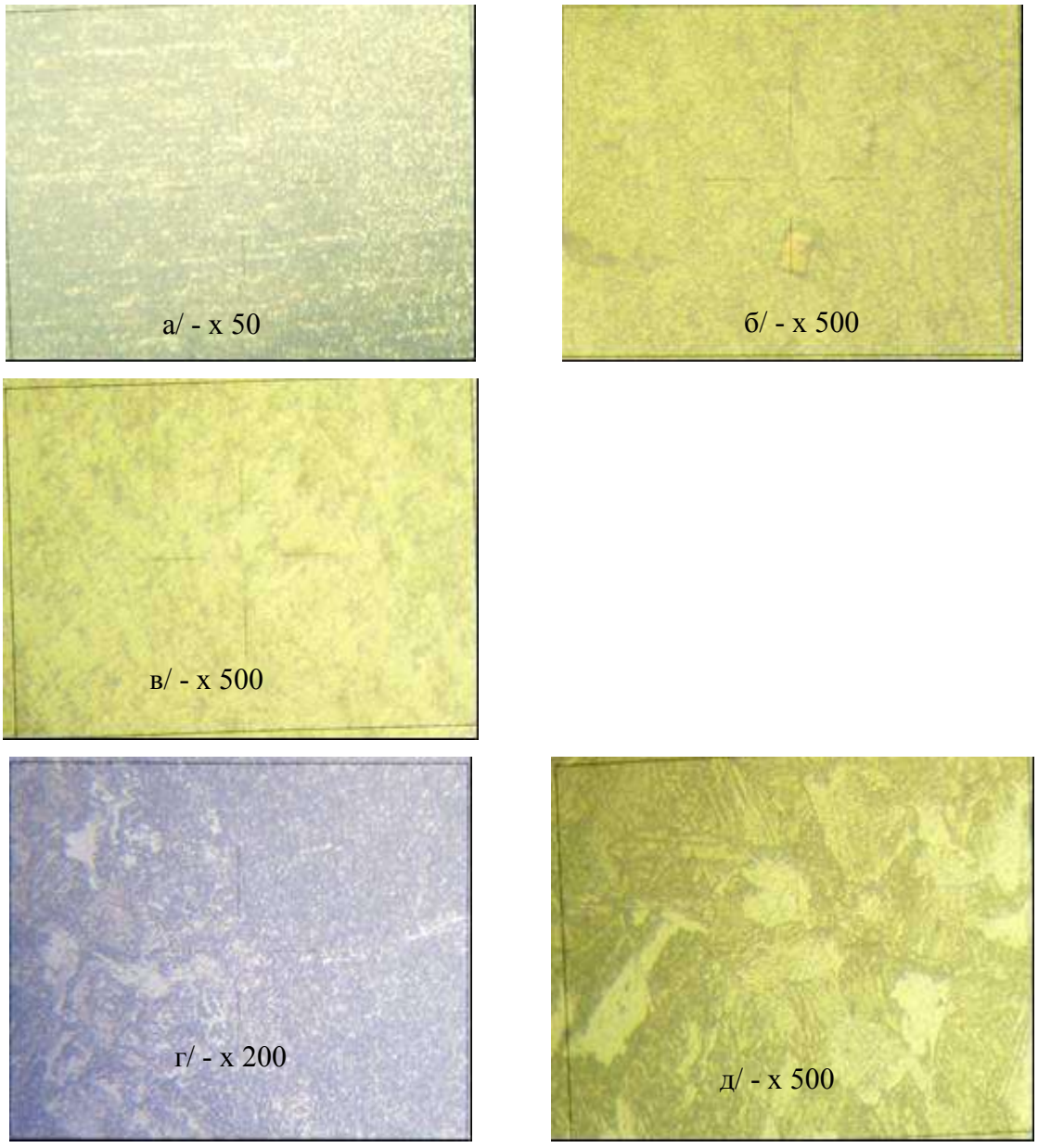


фиг. 3: *Макроструктурата на заварения образец*

Микроструктурен анализ

Резултатите от микроструктурния анализ на отгретите образци, този в състояние на доставка и заварения са представени на фиг. 4.

Изображения а, б показват стоманата в състояние на доставка. При по-малкото увеличение (фиг.4-а) се наблюдава изразена ивичност, получена в резултат на изтеглянето на листа стомана. Посоката на изтегляне съвпада с тази на пукнатината в областта на шийката при изпитването на опън.



фиг. 4:*Микроструктура на образците: а, б – състояние на доставка; в – образец отгрят при 600°С; г, д – заварен образец*

Поради обстоятелството, че изтеглянето завършва на студено, е възможно образуването на микропукнатини между издължените зърна,

прерастващи в макропукнатина. Такива микропукнатини не се наблюдават и при по-голямото увеличение (фиг. 4-б). Това показва, че са необходими допълнителни изследвания и използването на по-големи увеличения за потвърждаване на предложеното обяснение Изображения на отгретите образци при 200°C и 400°C не са представени, поради липса на забележими изменения в сруктурата. Такива изменения се наблюдават при образеца отгрят при 600°C (фиг. 4-в). Налице е известно уедряване на структурата.

Образуването на пукнатина при изпитването на всички отгрети образци показва, че вероятно коментираните пукнатини остават и при тях. Що се отнася до най-високите якостни показатели на образеца от 600°C, може да се предположи допълнително отделяне дисперсни фази в зърната и по границите, което води до този ефект.

фиг. 4–г показва от дясно наляво прехода от непроменена структура към структурата в зоната на термично влияние и шева. В резултат от кристализирането на течния метал се получават уедрени зърна и поява на структура, наподобяваща вид манщетова или бейнитна (фиг. 4-д). Голямото количество легиращи елементи в електродния тел измества „С”-кривите на стоманата надясно. При охлаждането на материала това дава възможност за получаване на неравновесни структури – бейнит и/или мартензит. Независимо, че тези структури са нисковъглеродни, тяхната твърдост е по-висока от тази на основния материал.

III. ОБОБЩЕНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Отгряването на стомана *S700MC* при температури до *600°C* не променя поведението и при изпитване на опън в сравнение със състоянието на доставка. Във всички случаи се формира площадка на провлачване, а в областта на шийката надлъжно по оста на пробното тяло се формира пукнатина без скъсване на образеца. Завареният образец не показва площадка на провлачване и той се разрушава чрез скъсване в зоната на шева.

2. Якостните характеристики в състояние на доставка и след отгряване са в границите на изискванията по сертификат за стомана *S700MC.* С повишаване на температурата те имат минимум при *400°C* температура на отгряване и увеличаване при *600°C* – по-високи от тези в състояние на доставка. Условната граница на провлачване и якостта на опън на заварения образец са по-ниски от тези по сертификат.

3. Отгретите образци имат по-малка твърдост от тази в състояние на доставка поради релаксиране на напреженията, получени при *HTMO* на стоманата. При заварения образец твърдостта в *ЗТВ*, където е разрушаването, не се променя. Повишаване на последната има в самия шев.

4. Металографският анализ показва изменение на структурата в образеца отгрят при *600°C*. Голямото количество легиращи елементи в електродния тел е вероятната причина за получаване на неравновесни структури – бейнит и/или мартензит в зоната на шева, което корелира с данните за твърдостта.

5. Получените резултати показват, че са необходими по-нататъшни изследвания по проблема: изследване на по-голям брой образци, отгряване при по-високи температури, отгряване на заварения образец и др.

Изследването в настоящата публикация е обект на разработка и защита на дипломна работа на автора за придобиване на образователната степен «бакалавър» в Русенския университет „Ангел Кънчев”- гр. Русе. Авторът изказва своята дълбока благодарност, признателност и уважение на своя научен ръководител доц. д-р И. Дерменджиев и консултант инж. Й. Радулова.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Гольдштеин М. И. И др. Специальнъе стали, Металлургия, Москва, 1986, стр. 218 – 241.
[2] http://www.voestalpine.com/stahl/en.html
[3] Бучков Д., М. Кънев, Материалознание, София, Техника, 1998.
[4] http://www.thyssenkrupp-vdm-usa.com/index.php?uid=465&id=971&L=2
[5] БДС EN ISO 16834, 2007 Електродни телове, пръчки и метали за електродъгово заваряване в защитна газова среда на високоякостни стомани. Класификация.
[6] БДС EN 10002-1:2004 Метали: Изпитване на опън.
[7] Фесчиев Н.Х. и др., Материалознание

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ХАРАКТЕР И МЕХАНИЗМИ НА ТРИБОЕМИСИЯТА ВЪВ ВАКУУМ

Тинка Грозданова

Институт за космически и слънчево-земни изследвания, БАН

CHARACTER AND MECHANISMS OF TRIBOEMISSIONS IN VACUUM

Tinka GROZDANOVA

Abstract: *The paper describes the triboemission phenomena produced by friction of solids in vacuum. It presents classification by tipe as well as some of the mechanisms of triboemission.*

Keywords: *vacuum, friction, triboemission.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

В процеса на механично взаимодействие между твърди тела се наблюдават редица явления, обобщени под названието механоемисия. Това понятие включва множеството от механични действия и излъчвания от различно физическо естество, които зависят от типа на материала, обкръжаващата среда и условията на извършването им. Механоемисионните ефекти са обект на изучаване от учените в областите физика и химия, като в последно време изследванията са насчоени по-специално върху електромагнитните аспекти.

За дефиниране на емисията при различните видове механично взаимодействие са въведени специфични определения. Така например: за триене – трибоемисия, за счупване – фрактоемисия и т.н.

Трибоемисионните явления могат да бъдат класифицирани по няколко признака: по вид, по физическо естество, по среда на разпространение, посока и др. Обособени са осем главни типа: I – емисия на газови атоми и молекули, II – емисия на електро-магнитна радиация, III – емисия на електрони, IV – емисия на йони, V – емисия на магнитно поле, VI – емисия на електрическо поле, VII – емисия на шум, акустични вълни и вибрации, VIII – емисия на топлина [1] .

Образно те са представени на фиг.1.



фиг. 1. *Схематично представяне на класификацията на трибоемисията.*

2. УСЛОВИЯ И МЕХАНИЗМИ НА ОБРАЗУВАНЕ НА ТРИБОЕМИСИЯТА.

Известно е, че механоемисията произлиза от образуваните в материала високоенергийни активирани състояния в твърдите тела. В процеса на механично въздействие или механична обработка се получава разкъсване на химическите връзки вследствие на пластична деформация, счупване или

изтриване на повърхностни слоеве. Преди да се разсее във вид на топлина, механичната работа, която предизвиква пластичната деформация и разкъсването на химическите връзки, създава тези енергийно-стимулирани състояния на материята. Те се формират, защото количеството освободена енергия надвишава количеството разсеяна енергия [1,5]. Съставени са от вибрационно- и електронно-възбудени връзки, йони, метастабилни атомни групи и други метастабилни обекти, и допринасят за възникването на свободни електрони, йони, молекули и др.

При триенето, делът и влиянието на електрическите ефекти нараства в резултат от наелектризирането на повърхността. Трибонаелектризирането е дефинирано като генериране на електрически заряди, породено от взаимното плъзгане. В условията на вакуум при металите се наблюдават няколко явления: контактна потенциална разлика (КПР); десорбция, адсорбция, абсорбция и разтваряне на газове; пластична деформация; износване и др.

КПР се образува в резултат на преноса на заряди между контактуващите тела и е в зависимост от отделителната работа на електрона на двата материала [3,8].

Трибостимулираната десорбция, адсорбция, абсорбция и механично предизвиканото разтваряне на газове в обема на материала са ефекти, които преобладават в трибосистемите и са свързани с емисията на атоми и молекули [2,5].

Много видове трибоконтакти се характеризират с тясна и разцепена форма на напречното им сечение [1]. Ширината на цепнатината постепенно се увеличава с нарастване на разстоянието от контактната област. Цепнатинно-подобният профил на трибоконтакта действа като капиляр за кондензацията на парните фази, а така също и като уловител на адсорбираните молекули. Дори и при висок вакуум повърхностната концентрация на адсорбирани водни молекули около триещия контакт е на порядък по-висока, отколкото върху свободната повърхност. В следствие на механичното въздействие количеството адсорбирани молекули може да бъде разтворено в материала. Това действие е доказано експериментално и съществуват няколко хипотези за неговото обяснение:

1. Пренос на адсорбционни молекули от дислокациите в материала.

2. Фрикционно затопляне и събиране на механично-изстискания адсорбат.

3. Трибохимични реакции и необратимо-химична абсорбция, подпомогната от топлинната дифузия на адсорбента в обема на материала.

4. Механично смесване на върхните слоеве на контактните повърхности и др.Степента на влияние на тези механизми зависи от вида на материала, от параметрите на трибопроцеса, околната среда и т.н.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изследването и изучаването на трибоемисионните явления могат да подпомогнат практическата дейност и развитието на много индустриални приложения. Трибоемисията може да се използва като източник на важна информация при триене на металите и въобще на твърди тела. Тя може да покаже степента на износване директно от трибоконтакта, което да послужи за диагностика на триещите се повърхности. Важността на електронния трансфер и екзоелектронната емисия за трибохимичните реакции е доказана отдавна. Чрез контролиране на трибоемисията може да се подобри сигурността, надеждността и трайността на трибоконтакта.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Nevshupa, Roman A., Triboemission: an attempt of generalized classification, TRIBOLOGY. Science and Application, Proceedings of the Review Conference on the scientific cooperation between Austria, Poland and their world-wide partners, especialli from middle-european countries, April 23-27, 2003, Vienna, 11-25.

[2] Drozdov, Yu. N., V.G. Pavlov, V.N. Puchkov, (1986), Friction and Wear in Extreme Conditions, Mashinostroenie, Moskva, 1986 (in Russian).

[3] Simeonova, Yu., (2004), Study of New Materials and Coatings with Improved Antifrictional Properties for Space Applications, Work of Habilitation, IKI (IKSI)-BAS, Sofia, 2004.

[4] Kragelskii, V., I.M. Lombarskii, A.A. Gusliakov, G.I. Troianovskaia, V.F. Udovenko, (1973), Friction and Wear in Vacuum, Mashinostroenie, Moskva, 1973 (in Russian).

[5] Kanarchuk, V.E., Adaptation of materials to dynamic impacts, Kiev, Naoukova dumka, 1986.

[6] Grozdanova, T., Specific Effects in Tribomaterials Used in Space Conditions, SES 2010, Proceedings of the Sixth Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY, November 2-4, 2010, Sofia, Bulgaria (in print).

[7] Grozdanova, T., Divelopment of Tribological Materials Intended to Operate in Vacuum, Proceedings of 26-th International Scientific Conference 65 Years Faculti of Mashine Technology, September 13-16, 2010, Sozopol, Bulgaria

[8] web. uni-plovdiv.bg/yovcheva/…/EM%20-%20Lecture%2026 pdf, Contemporary Theory of Conductivity in Metals, 2011.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ТРИБОЛОГИЧНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ЯВЛЕНИЯ В АЛУМИНИЕВИ МАТЕРИАЛИ В УСЛОВИЯТА НА ВИСОК ВАКУУМ

Тинка Грозданова

Институт за космически и слънчево-земни изследвания, БАН, България

tinka_gr@abv.bg

TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS AND PHENOMENA IN AL MATERIALS UNDER HIGH VACUUM CONDITIONS

***Tinka Grozdanova**, tinka_gr@abv.bg*
Institute for Space and Solar-Terrestrial Research, BAS,Bulgaria

Abstract: *The paper describes the properties of aluminum, which are important for the practical usage of the material in different aerospace technologies. However, the tribotechnical testing results shown below prove that it is not suitable in case of friction in vacuum.*

Keywords: *aluminum, vacuum, friction, emission of elektrons.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Алуминият е най-широко разпространеният метал в земната кора. Той притежава редица качества: малко относително тегло и плътност, висока топлопроводимост и електропроводимост, добра корозоустойчивост, добро отражение, възможност за повърхностна обработка и лекота за изпълнение, широка гама от сплави, ниска цена и т.н.

Манганът повишава неговата издръжливост; магнезият подобрява корозоустойчивостта и механичната здравина; магнезият и силицият

увеличават механичната устойчивост, формоването и корозоустойчивостта; медта подобрява якостта и заваряемостта; цинкът, в комбинация с други елементи, също увеличава якостта; силицият понижава точката на топене и засилва износоустойчивостта [1].

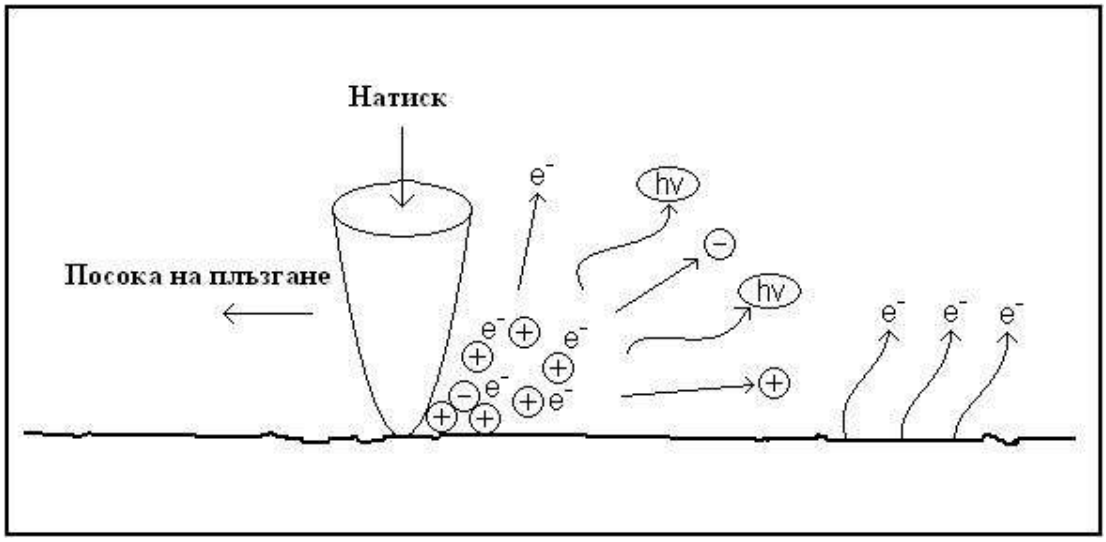
Изследванията показват, че алуминият не е подходящ материал за триботехнически приложения поради своята пластичност и сравнително висок коефициент на триене, което води до разрушаване.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДАННИ

При сухото триене на метали във вакуум се извършва взаимодействие между повърхности, изчистени от окисни и други слоеве. Полученият ювенилен контакт се характеризира с висока температура, силна химическа активност и увеличена пластична деформация [2,3].

Изследването на трибодвойка от силумин (Al,Si,C) и бронз (Cu,Sn,C) показва, че съдържащият се в тях графит не се проявява като твърда смазка поради своята летливост и е неефективен в отсъствието на влага [4]. Освен това се наблюдава проявата на абразивен ефект от силициевия карбид, получен от свободни атоми въглерод и силиций. Едновременно с това настъпва пластична деформация и нараства силата на адхезия. Това от своя страна води до силно нарастване на пусковия ток на електродвигателя, задвижващ механизма на системата вал-втулка.

С проведените съвременни експерименти при абразия на алуминий се прави наблюдение на образуваната трибоемисия (фиг.1). Анализите са насочени към намиране на корелация между параметрите на трибопроцеса, трибологичните показатели и трибоемисионните явления.



Фиг. 1. *Трибоемисия на електрони, йони, неутрални частици и фотони получени в резултат на триенето*

Както се вижда от фигурата, в областта на трибоконтакта настъпва емисия на електрони, йони, неутрални частици, фотони и др., породени от протичащите в материала физико-химически изменения. Количеството електрони, отделени от повърхността в определена област за определено време се счита за най-важният определящ фактор при търсене на зависимостта между трибоемисията и трибохимическите реакции.

Измервания на трибоемисията на алуминий във вакуум показват, че кумулативната емисия на електрони варира и настъпва на порции в произволни интервали от време от 10 електрона за секунда до 1000 електрона за 0,1 сек. [5].

Някои анализи показват, че има корелация между локалната структура на повърхността на пукнатината и намаляването на резултантната емисия [6].

Установено е, че създаването и разпространението на пукнатини в алуминиевия окис в следствие на деформационно разтягане е пряко свързано с трибоемисията. Едновременно с образуването на пукнатината се регистрира и акустична емисия [7].

Мазилу и Ритер [6] провеждат експеримент с алуминиев диск с диаметър 1 инч и диамантен индентор във вакуум при сила на триене 10N и 20N със скорост 0,28-0,03 mm/s. Електронната емисия е отчетена посредством тунелен електронен преобразувател и е измерена с електрнен детектор на честици. При еднакви условия на провежданите измервания, за различни примери е регистрирана голяма променливост на данните.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отчита се, че кумулативната емисия на електрони е пропорционална на силата на въздействие. Допуска се също така, че има зависимост между нея и количеството на матални частици, образувани при триенето. Има и друга възможност - емисията на електрони да е пропорционална на тоталната повърхност на областта на абразивните частици.

Установяването на строга корелация между кумулативната трибоемисия, силата на триене и степента на износване превръща трибоемисията във високоефективно средство за проучване на износването в реално време.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Алуминий, http://bg.wikipedia.org/wiki/, 2011.

[2] Grozdanova, T., Specific Effects in Tribomaterials Used in Space Conditions, SES 2010, Proceedings of the Sixth Scientific Conference with International Participation SPACE, ECOLOGY, SAFETY, November 2-4, 2010, Sofia, Bulgaria (in print).

[3] Grozdanova, T., Divelopment of Tribological Materials Intended to Operate in Vacuum, Proceedings of 26-th International Scientific Conference 65 Years Faculti of Mashine Technology, September 13-16, 2010, Sozopol, Bulgaria

[4] Simeonova, Yu., (2004), Study of New Materials and Coatings with Improved Antifrictional Properties for Space Applications, Work of Habilitation, IKI (IKSI)-BAS, Sofia, 2004.

[5] Molina, G.J., M.J. Furey, A.L. Ritter, C. Kaidas, Tribemission from alumina, single crystal sapphire and aluminum. Wear 249, 2001, 214.

[6] Mazilu, D.A., A.L.Ritter, Statistical Characteristics of Vacuum Triboemission from Abrasion of Alumina. TRIBOLOGY. Science and Application, Proceedings of the Review Conference on the scientific cooperation between Austria, Poland and their world-wide partners, especialli from middle-european countries, April 23-27, 2003, Vienna, 11-25.

[7] Zumofen, G., A. Blumen, J. Klafter, Reaction kinetics on ultrametric spaces, J. Chem. Phys. 84, 1985, 6679.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University – Sofia

ВИДОВЕ ПОКРИТИЯ И МЕТОДИ ЗА НАНАСЯНЕТО ИМ ВЪРХУ МЕТАЛООБРАБОТВАЩИ ИНСТРУМЕНТИ. НЯКОИ НАСОКИ ЗА ИЗБОРА НА ПОДХОДЯЩИ МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ ЗА НАНАСЯНЕ НА ПОКРИТИЯТА

Тодор Пеняшки, *България, tpeniashki@abv.bg*

TYPES OF COATINGS AND METHODS FOR THEIR DEPOSITION ON THE MACHINE TOOLS. SOME GUIDELINES FOR SELECTING SUITABLE MATERIALS AND METHODS FOR COATING

Todor Peniashki*, Bulgaria, tpeniashki@abv.bg*

Abstract: *The objective of this work is to navigate and facilitate researchers, technologists and engineering employees in choosing suitable material and method for coating of metalworking tools. Indicated is the relationship between the development of tribology and mechanical treatment also the influence of production machining tools on the development of machine tools and equipment. It is shown the place and role of the endurance coatings in manufacturing technology. Formulates the basic requirements for tools coatings are created classifications of coatings and their deposition methods mentioned are advisable coating materials, their properties and districts to use. Here are the basic principles in the selection of appropriate materials and methods for its application to specific conditions. The results and data can be used for research, teaching and production technology activities.*

Въведение: Трибология, рязане и механична обработка на материалите– интердисциплинна връзка

Независимо от появата на многобройни прогресивни технологии и процеси – механични,електрофизични, електрохимични и други, рязането на металите остава основния технологичен процес за обработка, и той търпи непрекъснато усъвършенстване и развитие. Над 50% от формообразуващите операции в машиностроенето се реализират чрез рязане и стружкоотнемане [1]. Механичната обработка е важен промишлен процес, в който са заети десетки милиони хора по света и заема голям относителен дял в промишлеността. Автомобилната промишленост, електротехническата, железопътната, съдостроителната, авиационната, битовата, селскостопанската и самото машиностроене имат хиляди заводи и милиони работници, заети с механична обработка. Само във Великобритания работят над 1милион металообработващи машини, от който 85% са металорежещи [1]. Стойността на механичната обработка в САЩ през 1971г. е 40 милиарда долара, а понастоящем – многократно повече.

Рязането на металите е един от най-сложните трибологични процеси. Важна особеност при рязането и механичното обработване е, че условията, в които работят режещите инструменти са много по-тежки от тези на останалите конструктивни

елементи. То протича при много по-високи налягания, отколкото и при най-натоварените триещи се детайли /напр. плъзгащите лагери/. По контактните повърхнини се реализират нормални напрежения до 1200 MPa и тангенциални напрежения до 200-400 MPa, температурата достига до 1200^{o}C. В тези условия протичат интензивно триене, адхезионни и дифузионни процеси, понякога химически. При тези условия не е в сила и закона на Амонтон-Кулон за триенето, действителната връзка между силата на триене и налягането има експоненциален характер, а системата на триене при рязането е термодинамически неравновесна [2]. За рязането е характерно също високо ниво на тепературата и топлообмена за сметка на контакта с нагрятата заготовка, триенето и деформацията. Наличието на бързоизменящи се във времето температурни градиенти води до появата на термични напрежения в повърхностните слоеве на заготовката и инструменталния материал. Въздействията на напреженията и контактното налягане предизвикват пластична деформация. Протичащите при това процеси на уякчаване и разякчаване, фазови и структурни превръщания оказват значително влияние върху износоустойчивостта на инструмента. В тези условия си взаимодействат ред фактори, определящи формоизменението на инструмента, в резултат на което той постепенно загубва режещите си качества и които се възприемат като износване. Ефективността на рязането в значителна степен се определя от трайността на инструмента и условията на рязане и стружкоотвеждане. Износоустойчивостта е най-важният показател на инструменталните материали, определящ времето за работа на инструмента. Характерът на износването на инструментите зависи от относителната скорост на преместване на материала и инструмента, контактното налягане /силите на рязане/ и температурните условия на работа на повърхностния слой на инструмента .

В зависимост от вида на двойката материали, условията на обработка и геометричните параметри на инструмента износването може да бъде: абразивно, адхезионно, топлинно и окислително [3].

При ниски скорости на обработка [3,4] протичат абразивно и адхезионно износване, с увеличение на скоростта – окислително, преминаващо в схващане и топлинно. Резултатите от многобройните опити показват, че износоустойчивостта на инструменталните материали се определя главно от температурното състояние в зоната на контакта. [3,4]. При температури от 400-600^{o} C преобладава окислителното износване – характерно е неголямо изменение на геометрията и почти отсъствие на микрозаварки и схващания. При температури 600 – 800^{o}C се наблюдава топлинно износване и отделни микрозаварки. При T над 800^{o} C се развива пластична деформация, която се интензифицира с по- нататъшното увеличение на T^{o} C, предизвикана от падане на якостните характеристики на материала на повърхностния слой. Това се определя и от други параметри – основно от вида и свойствата на двойката материали инструмент-заготовка, скоростта на обработка и контактното налягане, топлопредаването, топлотехническите свойства на двата материала, геометрическите параметри на инструмента а също и термичното съпротивление на граничния слой.

Ректроспективен интердисциплинен срез:

Развитие на инструменталното производство

Първите инструменти, използвани от човека са тоягата и камъка. Впоследствие от удара на два подходящо подбрани и заточени камъка, използвайки трибологичните закони и явления, човекът започва да добива огъня.. С откриването на металите се откриват и първите металообработващи инструменти – за рязане, пробиване, струговане, пресоване, сечене на монети. С вековете инструментите непрекъснато се развиват и усъвършенстват. В XIX и XX век се появяват съвременните

металообработващи инструменти - свредла, зенкери, райбери, различни ножове и фрези, зъбонарезни червячни фрези, зъбодълбачни колела, протяжки и комбинирани инструменти, докато се стигне до съвременните високопроизводителни инструменти. Изследвания на процеса рязане се провеждат от 140 години насам. В тази област работи цяла плеяда учени като Тиме, Tresca, който обосновава пластичния характер на разрушението, Зворыкин, Ernst и Merchant, които доразвиват модела на Tresca, Н.Н. Зорев, Лоладзе, Грановский, Бобров, Родин, Taylor, Oxley, , Welsh, Trent, Hastings, Matew, а у нас - С. Попов, П. Събчев, А.Недялков, И. Андонов, С. Велчев, Г. Жеков, и други..

Възможностите на режещите инструменти са определяли най важните параметри на кинематиката и конструкцията на металорежещите машини. Използваните до началото на XX век въглеродни стомани са работели със скорости на рязане до 10 м/мин.. Въвеждането на бързорежещите стомани и металокерамичните материали позволява тази скорост да се увеличи до 200...300 m/min и предизвиква качествени промени в конструкциите на машините по отношение на мощност, производителност, скорости, задвижване на различните кинематични вериги, устройства за гарантирано начупване и отделяне на стружките и др. Появяват се машини автомати, машини с ЦПУ и цели автоматични линии. Учените и конструкторите непрекъснато развиват и усъвършенстват инструменталните материали, формата и геометричните параметри на инструментите. Промените продължават и с въвеждането на режещата керамика и свръхтвърдите материали от кубичен борен нитрид и диамант в последните десетилетия на века.

Развитие на трибологията

С трибологията човекът също се е сблъскал също от зората на своето съществуване. От получаването на огъня, откриването на колелото като средство за придвижване и транспорт, първите ръчни мелници, грънчарския кръг,примитивните плъзгащи лагери, дървения винт и маслените преси, създадени от Архимед, откриването на първите закономерности на триенето от Аристотел, Архимед, първите смазки и закони на сухото триене, създадени от Леонардо да Винчи, коефициента на триене, формулиран от Лайбниц, впоследствие Кулон и Амонтон, въвели го като отношение на силата на триене към натоварването, Ойлер, смазочните материали на Джеймс Уат, впоследствие от цяла редица учени и инженери като: Рени, Стокс, Рейнолдс, Зомерфелд, Н. Петров, Щрибек, Зайцев, Крагелский, Костецкий, Манолов и други.

Интердисциплинна връзка

Развитието на двете дисциплини във вековете е вървяло успоредно и взаимно свързано и обусловено. С времето връзките и контакта между трибологията и инструментите все повече се задълбочават и развиват. Тяхното развитие е насочено към увеличение на трайността, а това е пряко свързано с непрекъснато изследване на процесите на рязане, триенето и износването. Понастоящем процесите на формообразуване чрез рязане и налягане се превърнаха в обособена, самостоятелна част от трибологията. Трибологията на рязането на металите изучава процесите на взаимодействие на инструменталния и обработвания материали, механизма на износването, влиянието на физико-химичните свойства на обработваемите материали, геометричните параметри на инструмента, условията на рязане /кинематичната схема и параметрите на режима на рязане/ и външната среда върху износването и трайността на инструментите и обобщавайки тези сведения, полага научните основи на управлението на производителността, качеството и точността на обработените повърхности, а също и създаването на нови и все по-ефективни инструментални материали.

Ролята на инструментите в съвременното производство

Повишаването на производителността и качеството на продуктите в най-голяма степен се определя от инструментите. Работоспособността и технико-икономическите им показатели в се определят от свойствата на материала на режещата им част. Ефективността от работата на инструментите изисква обосновани мерки както за подбиране на най-подходящите условия на работа (средства и методи за подаване на мажещо-охлаждащи среди, обосноваване на размера на износването, така и за анализиране на неизправностите, създаване на правила за ремонт и възстановяване и др.). Често поради незадоволителни качества на инструментите не могат да се използват пълните производствени мощности на машините. Нещо повече – инструментът може да окаже революционизиращо въздействие върху останалите звена от технологичната система. Като елемент на технологичната система, оказващ непосредствено въздействие върху заготовката и формиращ както експлоатационните, така и икономическите показатели на произведените детайли, режещите инструменти са най-динамичното средство за въздействие върху ефективността на технологичния процес. Световните тенденции за развитие на механичната обработка: непрекъснато увеличение на многообразието на форми, номенклатури и количества на изделията, разширяване на номенклатурата на използваните технологии и материали, увеличение на гъвкавостта на всички производствени структури, ускорено развитие и обновление на техническото оборудване, усложняване на машиностроителните изделия, намаляване сроковете за подготовка на производството,поставят все по-нови и отговорни изисквания към инструментите и инструменталната екипировка. Основните насоки в развитието на инструментите протичат в следните направления:

- създаване на нови инструментални материали ;
- подобряване на качествата на повърхностния слой на инструмента чрез термообработка, намаляване на грапавостта;
- развитие и усъвършенстване на конструкцията и геометричните параметри на режещата част на инструмента;
- усъвършенстване на кинематичните схеми и на условията на рязане;
- създаване и усвояване на технологии за повърхностно уякчаващи обработки и нанасяне на износоустойчиви покрития.

Тъй като инструменталните материали са скъпи и дефицитни, конструкциите са сложни и трудопоглъщаеми и скъпи за изработване, а промяната на схемата на рязане е свързана с проектиране и изработване на нови машини и приспособления, от горните насоки последната е най-перспективна, най-лека и достъпна и икономически най-изгодна. Износоустойчивите покрития са най-ефективното средство за повишаване на трайността и надеждността на машиностроителните изделия, в това число и на инструментите.

У нас уякчаващите технологии се използват абсолютно недостатъчно. В последните години областите на използване на напластените инструменти значително се стесниха, а се наблюдава и определено отслабване на интереса към тях. При това нашите заводи продължават да произвеждат и използват инструменти с недостатъчна износоустойчивост, тъй като наличните достижения в науката и технологиите не само че не се внедряват, но не са и добре познати на нашите производители. Нямаме производство на оборудване и качествени материали за покритията. В резултат сме достигнали до положение на хроническо изоставане не само от водещите страни, но и в сравнение с преди 20-30 години. И при това нашата индустрия продължава да произвежда изделия с недостатъчно качество и износоустойчивост.

***В тази връзка целта на настоящата работа е*:**

1. Да се разкрие мястото, ролята и значението на инструментите с износоустойчиви покрития в съвременните машиностроителни технологиии, да се формулират изискванията към покритията, да се систематизират многобройните литературни данни в тази област и да се направи класификация на видовете покрития върху инструменти и методите за нанасянето им от гледна точка технологични възможности на метода, качествени характеристики, свойства и износоустойчивост на получените покрития, като се посочат препоръчителни материали и методи за нанасяне за различните конкретни области и условия на използване.

2. Да се ориентират и подпомогнат научно-техническите работници, инженери и технолози, като се разкрие разпространението и състоянието на методите и средствата за нанасяне на износоустойчиви покрития у нас и се посочат основните подходи и принципи при избора на подходящите материал и метод за нанасяне за конкретните условия на експлоатация.

Изложение

Износоустойчиви покрития

Покритието е материал, нанесен на тънък, здраво захванат върху повърхността на изделието слой. Покрития могат да се нарекат и слоевете, получени чрез повърхностна термична обработка, т.е. това е повърхностен слой, чийто химичен, фазов и структурен състав и свойства са различни от тези на продукта. Целта на покритията върху инструментите е да се повиши трайността им в резултат на намаляване на всички видове износване и температурата в зоната на контакта .

От трибологична гледна точка покритието създава граничен, промеждутъчен слой, предпазващ триещите повърхности от пряк контакт и взаимодействие и водещ до намаляване и забавяне на всички видове износване. Известно е , че взаимодействието на елементите на триботехническата система е локализирано в повърхностните слоеве и резултатите зависят от свойствата на тези слоеве, което утвърждава целесъобразността на покритията. Покритията водят до значително намаляване на разсейването на енергията [5] и на цената на техническите системи, увеличавайки същевременно тяхната работоспособност и трайност.

В интердисциплинен срез покритието може да се разглежда като връзката между допирането, триенето и контакта –изразител на обективни, субективни и хибридни взаимодействия и въздействия върху допирането, триенето и износването. Покритието е вид въздействие върху контакта. То е това, което по свойте свойства, състав, структура и функции не може да се редуцира до нито един от контактуващите елементи [6].

От гледна точка на научно-техническия прогрес - Ролята, мястото и значимостта на покритията в съвременния научно-технически прогрес непрекъснато нараства. Понастоящем те намират все по-широко и по-масово приложение във всички области на техниката –електротехника, и електроника, машиностроенето във всичките му раздели - авто, самолето и съдо строене, металообработване и металообработващи машини, селскостопанско машиностроене, металургия, хранителна индустрия, строителството и мн. други. По статистически данни над 60% от произведените и използвани в световен мащаб инструменти и над 80% от твърдосплавните инструменти са с износоустойчиви покрития.

От техническа гледна точка – Използуването на инструменти с покрития позволява да се подобри качеството на изработените изделия, облекченото постигане на по-висока точност на размерите и формите, на малка височина на грапавините при фина обработка, а също така и на високи физико-механични показатели на повърхностния

слой и да се разширят възможностите на формообразуването. Обобщеният ефект от използването на инструменти с покрития се основава на:

- намаляване на наслойката при рязане;
- високо съпротивление срещу изтриване вследствие високата твърдост на покритието;
-ниска топлопроводност, което защитава инструменталния материал от температурата на рязане;
-висока размерна точност;
-намаляване на силите на рязане и вибрациите в резултат на подобряване отделянето на стружката.

В много случаи използването на покритията се явява единствено възможното, или икономически най-изгодното решение на редица технически проблеми.

От технологична гледна точка – Използването на инструменти с покрития позволява да се увеличи производителността на процеса / Чрез използване на подходящо покритие режещият инструмент може да работи при значително по-високи скорости и температури давайки възможност за увеличение на скоростта на обработка без да се намалява трайността/. Едновременно с това трайността му се увеличава до 3-5 пъти, в някои случаи и повече; намаляват и непроизводителните времена и престоите на машините за презаточване, смяна и настройване на инструментите. Покритията увеличават производителността и на твърдите сплави. Съчетанието на жилава металокерамична основа с твърдо покритие прави режещите елементи по-универсални - вместо три марки Р10, Р20 и Р30 може да се използва една марка покрита сплав, подходяща за осъществяване на чисти и получисти обработки.

От икономическа гледна точка – инструментите се изработват от скъпи и дефицитни материали, изискват висока точност, сложни са като конструкция и са трудоемки и енергоемки, а това се отразява върху цената на продукцията. Покритията водят до намаляване на разходите за инструменти и енергия, свързана с изработването им, и значителни икономии на труд, скъпи дефицитни инструментални материали и време и като цяло: до намаляване на себестойността на изделията.

Високата технологична и икономическа ефективност от използването на инструменти с покрития е в резултат на :

-увеличаване на трайността вследствие намаляването на всички видове износване;
- съкращаването на разхода на скъпи и дефицитни материали;
- относителната простота при осъществяването на технологични операции трудно изпълними или неизпълними с традиционните инструменти;
- повишената производителност при обработването на заготовки;
- възможността за избработване на изделия от трудно обработваеми материали;
- възможността за получаване на обработени повърхности с високо качество и структура.
- облекчената възможност за механизиране и пълно автоматизиране на процесите за обработване.
- облекчаването на условията на труда.

Разбира се, инструментите с покрития далече не са панацея и не могат да решат всички проблеми и въпроси на машиностроителното развитие, макар че в многобройната литература се забелязва отчетлива тенденция за значително преувеличаване мястото и ролята им, а и резултатите от тях в съвременното машиностроене. Инструменталните покрития са ефективно средство за увеличение на производителността, съкращаване на производствените разходи за единица продукция и подобряване на функциалните възможности и качество на изработените детайли, но те не доведоха до такива революционни преобразования в машиностроенето, каквото

беше например откриването и внедряването на твърдите сплави. Факт е обаче, че развитието на съвременната индустрия без покрития е немислимо.

Изисквания към покритията:

В зависимост от многобройните конкретни условия за механична обработка, или рязане, към инструменталните покрития се предявяват разнообразни и различни изисквания. В едни случаи се изисква високо съпротивление срещу абразивно износване, в други - висока устойчивост срещу топлинно натоварване, в трети – висока химическа устойчивост и т.н. В повечето случаи от покритията се изисква комплекс от свойства, обезпечаващи продължителна работа на инструмента при определени експлоатационни условия, основните от които са:

- *Висока износоустойчивост* и запазване на потребителските свойства в целия диапазон

на изменение на температурата в зоната на рязане, в т.ч. и при температури до1100-1200 С. Износоустойчивостта на инструментите се изразява в съпротивлението им срещу отделяне на частици от режещите ръбове и контактните им повърхнини. Тя зависи от физико-механичните свойства на материалите на покритието, инструмента и заготовката, от коефициента на триене между тях, от действащите в зоната на рязане сили и температури и наличието на дифузионни, адхезионни или химични явления по контактните повърхнини на инструмента и заготовката, наличието на остатъчни напрежения в самото покритие, на границата с основата и адхезията с основата. Подбора и управлението на тези фактори гарантира здрава връзка на покритието и способства за увеличението на износоустойчивостта.

- *Химическата и корозионна устойчивост* и инертност на материала на покритието спрямо този на заготовката в условията на рязане (температурни, силови и трибологични) е свързана с износоустойчивостта. При химическа еднородност на двата материала (рязане на алуминиеви сплави с инструменти с покрития от оксидна керамика, или на черни метали с диамантни покрития), или химически афинитет между двата материала в условия на температурите и наляганията в работната зона се наблюдава катастрофално бързо износване поради взаимното проникване на двата материала, независимо от голямата твърдост на покритието.

- *Коефициентът на триене* е свързан със силите и работата при рязане.С увеличението му намалява износоустойчивостта и нараства интензивността на износване. Ниският коефициент на триене осигурява и бързо отвеждане на стружката извън зоната на рязане.

- Защита на инструменталния материал от действието на високата температура, отсъствие на влияние върху изходната режеща геометрия на инструмента, осигуряване на висока скорост на движението на стружката в посока извън зоната на рязане.

-*Високата микротвърдост* е основно изискване. За да могат да проникват в заготовките и да ги обработват без самите те да се износват значимо, инструментите трябва да имат значително по-голяма твърдост от тази на инструмента, което винаги е свързано с по-голяма

износоустойчивост. Микротвърдостта изразява устойчивостта на покритието срещу абразивно износване.

-*Якостта и жилавостта* отразяват способността на покритието да издържа напреженията и деформациите в условията на рязане, да поглъща механичната енергия при динамични натоварвания, да не се разрушава под действието на високото налягане и температура върху повърхността му, да запази целостта си, да предотвратява образуването и развитието на пукнатини. Това гарантира и устойчивостта му срещу отслояване при експлоатация в условия на променливо натоварване, удари и вибрации.

Способността да предотвратява образуването на пукнатини се гаранитира и от метода на получаване.

- *Топлоустойчивостта* се измерва с температурата, до която покритието запазва твърдостта, якостта и работоспособността си. Над тази температура става рязко изменение на механичните свойства, свързано с фазови превръщания, намаляване на твърдостта и износоустойчивостта и катастрофално бърза загуба на работоспособност.

Топлоустойчивите покрития допускат по-високи скорости на рязане и могат да обработват по-твърди заготовки.

- *Топлопроводността* е необходима за отвеждане на топлината, образувана в зоната на рязане през тялото на инструмента. Недостатъчната топлопроводност влошава надеждността на режещите инструменти. Тя зависи от химическия състав, термообработката и работната температура.

- *Коефициентът на топлинно разширение* е важен за прецизни и размерни инструменти, при които топлинната деформация не бива да предизвиква разширения, предизвикващи промяна на размерите на заготовката,

- *Технологични изисквания*

Технологичните изисквания засягат параметрите и свойствата на покритието, проявяващи се и зависещи от процеса на нанасянето му. Те са решаващи относно възможността покритието да бъде отложено чрез определен технологически маршрут, относно производителността на процеса и себестойността му, възможността за получаване на покрития с определени свойства, състав, структура и морфология, повтаряемостта на качествените показатели и параметрите му и възможността за контрол на процеса и оценка на получените покрития.

-Икономически изисквания

Икономическите изисквания се изразяват в минимизиране на разходите за инструменти и покрития и включените количества на дефицитни и редки съставки като волфрам, кобалт, тантал, титан и др. Контролират се основно разходите за инструменти за изработване на единица продукция. Най-важния икономически критерий за оценка на правилния избор на материала, конструкцията и режима на експлоатация на инструментите е те да бъдат така подбирани, че да осигуряват минимални разходи за механичната обработка на произвежданите изделия при максимална производителност на процеса.

<u>Класификация на покритията</u>

Светът отделя изключително голямо внимание на инструментите с покрития. Изследването и създаването на покрития са цели на огромно множество изследователи. Натрупани са многобройни и разнообразни данни в литературата, които затрудняват обикновения читател даже да се ориентира, а камо ли да ги проучи и използва. Наличните в нашата литература класификации [7,8,9] не дават пълна представа за инструменталните покрития. С цел улесняване на ориентацията на читателя се предлага класификация на инструменталните покрития по следните основни признаци: фиг.1:

Според строежа – еднослойни и многослойни- състоящи се от два и повече слоя, нанесени един след друг. Еднослойните покрития осигуряват различни свойства, но целият комплекс от свойства, повишаващи износоустойчивостта и трайността на инструмента е трудно да се съвмести в един материал. Многослойните покрития са съвременна тенденция в инструменталните технологии. Получаването на многослойни наноструктури допълнително подобрява качествените и функционални характеристики на нанесените слоеве. Отлагането им върху разнородни инструментални материали води както до модификация на материала на повърхностния слой, така и до образуване на принципно нови композиционни материали. Съвременните покрития- дебели и тънки- са предимно многослойни. Многослойните покрития имат по-висока якост на

огъване, което ги прави подходящи за прекъснато рязане [10]. Създаването на покрития с редуващи се слоеве с различни свойства и наличието на меки прослойки между тях способства за увеличение на еластичността.

В зависимост от дебелината на покритието – дебели, средни и тънки.

Дебелите са с размери над 50 μm и се прилагат при щанцови, штампови и други формообразуващи инструменти не само за повишаване на трайността, но и за възстановяване на размерите на износените им работни части.

Средните покрития имат размери 15 - 50 μm и са предназначени за грубо и получисто рязане със снемане на значителни прибавки от обработвания материал.

Тънките до 15 μm - за инструменти за получиста, чиста и финишна обработка.

Според връзката с материала на основата – адхезионна и дифузионна. При дифузионната връзка, характерна за покритията получени чрез термичните и импулсните методи между покритието и основата се наблюдава преходен граничен слой, който е смес от двата изходни материала и новополучени съединения между тях и елементите от обкръжаващата среда и по състав и структура се различава от тези на изходните материали. Особено високата адхезия се осигурява от преходни покрития на границата с инструмента, TiN и TiCN, боров нитрид BN, боров карбонитрид BCN, титан-боров нитрид TiBN [9,11,12] .

Отсъствието на адхезия с материала на заготовката предпазва от образуване на наслойка, адхезия на стружката и натрупването й в каналите на инструмента. Типични представители са са TiAlN, AlTiN, MoS_2 и др.[9]

Според състава и броя на елементите и компонентите в покритието: еднокомпонентни, многокомпонентни и композиционни.

Еднокомпонентните се състоят от един елемент, или едно съединение.

Многокомпонентните покрития са изградени от повече от два елемента - например, на титана Ti и волфрама W и въглерода – (Ti,W)C, на Ti и Cr и азота - TiCrN и др.

Композиционните покрития са изградени на базата на смесите на две или повече съединения с една, или повече компоненти главно карбиди, нитриди и бориди на труднотопимите метали,а също и окиси, например, WC- TiC-Co, или TiC- A_2O_3-TiCN. Съчетаването на слоеве с различни компоненти от два, или няколко разнородни материала позволява използване на предимствата на всички отделни компоненти, а и на допълнителни, получени от тях. Така например, съчетаването на материали с висока твърдост и износоустойчивост /карбиди, нитриди/ с трудно топими окиси позволява да се получат покрития, притежаващи едновременно висока якост, износоустойчивост и

температуроустойчивост – например TiC + Al_2O_3, или TiC + TOCN, или TiC +Al_2O_3 +TiN, които масово се използват при инструментите от металокерамични твърди сплави. Керамичният слой обезпечава плюс високата износоустойчивост и висока температуроустойчивост, а TiN играе ролята на смазка, която възпрепятства кратерите на износване по предната повърхнина на инструмента и заваряването на стружката, т.е. образуването на наслойка. Извънредно перспективно се явява създаването на композиции с редуващи се слоеве с различни свойства. Наличието на по-меки прослойки между тях способства за увеличение на еластичността[10]. Подобни слоеве са подходящи за инструменти работещи при прекъснато рязане и ударни натоварвания – фрези, зъбодълбачни колела и др.

Видове покрития според материалите – насоки за избор на материали:

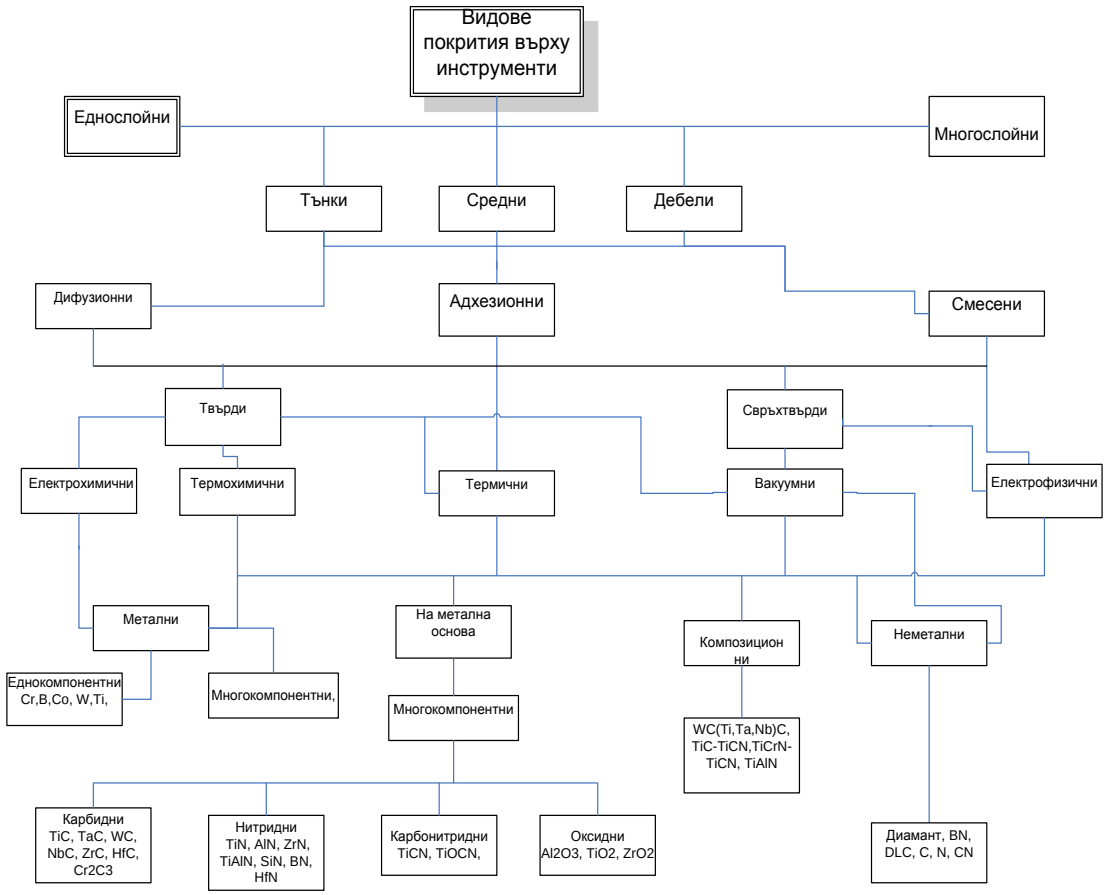
- *Метални* – това са покрития главно от един, или повече чисти метали – Ni, Cr, Ni+Cr, Cr+V използват се главно при голямо и средно габаритни щанцови, щампови и ковашки, инструменти, шприцформи и др. подобни.

- *На метална основа*.

Покритията на метална основа са многоелементни и многокомпонентни.

Най-често използваните метали са титан Ti, волфрам W, алуминий Al, молибден Mo, хром Cr и по-рядко цирконий Zr, хафний Hf, ниобий Nb, тантал Ta. Типични представители са покритията от WC, TiC, TiN, Al_2O_3, TiCN, TiAlN, AlTiN, TiCrN, TiZrMoN, HfC, ZrC, ZrB_2 , ZrO_2, B_4C, SiO_2, SiC, HfO_2, MoS_2 и др. Оксикарбонитридите повишават работоспособността на покритието и се получават чрез добавяне на кислород O_2 в работната камера при PVD методите. Алуминиевият окис (черен цвят) е покритието с голяма твърдост, топлоустойчивост и съпротивление срещу износване по предна повърхнина на инструмента. Титановият нитрид (жълт цвят) е с най-голяма химическа стабилност, нисък коефициент на триене и реализира висока трайност по предната повърхнина. Титановият карбонитрид (сив цвят) осигурява висока износоустойчивост по задната повърхнина.

-*Композиционни* – многокомпонентни многофазни покрития от няколко от горните материали - използват се смеси и твърди разтвори от метали и металоподобни съединения – главно карбиди, бориди и нитриди и окиси на труднотопимите метали – V-VIII група от таблицата на Менделеев. Те са най-често съчетание на два, или няколко разнородни материала, позволяващи най-пълно да се използват предимствата на всяка от отделните компоненти.- WC-TiC-Co, WC-(Ti,Ta,Nb)C-Co, TiN-Mo-Cr, TiC-TiB_2, (Ti,W,B)C, (Co,W,B)C, TiC- A_2O_3-TiN, TiC- TiAlN, AlTiN и др. При избор на материал за покритие винаги се налага да се избира между твърдост и износоустойчивост и жилавост и якост. Решението се заключава в създаването на композиции с благоприятно съчетание на горните свойства.Според повечето от авторите бъдещето е на многослойните композиционни покрития.



Фигура1. Класификация на покритията върху инструменти

- *На неметална (въглеродна) основа*.

Използват се главно диамант и аморфен въглерод [13,14,15].

При металорежещите инструменти се използва гладкия диамант, поради възможността му да се нанася върху остри режещи ръбове, което позволява да се запази режещата геометрия на инструмента. Покритието от аморфен въглерод [Diamond Like Coating (DLC) [16] има по-малка микротвърдост и осигурява и по-ниска трайност на инструмента.

Основните свойства на най-често използваните и на подходящи за използване материали за покрития са дадени в Таблица1. [1,4,17,18] .

Тъй като при съвременната интензификация на режимите на рязане, повечето инструменти работят при високи скорости и респективно – високи температури на рязане, доминиращо е дифузионното износване. Най-бързо в обработвания материал дифундира С, по-бавно W, Ti, и Co. Налице е и обратна дифузия –на желязото и въглерода в твърдата сплав, или в HSS стоманата и образуване на смеси от твърди разтвори на W, Ti и Co в желязото, крехки интерметалоидни нисковъглеродни карбиди от типа Fe_xW_yC, Co_xFe_yC и др, [3,4] които водят до разрушение на повърхността на инструмента и катастрофално износване. Това предопределя изискването за покрития да се използват не само твърди и износоустойчиви, но и химически устойчиви при високи температури материали с нисък химически афинитет към елементите на обработвания материал. Такива материали са Al_2O_3, TiAlN, ZrC, TiB_2, TiN, ($TiC+TiB_2$) и те трябва да бъдат отложени /нанесени/ в най-горния слой на покритието, за да възпрепятстват дифузията. Особено висока устойчивост имат AlTiN и титан-хромов нитрид TiCrN. [19].

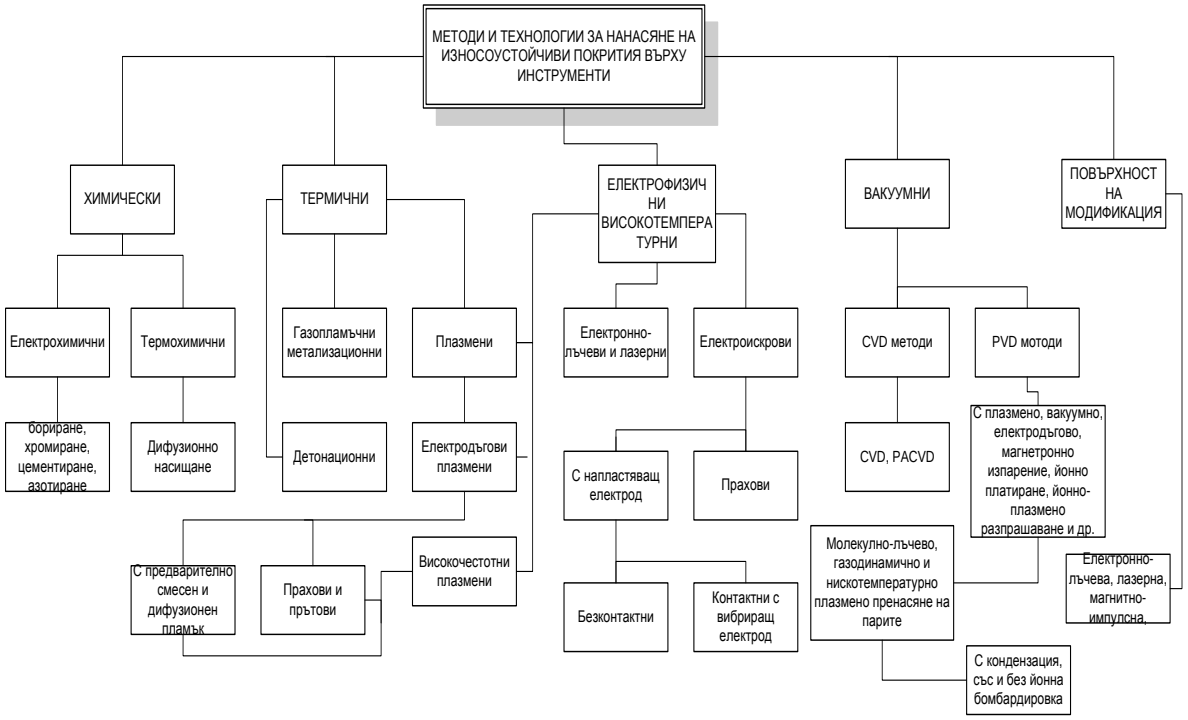
-Обратно – за първия слой трябва да се подбират материали, обезпечаващи здрава адхезионна връзка с основата – това може да бъде отново TiB_2, а също и TiC, TiCN, Особено висока адхезия притежава диамантът. За да има здрава адхезионна връзка е необходимо и долните слоеве трябва да бъдат с ниско (TiCN) ниво на остатъчните напрежения.

Материал	HV MPa. 10^3	Температура на топене Tt^oC	Топлопроводност	Модул на еластичност, GPa	Устойчивост с/у окисляване - mg/cm^2 температура на дисоциация	Якост на огъване MPa.10^3	Якост на натиск MPa.10^3	Плътност, g/cm^3	Препоръки за използване
TiC	3200	3250	0,016	4,6.10^5	+1,5-7 1200^{o}C	150	1380	4.95	Високо съпротивление срещу абразивно, дифузионно и топлинно износване .За покрития основно на режещи и-ти от твърди сплави и по-рядко от HSS стомани Подходящ за непрек. висикоскоростно рязане на стомани , цветни метали и сплави
TiN	2050	2950	0,16	2,6. 10^5	+25 1473^{o}C		1300	5,43	Висока износо- и термо устойчивост и химическа инертност,

									нисък коефициент на триене. За покрития на и-ти от HSS и твърди сплави. При по-евтини и-ти може да се отлага в еднослойни ,а при твърдосплавните – препоръчително в многослойни покрития.
TCN									Като елемент от многослойни покрития върху твърдосплавни и-ти, и при HSS инструменти като самостоятелно покритие, или част от композиция при електроискрово, плазмено и др. напластяване.
AlN			0,03	$3,5.\ 10^5$	1273^oC			3,12	Като елемент от многослойни покрития върху твърдосплавни и-ти, работещи при високи скорости и температури.
Si_3N_4			0,046	$0,47.\ 10^5$	$+5,\ 1673^o$	160	13,4	3,19	Като елементи от многослойни покрития върху твърди сплави и HSS стомани
ZrN	1670	2980	0,06		0		1000	7,09	Като елемент от композиция при термичите методи
BN		3000	0,022	$0,86.\ 10^5$	0		32	2,2	За инструменти за високоскоростна чистова обработка на твърди материали, като елемент от многослойно покритие.
NbN	1780	2300	0,04	4,9.	1073^oC			8,4	За елемент от композиции при термичните методи
WC	2200	2785	0,07	$7,1.\ 10^5$	окисл.	340	2720	15,7	За елемент от композиции при термичните методи
TiB_2	3370	2790	0,154	$5,4.10^5$	/+12/	245	1350	4,4	Ниска склонност към адхезия. За щампи, щанци, изтеглячни матрици и-ти за горещо валцуване и изтеглане, минни и др.и-ти, високоскоростно рязане на твърди авиационни материали
Cr_3C_2	1800	1890	0,046	$3,8.\ 10^5$	$0,\ 800^oC$	5	1048	6.68	Като елемент от композиция
CrB_2	2100	2200	0,076		+8	620	12,8	5,22	За наплавъчна метализация и възстановяване на размери на щампи,

									щанци и шприцформи, инструменти от химическата апаратура и др.
NbC	2480	3613	0,027	$3{,}5.10^5$	1000	680	2423	7,56	Като добавка за увеличаване на якостта
TaC	2380	3985	0,05			101		14,3	Като елемент от композиция за увеличаване на якостта и намаляване на наслойката
ZrC	2600	3500	0,028		+20 1250	76	834	6.9	По-износоустойчив от TiC, но по-скъп и рядък. Като елемент от многослойни покрития върху твърдосплавни и-ти и част от комозициите при термичните методи
ZrB_2	2250	3200	0,14	$3{,}5.10^5$	+30	93	1580	6,17	За Изтеглящи дюзи и инструменти, работещи при високи температури, като TiB_2
HfC	3200	3890	0,015	$3{,}6.10^5$	+20 1300°C			12,6	При високоскоростна обработка на твърди и труднообработваеми материали. С другите карбиди образува високояки твърди разтвори. Отличен е като добавка към композиция.
VC	2800	2830	0,023 4		900°C		620	5.36	Като елемент от композиция за увеличаване на якостта на покритията нанесени чрез термичните методи
B_4C		2450	0,11		-1	340	180	2,51	Изключително висока твърдост и износоустойчивост – може да се използва като елемент от композиция за инструменти за обработване на твърди материали.
Al_2O_3									Като слой от многослойни покрития върху твърдосплавни инструменти. Позволява високи скорости на рязане, но е крехък.

ТАБЛИЦА1. *Свойства на материалите използвани, или подходящи за покрития върху металорежещи инструменти*



Фиг.2. Методи за нанасяне на покрития върху инструменти

- Междинните слоеве трябва да обезпечават връзка между слоевете и да придават наред с износоустойчивостта якост и жилавост на покритието. Такива материали са: TiC, TiCN,

Температурата на дисоциация на карбидите от покритието е много важен фактор при избора на материал. Тя трябва да е по-висока и съизмерима с температурата на топене на обработвания материал. Най- висока температура на дисоциация имат TiC, ZrC, HfC, TaC, NbC, [3,17]. Карбидите от V-VIII група са интересни не само поотделно, но и като смес и съчетания между тях във вид на двойни и по-сложни съединения. Образуването на твърди разтвори между карбидите, или на смесени карбиди, води до повишаване на микротвърдостта и температурата на дисоциация и химическа устойчивост. Ето защо при нанасяне на покрития върху инструменти от бързорежещи, щанцови и топлоустойчиви стомани чрез термичните методи е препоръчително използването не на смеси от карбиди, а на твърди разтвори на карбиди - двойни, или тройни сплави, или пък използването на такива методи и режими, даващи възможност за получаването на тези сплави в процеса на формирането на покритието върху повърхността на основата.

Например много добри експлоатационни характеристики / до 3 пъти увеличение на трайността и възможност за увеличение на скоростта на рязане с близо 20%/ имат металорежещи инструменти с електроискрово напластени покрития от композиционен материал на основа WC,(Ti,Ta,Nb)C [20].

Методи за нанасяне на износоустойчиви покрития върху инструменти - преглед на технологичните възможности. Области на приложение.

В литературата са известни многобройни и най-различни методи за нанасяне на износоустойчиви покрития. Историята на появата на първите покрития върху твърди сплави 1959 г. е описана от Shell. Многообразието и сложността на процесите, многообразните условия на обработване и рязане, при които протича износването са довели до създаването на многобройни методи и средства за нанасяне на покрития върху инструменти, на чиято основа са разработени различни по възможности и параметри апаратура и оборудване, а също и до най-разнообразни методики за изпитване. Болшинството от създадените методи и установки се използват не само за

инструменти, но и за различни натоварени и бързоизносващи се детайли и изделия. На фиг. 2 е дадена класификацията на методите, изградена въз основа на научните принципи за реализирането им. Тя може да се доразвие и продължи, като се включат и различните процеси и схеми, използвани в конкретния метод, различията в свойствата на покритията и др. Въз основа на процесите, чрез които се реализира нанасянето методите могат да бъдат разделени условно на следните групи:

- ***Химически методи*** – при които покритията се отлагат чрез определени химични процеси и реакции.От своя страна те се разделят на:

- *електрохимическо /електролитно / отлагане* – при което покритията се получават чрез отлагане в електролитна вана. Поради по-ниската степен на повишаване на трайността, тези методи имат сравнително ограничено приложение при металорежещите инструменти [7]. Най-популярни са цементацията и азотирането, които все още се използват за някои осеви инструменти – свредла, метчици, зенкери, а също и за отделни пресформи, матрици и щанци. Дебелината на покритията се регулира съгласно закона на Фарадей чрез тока и времето. По този начин се отлагат най-различни еднослойни – Cr, Ni и много други, а също и многослойни покрития - Cr-Ni и др. При това в зависимост от условията на отлагане могат да се получават покрития с различен строеж – например: матов, блестящ, порист, или твърд Cr. Методите могат да се използват и за нанасяне на дебелослойни износоустойчиви покрития.

- *Термохимически* – към които се отнася голямата и широка гама покрития нанесени чрез дифузионно насищане с прахове и реагенти - течности, или газове. Чрез тези покрития се изменят химическият състав, структурата и свойствата на материала на основата.

Насищането се извършва при високи температури – над 900^{o}C, а основни фактори са температурата и времето, чието увеличение води до увеличение на дебелината на слоя, която може да достигне до няколко десети от милиметъра. Методите дават възможност за получаване на покрития от различни материали, а също и комбинирани композиционни покрития, с твърдост до20.10.^{3} MPa , висока износоустойчивост и здрава дифузионна връзка с основата. Методите са подходящи както за напластяване на формовъчни, щампови щанцови и изтеглячни инструменти от инструментални стомани. В повечето случаи след насищането е необходима допълнителна механична обработка и термообработка на напластените инструменти. В практиката най-често се използват следните разновидности – хромиране, бориране, нитроцементиране, насищане с карбиди, включително и B_4C и композиционни карбидни материали [21, 22, 23]. Дифузионното насищане има и съществени недостатъци като: обезвъглеродяване на подповърхностния слой, водещо до крехко разрушаване на покритието, висока грапавост изискваща допълнителна обработка, затруднен контрол на равномерността, плътността и дебелината на покритията, необходимост от съчетаване на условията на насищане с режима за термообработка на стоманата и др.

- ***Термически методи /метализационни/*** - Реализират се чрез превръщане на материала в стопени частици, които се нанасят с висока скорост върху повърхността на напластявания инструмент и се сплавят с нея. Нанасянето се извършва чрез горелка, в която се вкарва напластявания материал и се смесва с горящия газ. Образува се смесен факел, който с висока скорост се сблъсква с повърхността на основата. Частиците залепват, образувайки покритието. Научните принципи на формирането на покритията чрез тези методи са еднакви, различията са само в конкретната техника и технология за нанасяне.[24, 25]. Тези методи са едни от най-популярните и разпространени в световен мащаб. Водещи фирми-производители на оборудване са: „Кастолин”- Швейцария, „Метко” – САЩ, „Юнион карбайд корпорейшън” САЩ и др. У нас са популярни

руските установки тип УПН и УПУ и детонационните „Перун” и „Радуга”. В зависимост от начина на стопяване са известни:

- *Газопламъчна метализация* - извършва се чрез стопяване на нанасяния материал в метализатор. Разтопените частици се нанасят със скорост 100 —150 m /s. При попадане върху повърхността на напластяваното изделие те се спояват с нея. Нанесеният материал може да бъде тел, или прахове. Чрез този метод се получават високо твърди и износоустойчиви покрития от всякакви материали върху метални и неметални повърхности, като дебелината им може да достигне няколко милиметра. Тези покрития обикновено се нуждаят от допълнителна обработка, тъй като са неравномерни и с висока грапавост.

-*Детонационно напластяване* - праховете се нанасят чрез използване на енергията на взрив от ацетилено-кислородни или други смеси. Основни параметри на процеса са високата скорост, температура и налягане, при които частиците на покритието се разтопяват и със свръхзвукова скорост се удрят и залепват към основата. Получените покрития по свойства и състав покрития са уникални. Най-висококачествените покрития от карбиди, които по плътност, строеж и свойства се доближават до тази на монолитните изделия, с изключително здрава връзка с основата се получават чрез детонационните методи [18] . В повечето случаи покритията се нуждаят от допълнителна обработка .

-*Плазмено напластяване* – при което източникът на топлина е плазмена струя. Материалите в прахообразно, или компактно състояние се подават в плазмотрона и увлечени от плазмения поток в разтопено състояние се отлагат върху повърхнината на заготовката. Размерите на частиците са в порядъка на 0,005 - 0,1 мм. Понастоящем най-широко разпространение е получило плазменото високочестотно напластяване, което позволява нанасяне на покрития от всякакви труднотопими и износоустойчиви материали [18,25]. Високата скорост на кристализацията при плазменото напластяване 10^4–10^6 $^oK/s$, способства за съхранение на изходната структура на праховия материал, намаляване на дисперсността, образуване на преситени твърди разтвори, поява на нови фази и аморфизирани участъци. Покритията се нанасят от прахови и прътови материали. Последните обезпечават по-нисък разход на материал и по-добра равномерност на покритието. Съвременна тенденция е нанасяне на материала от гъвкав шнур – от предварително пресовани и полуспечени прахове, който подаден в плазмената струя се разпада на изходните частици.Това позволява получаването на композиционни покрития с висока равномерност и еднородност. При праховите методи качествата на покритията зависят от равномерното подаване на праховете в горелката. Използуват се главно механични и пневматични подавателни системи. Методът дава възможност за нанасяне на покрития от всякакви материали, включително и диамант.

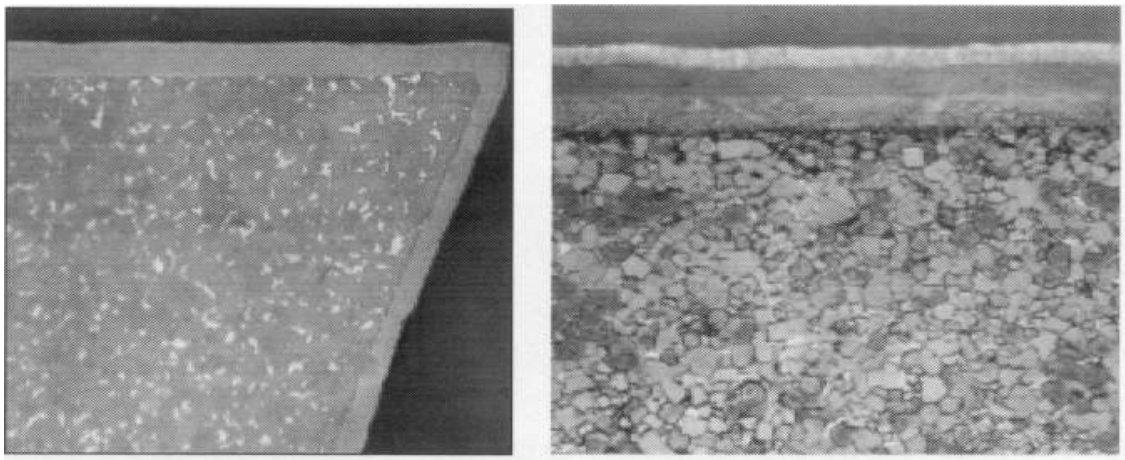


Фиг.3. *Преносима високоенергийна плазмена система за депониране на керамика и металокерамика. Универсална за външни и вътрешен размери.*

В последните години масово навлизат технологии и устройства за свръхзвукови висококоскоростни, високоенергийни плазмени и газопламъчни системи /HVOF/-фиг.3. В тези системи се минимизира използваната топлинна енергия и максимализира кинетичната енергия на частиците в покрития с голяма плътност, ниска пористост и висока якост на свързване. При HVOF както и HVAF – Микроджет свръхзвукови /3 пъти скоросттта на звука/ установки дебелината на напластения слой е от 0.02÷1.0 mm и нагоре в зависимост от детайла и металната сплав. Твърдостта е до 75 HRC и повече, адхезията: - min 83MPa – за WC/Co; над 100MPa – за керамика; над 200MPa – за Ni,Cr,Si,B; Порьозността е не повече от 0.1%. HVOF "Top gun" - преносимата система за нанасяне на карбиди, нитриди, керамика и металокерамика е свръхзвукова - изтичащата газова струя е от 3 до 5 пъти над скоростта на звука.Свръхзвуковите системи 5PII и 5GII позволяват нанасяне на покрития с керамика и металокерамика /прах/ с дебелина до 2-3 mm и твърдост 80 HRC.

♦ ***Вакуумни методи***

- *Химическо отлагане от парова фаза (CVD)* - при този метод покритията се получават в резултат на химическа реакция, при която реагентите са в парова фаза при температури по-високи от 900°C. Реакцията се осъществява в сложни и скъпи вакуумни инсталации. По този начин се получават плътни и равномерни еднослойни и многослойни покрития с много висока твърдост до 30.10^3MPa, износоустойчивост и добра адхезия с основата. Дебелината на тези покрития може да се изменя в граници от 2 -30 μm. При тези методи чрез различни реагенти се получават покрития от TiC, TiN, TiC-TiN, TiC- TiCN TiC-$A1_2O_3$, ZrC, HfC, SiN,|Ti,Cr)B, TiC- TiAlN, TiC-TiB_2, TiCrN,ZrO_2,HfO_2, и др. Покрития от TiN се отлагат в производствени условия главно върху режещи инструменти [26], като химичните процеси протичат при температури над 950^{o}C. CVD методите се използват широко за получаване и на карбонитридни покрития като TiC_xN_x (в среда от газова смес на $TiCl_4$-CH_4-N_2-H_2), върху различни метали, стомани и дори графит и диамант. Диамантените покрития се отлагат от активирана парова фаза. Изпарения във вакуумна камера въгерод в присъствието на атомарен водород, образуващ се в условия на плазма се отлага върху подложката във вид на диамантено покритие [27]. Новото оборудване и използването на допълнителна плазма позволява получаването на покрития с по-остри режещи ръбове и още по-висока трайност. По данни на редица фирми и изследователи трайността на напластените инструменти се увеличава с 2,5 - 5 пъти. Използването на тези методи за стоманени инструменти е затруднено поради високите температури на отлагането и необходимостта от съчетаването му с термообработката на стоманите. Недостатък на тези методи е и скъпото и сложно оборудване. Предвид здравословните и екологични изисквания, в последното десетилетие се налага преминаване от CVD към PVD технологии. Водещо в света е оборудването на фирмите „ Балцерз","Лейболд Хереус", "Бернекс", „Солло" и др.



А Б

Фиг 4. CVD методи - *Металокерамична сплав а/ с еднослойно б/ с трислойно покритие - предимства – може да се нанася върху остри ръбове, има натискови остатъчни напрежения;- недостатъци – по-слаба адхезия с основата и неравномерна дебелина.*

- *Физическо отлагане от парова фаза - PVD методи***.** Това са ниско температурни вакуумни методи, при които покритията се получават чрез физическо отлагане на пари във вакуум при температури до 500 -700°C. За покритие най-често се използва TiN. Процесът се състои в изпарението на един от реагентите, "Ti" и съединяването му с другия реагент, "N", който се вкарва във вакуумната камера. Покритията са с дебелини от 1 - 30 μm и не отстъпват по твърдост и износоустойчивост на покритията, нанесени чрез CVD методите, или плазмена метализация, но имат много други предимства, което ги превръща в най-популярните и разпространени методи за отлагане на покрития не само върху инструменти, но и с най-различно предназначение. Тези предимства довеждат до намаляване на силите и температурата особено при сухо и гранично триене[9] и повишаване на износоустойчивостта на напластените изделия с 1,5 - 5 пъти. В зависимост от начина на получаването на титановите йони и пари методите се разделят на две основни групи: с термично изпарение (електронно лъчево, електродъгово и др.) и с катодно разпрашаване (чрез йонна бомбардировка). И двете групи включват йонизиране на материалите за нанасяне на покритията, като по този начин предават по-висока енергия и позволяват протичане на реакцията при ниски температури - 500 - 600°C. Дебелината, твърдостта, състава и кристалния строеж на покритията се определят от продължителността на процеса, температурата и степента на йонизация на металните пари. Йонизацията влияе и върху предпочитаната ориентация на кристалите в покритията, която е критерий за трибологичните им характеристики. Макар че увеличението на твърдостта показва тенденция към увеличаване на износоустойчивостта, корелацията не е пряка. Например TiN покрития с ориентация на кристалите [2,0,0] са по-износоустойчиви от тези с ориентация [1,1,1]. Точното контролиране на горните параметри обаче е трудно осъществимо и затова при PVD методите няма абсолютна възпроизводимост.

Вакуумните методи за отлагане на покрития PVD и CVD с техните разновидности: PAPVD - физично парно отлагане с плазмено подпомагане и PACVD - химично парно отлагане с плазмено подпомагане имат различни възможности, произтичащи от областите на вариране на основните технологични параметри. Многообразието на физикохимичните процеси при изпарението на металите, взаимодействието с газовете,

методите за пренасяне на йонизираните метални пари и вида на кондензацията затрудняват създаването на единна класификация на PVD методите. Показаната на фиг.2 такава принципно се основава на отделните признаци, по които се реализират етапите на процеса – изпарение /разпрашаване/, пренасяне на парите, реакция с газовете, вид на кондензацията [7,19] , но не е пълна и има за цел да покаже само основните разновидности на методите в контекст на различията в производителността и ефективността на процесите, състава и свойствата на отложените покрития.

Чрез PVD се получават едно и многослойни, наноструктурирани и градиентно ориентирани износоустойчиви покрития с кристален и аморфен строеж, с адхезионна и дифузионна връзка с основата от TiC, TiN, Al_2O_3, TiCN, TiAlN, AlTiN, TiCrN, TiZrMoN, HfC, ZrC, ZrB_2 , ZrO_2, B_4C, SiO_2, SiC, HfO_2, MoS_2 ,TiC- A_2O_3-TiN, TiC- TiAlN и мн.други.

В зависимост от начина на разпрашаване на металния реагент PVD методите са със следните разновидности: йонно /или катодно/ разпрашване - диодно, с нисковолтов дъгов разряд,с тлеещ разряд, високочестотно[27], магнетронно; йонно платиране с различни източници на пари- тлеещ разряд, нискотемпературна плазма, електроннолъчево изпарение, електронно лъчево с кухи катоди и др.; или вакуумно термично изпаряване /индукционно, електродъгово, електросъпротивително, електроннолъчево, взривно и др/.

PVD- методите се налагат все повече през последните десетилетия. Разработените технологии в тази област позволяват все по-успешно управление на структурата и свойствата на покритията. Наред с това те имат и редица недостатъци като необходимост от добре обучен персонал, скъпи и дефицитни материали и консумативи за отлагането и невъзможност за абсолютна възпроизводимост на резултатите. Методите са високо производителни, но се реализират чрез скъпо и сложно оборудване,а покритията не винаги понасят големи механични и ударни натоварвания. Водещи в света са фирмите „Лейболд Хереус” – Австрия, „Сандвик” – Швеция, „Бернекс” – Швейцария, „Алкател” – Франция, „ Балцерз” – Лихтенщайн, „ Техвак” – Англия, „Интератом, „Улвак”, „Хаузер”,”Мултиарк”. Технологията на фирма „Quest HiTUS” е основана на еволюцията на традиционната магнетронна технология, широко използвана в индустриалните и научно изследователски среди. Технологията за отлагане на тънък “PQL” филм върху предната повърхнина и режещия ръб на инструмента с дистанционно генерирана висока плазмена интензивност дава ред предимства, които са недостъпни за магнетронното разпрашаване, йонното плакиране, термичното изпарение и химическото свързване на пари/CVD/. HiTUS процеса осигурява високо качество на покритията с почти идеални физически свойства, много ниски напрежения и отлична адхезия.

- ***Електрофизични методи*** - покритията се нанасят на базата на

определени физически процеси.Това са магнитноимпулсно, електроерозионно, елект-роннолъчево, светлиннолъчево (лазерно) и плазмено обработване.За всеки метод енергията се въвежда импулсно с много висока мощност. Всеки метод може да се използва в две направления:

- Технологични процеси за модифициране на повърхностните слоеве на заготовката-повърхностно химико– термично обработване.

- Технологични процеси за модифициране на химичния състав на повърхностния слой - локално разтопяване, йонизиране, пренасяне и отлагане на износоуснойчиви труднотопими материали.

По своята същност тези методи имат съществени различия, но ги свързва едно – действие с висококонцентрирани източници на топлина, получени чрез определени физически явления и процеси. Най-популярните от тези методи са:

-*Метализационни методи* - получават се покрития аналогични на тези от газопламъчното напластяване с тази разлика, че се използват други източници на топлина.

-*Електродъгова метализация*, при която източника на топлина е електрическа дъга.

-*Плазмена метализация*, която дава възможност за нанасяне на покрития от трудно топими прахове, карбиди, нитриди и оксиди натруднотопимите метали

Горните методи са приложими за възстановяване на размерите на износени щампови, щанцови, формовъчни инструменти и изтеглячни матрици, а също и за предварително нанасяне на покрития върху тях. Основен проблем на тези методи е, че напластеният инструмент в повечето случаи се нуждае от допълнителна механична обработка.

- *Електроннолъчева, лазерна и магнитно импулсна обработка* обхваща група от методи, основани на управляемо, висококонцентрирано, топлинно, енергийно въздействие с голяма плътност в резултат от трансформирането на кинетичната енергия на поток от електрони при рязкото спадане на високата им скорост в момента на сблъсъка в материала на заготовката. Това са методи, за повърхностна обработка на инструментите, при които топлинното и импулсно въздействие на източника на енергия води до изменение на физико-химичните свойства и уякчаване на повърхността на инструмента , което води до близо 3 пъти повишаване на трайността .

- *Електроискрово напластяване(ЕН)*- основава се на процеса електрическа ерозия в газова среда и се състои в пренасяне на материал от напластяващ електрод върху напластяваното изделие под действието на импулсни електрически разряди. Формирането на слоя протича в условия на локално действие на високи температури (до 10000°C) и налягания. Под действието на искровите разряди протичат стопяване и изпарение на електродните материали, дифузия и химическо взаимодействие между материалите на анода, катода и обкръжаващата ги среда и се получават фиксирани високо-температурни състояния, крайно неравновесни фази и структури, които рязко променят физико химичните свойства на повърхностния слой. Получените покрития се характеризират със здрава дифузионна връзка с материала на основата, висока плътност, равномерност и добра повторяемост на качествените характеристики. Методът е универсален – позволява нанасяне на покрития с дебелина 3-200 μm от всякакви токопроводящи материали, но най-често за инструменти се използват твърдосплавни композиционни материали на основа WC, TiC и TiN. Оборудването и технологията са прости и достъпни.Твърдостта на нанесения ултрадисперсиран горен бял слой достига до 20.10^3MPa, а трайността на напластените изделия се увеличава 1,5 - 4 пъти [20,29]. ЕН е с изключително широка област на приложение, тъй като е един от най-леките, прости и универсални методи за локално нанасяне на износоустойчиви покрития, даващ възможност без особени технически умения да се решават най-сложните проблеми по повишаването на трайността на детайли и инструменти. Основен недостатък на метода е ниската производителност и по-ниската степен на повишение на трайността, която го прави по-малко пригоден за големи серии инструменти в сравнение с метализационните и PVD методи.

- *Лазерното и Електронно-лъчево уякчаване* и напластяване са високотемпературни методи с висока степен на локализация на покритията при които като температурни източници се използват лазерни и електронни лъчи. Кратката продължителност на въздействието води до разтопяване на покритието, предварително нанесено върху инструмента без да се влияе върху неговите свойства. Това позволява в повърхностния слой да се създадат принципно нови структурни състояния- например издребняване на зърната почти до преход в аморфно състояние, проникване на елементи от материала

на покритието в основата, образуване на интерметалоидни карбиди и химически съединения между елементите на двойката материали [30] и в крайна сметка - до значително повишаване на износоустойчивостта.

Лазерните лъчи се използват както за повърхностна термообработка, така и за допълнително уякчаване на нанесени пс друг метод покрития, или за нанасяне, аналогично на дифузионното насищане.

- *Магнитноимпулсното въздействие* успешно се прилага за повишаване на трайността на металорежещите инструменти. Инструментите се въвеждат в индуктора. В резултат на въздействието в повърхностния слой на инструментите се предизвикват необратими структурни промени, вследствие на които се повишват експлоатационните им качества.

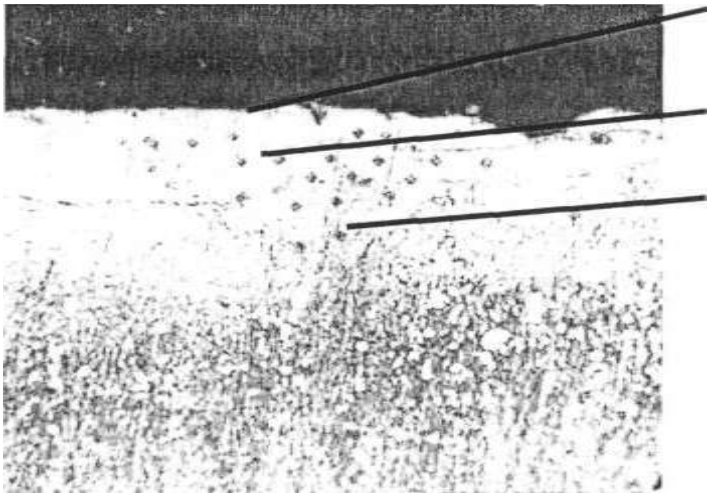
Съоръженията за магнитно-импулсно обработване са леки и преносими. Те съдържат генератор на импулсния ток възбудител, матрица и допълнителни елементи, обезпечаващи провеждането на процеса.

Понастоящем в света най-голямо внимание се обръща на термичните, PVD и електрофизичните методи.

Получените покрития имат различен състав, структура и плътност, а дебелината им в зависимост от особеностите на конкретния метод и установка за нанасяне може да бъде от няколко микрометра до няколко милиметра.

Връзката с основата може да бъде адхезионна /залепване на частиците на покритието към основата/ - каквато най-често е при вакуумните методи и дифузионна – най-често при термичните методи. Свойствата на покритията, се определят главно от условията и физико-химическите процеси на взаимодействие между основата и частиците от покритието. При термичните и електрофизични методи на границата основа-покритие протичат дифузионни процеси, образуват се химически съединения, твърди разтвори и нови фази, променя се и структурния строеж и възниква преходна зона, в която протича обединение на разнородни атоми и намаляване на различията в свойствата на двойката материали, Това обезпечава една по-здрава връзка с основата, отколкото при останалите методи и ги прави по-подходящи за работа с високи и променливи ударни натоварвания – штампови и щанцови инструменти, фрези и зъбодълбачни колела, груби режими на рязане със снемане на големи прибавки.

Напластеният слой най-често се състои от две до четири различни зони, някои от които при определени методи може и да отсъстват (фиг. 5):



Фиг.5. *Микроструктура на покритие, получено чрез високотемпературен метод*

Горна - която при високотемпературните методи не се подава на разяждане и изглежда като бял слой. Тя е с висока твърдост и състава и се определя главно от вида на напластявания материал и химическите съединения с елементите на околната среда, и особеностите на метода за напластяване.

Подслой - най-често това е зона на дифузионно насищане на повърхността на основата с материала на покритието. Съставът на подслоя най-често е смес, твърди разтвори и химически (интерметалоидни) съединения между двата материала и елементите на обкръжаващата среда. Дебелината на тази зона зависи от метода за нанасяне (при някои методи такава зона няма) и материалите на субстрата и покритието. Твърдостта е по-ниска от тази на белия слой и се доближава до твърдостта на основата.

Термично-повлияна зона - която се появява при някои от методите с високо енергийни източници на топлина, основани на импулсно-термичното въздействие върху материала на основата. Дебелината на тази зона се определя главно от степента на термично въздействие и скоростта на нагряване и охлаждане на субстрата, а твърдостта и е съизмерима или по-ниска от тази на основата. В повечето случаи тази зона представлява отгрят или обезвъглероден материал на основата, в резултат на преместване на въглеродните атоми по посока на горния бял слой.

Всеки от горните методи се отличава със специфични закономерности, определящи състава, структурата, строежа и физико-механичните свойства на нанесените покрития като функция на условията за нанасянето им (параметрите на работния режим и материала на покритието). Варирайки с тези параметри е възможно тези свойства да се изменят в определени от същността на метода граници.

В литературата съществуват разнообразни и многобройни данни по изучаването на структурата, строежа и свойствата на износоустойчиви покрития, нанесени чрез различни методи и при различни условия. По-голямата част от тези данни се отнасят до конкретни резултати по отношение на напластяваните изделия, работещи при определени условия. Опити за обобщение на получените резултати са направени в [1,2,3,5,7,21,23,26,28,29,31], където са дадени някои от основните закономерности на формиране на покритията, а също и множество изследователски данни за свойствата и състава на покритията, характера и вида на износването им при различни условия и резултатите от приложението на напластените изделия, като се отчита от 1,3 до 10 пъти повишаване на трайността. Независимо от това процесите и механизма на износване на покритията в различни условия на триене все още не са добре изучени и липсват достатъчно данни относно връзката между вида и характера на износването и физико-химичните и физико-механичните свойства на покритията. За ефективното им използване е необходима информация за видовете износване и разрушение в процеса на експлоатация в зависимост от многото фактори като: относителните механични натоварвания и скоростта; материалите на триещите се двойки и пр. Това затруднява съществено изграждането на обща представа за методите, установките и закономерностите при нанасяне на износоустойчиви покрития и при износването им, а оттам и обща методология и препоръки за приложението им в практиката, което ограничава и възпрепятства още по-широкото им разпространение като средство за удължаване на живота на инструментите и постигане на значителни икономии на труд, енергия и материали. Характерни за всички покрития, независимо от метода за нанасянето им, са по-високата им твърдост, температуроустойчивост и износоустойчивост от материала на основата. По данни на почти всички автори, използването на тези покрития позволява да се намалят силите на триене и

температурите в контактната зона, което в съчетание с високото съпротивление срещу износване, значително забавя развитието на последното във времето и протичането на взаимната дифузия и адхезия. Снижението на износването на изделията с тези покрития се обяснява най-често с високото им съпротивление срещу абразивното износване и способността им да се уякчават в процеса на триене.

Разпространение на методите за нанасяне на износоустойчиви покрития у нас

У нас износоустойчивите покрития, независимо от сравнително широкото си приложение, все още не са намерили полагащото им се място. Теорията и практиката на методите за покрития е рязко намаляла и позабравена. Нашите технологични процеси са далече назад от световните аналози. Процесите се реализират на съществуващото старо оборудване, което е с ниски възможности. Наличните в изследователската дейност достижения не се внедряват промишлено, а в повечето случаи остават само на хартия и на лабораторни образци. Често изследванията на отделни етапи на технологичните процеси се извършват без връзка с останалите етапи. Липсва ориентация към практиката.

Най-разпространените у нас са конвенционалните електроихимически методи, които все още продължават да се използуват. Определено място в нашата индустрия заемат методите за дифузионно нанасяне на покрития, от които най-популярни са:

-Дифузионното насищане с Cr, при което се използват прахове от ферохром и активатори. На повърхността на инструменталните стомани се образува слой със сложен строеж от нисковъглеродни карбиди от типа$(Fe,Cr)_{23}C_6$, $(Fe\ Cr)_7C_3$ и други подобни, като твърдостта му може да достигне до 16.10^3 MPa. Ако при хромирането се използва и амониев хлорид (NH_4Cl), то при нагряването последният се разлага, като се получават допълнително карбонитриди от типа $Fe_2(NC)_4$ и $Fe_4(NC)$, които още повече повишават износоустойчивостта на покритията.

-Дифузионното титаниране с прахови смеси[24], състоящи се от Ti и TiO_2 обезпечава получаването на слой от TiFe, TiC и $FeTi_2$ с микротвърдост до 18.10^3MPa и дебелина до 0.3 мм, подходящ за условия на сухо и гранично триене.

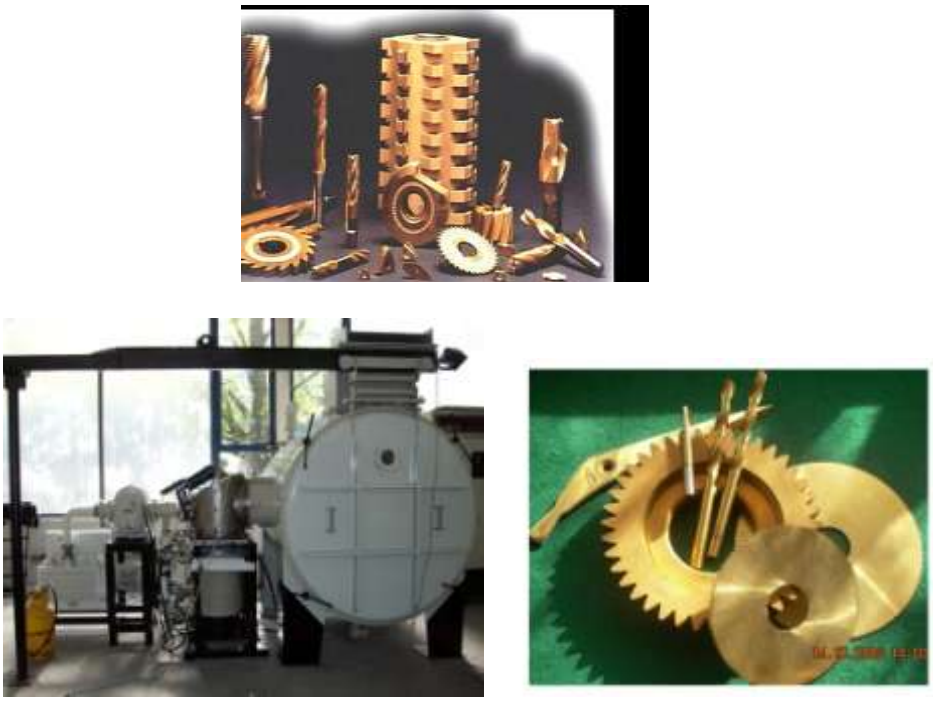
- Дифузионното бориране е един от популярните у нас методи поради високата твърдост, износоустойчивост и температуроустойчивост на получените покрития. При насищане чрез газово-контактен метод в прахови смеси, се образува слой, съставен от Fe-B, $Fe_2B_4(Fe,Cr)_2B$ с твърдост до 18.10^3MPa. Борирането повишава до 40% якостта на стоманите и значително – до два пъти снижава тяхната пластичност и якост на удар. За избягване на крехкостта се провежда едновременно насищане с B-Al, или B-Cu с дебелина на слоя до 0.1мм.

Тези покрития се отличават с висока абразивна износоустойчивост. Използването им води до няколкократно увеличение на трайността на инструментите. Съвременното бориране се извършва в разплав от B_4C (40%) и 60% $Na_2B_4O_7$ при температури от порядъка на 900^oC и продължителност на цикъла 4-8 часа. В този случай в слоя се наблюдават три зони. Горната се състои от FeB и Fe_2B, междинната от $Fe_3(BC)$ – бориден цементит, а долната от обезвъглеродена стомана. У нас е разпространена и друга разновидност, изразяваща се в обмазване на изделието със специална борсъдържаща паста и последващо нагряване.

- Друг използуван метод е химическото отлагане от парова фаза (CVD). У нас този метод се реализира чрез няколко установки на фирмите „Балцерз”,"Лейболд Хереус", "Бернекс" , като те се използват главно за нанасяне на покрития върху твърди сплави.

- Използват се и метализационните методи, които намират приложение за нанасяне на износоустойчиви покрития и рециклиране на износени детайли, като разпространение са получили газопламъчното, електродъговото и плазмено напластяване. Чрез тези методи се нанасят покрития не само върху стомани, но и върху пластмаси, дърво и др. и то върху изделия с всякаква форма и размери. Получените покрития са с по-висока твърдост и износоустойчивост, отколкото при дифузионното насищане, а дебелината им в определени случаи достига до няколко милиметра. По-голямата част от тези методи се реализира чрез просто, евтино и достъпно оборудване. Установките са леки и портативни. Недостатъци на тези методи са неравномерността и високата грапавост на покритията, което води до необходимост от допълнителна обработка, а също и високите цени на праховете, използвани за покрития, още повече, че в процеса на нанасяне се разпиляват значителни количества от тях.

♦ Физическото отлагане от парова фаза (PVD) у нас се реализира главно чрез руските установки "Булат" и "Пуск", българските "Титан", английските "Текват", австрийските "Лейболд- Хереус" и др., които изпълняват поръчки за напластяване на различни изделия.



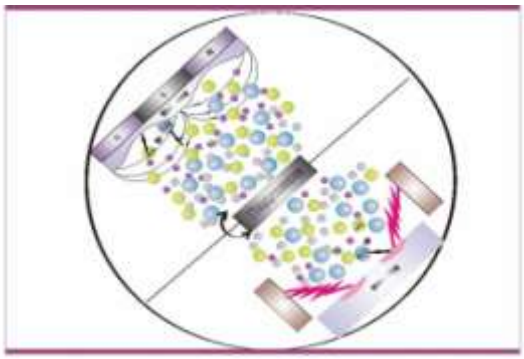
Фиг.6. *Българска установка за PVD покрития с хибридни вакуумни технологии за електродъгово изпаряване и магнетронно разпрашване – гр. Русе*

Понастоящем у нас по PVD методите и технологиите се провеждат изследователски работи в няколко научни звена /5-6 на брой/. За съжаление дейностите на тези звена не са стиковани, част от работите са дублирани, а практическите резултати са незадоволителни. Три организации у нас произвеждат и предлагат за продажби PVD установки, които се различават по начина на изпарение, пренасяне и кондензация на парите, обема на работните камери и степента на автоматизация и технологичната обезпеченост- фиг.6 и 7. Резултати на високо научно ниво постигнаха учените от Русенския технически университет /НЦ ВТС при РУ “А.Кънчев”/. В НЦВТС към катедра МТМ са разработени нов тип съоръжение и технологичен процес за нанасяне

на вакуумни многослойни наноструктурирани твърди износоустойчиви покрития на основата на TiN и CrN. Получени са многослойни наноструктурирани покрития от вида TiN/CrN и CrN/TiN чрез едновременна и последователна работа на два типа плазмотрони - електродъгогов /ARC/ и магнетронен /MS/- фиг.8 .



Фиг.7. *Автоматизирана промишлена установка и технология за електро-дъгово нанасяне на твърди покрития от TiN, CrN, ZrN, Ti(N,C), Cr(N,C), Zr(N,C), (Ti_xAl_{1-x})N върху режещи инструменти, прес-форми, свредла, матрици и др.- гр. Пловдив*



Фиг.8. *Принципна схема на комбиниран MS/ARC метод за нанасяне на покрития*[19].

- Електроискровото напластяване е метод, който е добре познат и има

широко разпространение у нас и в двете му основни разновидности: вибрационно и безконтактно, чиито представители са българските фамилии установки "Искропласт" и "Елфа". При установките "Елфа" [20] се използват източници с ниско енергетични импулси, които позволяват получаването на плътни и равномерни покрития с ниска грапавост (Ra от 0,3 μm; и дебелина 3- 5 μm, до Ra=2 μm; и дебелина 5-15 μm. Безконтактният метод позволява пълна автоматизация на процеса намерила израз в машините с CNC управление "Елфа-731". При това, варирайки с режимите за напластяване и материалите на напластяващите електроди може да се получават покрития с предварително зададени качествени показатели, състав, структура и свойства.

Чрез вибрационните установки се получават покрития с по-голяма дебелина - до 50 μm, но и по-висока грапавост. Те са леки, удобни и ръчно преносими, но параметрите на покритията нямат добра възпроизводимост.

Някои насоки при избора на метод за покритие на инструменти

Както се вижда, всеки един от горните методи има свои предимства и недостатъци, които го правят повече, или по-малко подходящ за различни области на приложение. Нито един от тези методи не е универсален и всеки от тях в определени конкретни условия и за определени инструменти може да се окаже повече, или по-малко ефективен от другите. Затова и всички те съществуват в арсенала на инструменталната промишленост.

За избора на най-подходящия метод за нанасяне на износоустойчиви покрития за конкретни производствени условия е необходимо да се направят съответни технологични и икономически разчети като се изхожда не само от степента на повишение на трайността след напластяването, но и от:

-характерните особености, предимствата и недостатъците на методите и свойствата на получените с тях покрития и пригодността им за конкретните условия на рязане;

-сложността на оборудването и технологиите, производителността и цената му;

-производствените разходи за нанасяне на покритията;

-вида, формата и размерите, количеството и цената на инструментите,които ще бъдат напластявани;

- възможностите за увеличение на скоростта на обработка /производителността на процеса/ при същата, или по-висока трайност на инструмента спрямо ненепластения .

При универсалните инструменти е по-целесъобразно използването на по-евтини материали и покрития с компромис по отношение на експлоатационните им качества, а при специалните високопроизводителни инструменти за масово производство се използуват по-скъпи материали и методи с цел в по-висока степен да се използват екстремните експлоатационни възможности на инструментите.

Изхождайки от описаните по-горе особености на методите, могат да се посочат следните препоръчителни области за използването им:

- CVD методи – главно за твърдосплавни инструменти за непрекъснато получисто и чисто рязане на стомани, чугуни, цветни сплави, пресовани картони, бакелит,пластмаси при високи скорости, средни и ниски стойности на подаването и дълбочина на рязане до 3-4 мм. Подходящи главно за заводи производители на твърдосплавни инструменти.

- PVD методи – предимно за инструменти от бързорежещи и инструментални стомани, но са подходящи и за твърдосплавни инструменти за непрекъснато и прекъснато с леки ударни натоварвания, получисто и чисто рязане на стомани, чугуни, цветни сплави, пресовани картони, бакелит,пластмаси при високи скорости, средни и ниски стойности на подаването и дълбочина на рязане до 3-4 мм. Поради високата си производителност са подходящи както за заводи производители на бързорежещи и твърдосплавни инструменти, така и за потребители на големи количества инструменти – свредла, зенкери, метчици, протяжки, стругарски ножове, опашкови фрези, сменяеми твърдосплавни пластини и монолитни твърдосплавни инструменти. Методите дават възможност за увеличение на скоростта на рязане при същата, или по-висока трайност от тази на ненапластените инструменти. Покритията получени чрез различните PVD установки са принципно равностойни, но качествените им характеристики зависят от особеностите на метода и възможностите за регулиране на процеса. Така например разпрашаването е подходящо за многократни серии и изделия, а изпарителните процеси - за изделия с различна форма и размери. Трябва да се има предвид, че PVD методите все още не са универсалното средство за увеличение на трайността. На пътя на масовото им внедряване има още много нерешени проблеми като високата цена и сложност на оборудването, необходимостта от предварително и последващо почистване на инструментите, сравнително тънките покрития, при които допустимото износване не може да превишава 0,5 мм, затрудненото напластяване на

сложни вдлъбнати форми, непълната повтаряемост на качествата и свойствата на покритията, склонността към напукване и отслояване на покритията при по-тежки условия на рязане и др.

- Термични методи – От тях най-подходящо за инструменти е плазменот напластяване. Може да се използва както за предварително напластяване, така и за рециклиране на износени инструменти. Наличието на преносими установки прави възможно напластяването на голямогабаритни и трудно демонтируеми инструменти на място. Най-целесъобразно е използването на методите за пресови, щанцови, штампови и формовъчни инструменти, а също и металорежещи инструменти от инструментални стомани и твърди сплави – ножове, фрези, зъбодълбачни колела и др., работещи при високи ударни натоварвания със снемане на големи прибавки.

- Електрофизични методи – От тях най-лекият, достъпен и най-универсален е електроискровото напластяване. Може да се използва във всяко промишлено и ремонтно предприятие за повишаване на трайността на всякакви инструменти от инструментални стомани за непрекъснато и прекъснато рязане, с големи обеми снет материал, по-ниски изисквания към качеството на обработените повърхнини, максимални дълбочини и подавания с ударни и високи механични натоварвания, ниски скорости, големи сили на рязане, ковани и лети заготовки с големи и неравномерни прибавки, кори с твърди включвания, – ножове, свредла, зенкери, райбери, всички видове фрези, зъбодълбачни колела, пресови, щанцови, формообразуващи, изтеглячни и валцуващи инструменти. При това е допустимо и увеличение на скоростта на обработка до 20%. Основен недостатък на метода е ниската му производителност, поради което той не е подходящ за за големи количества и серии инструменти, особено тези с по-малки размери – свредла, метчици, опашкови фрези,а също и за инструменти за чистова обработка поради по-високата грапавост на покритията.

-Също така лесно и удобно е магнитно-импулсното третиране, предназначено главно за опашкови инструменти. Този метод дава възможност за обработка и на инструменти с предварително нанесени покрития, което още-повече увеличава трайността им.

Използването на другите електрофизични методи – лазерно, електронолъчево, електроимпулсно напластяване поради високата цена и сложността на оборудването би могло да бъде ефективно в определени конкретни случаи за големи количества еднакви инструменти.

- От химичните методи най-целесъобразни и икономически изгодни, особено за големи количества инструменти са азотирането и карбонитрирането. Те са по-евтини и производителни в сравнение с PVD и термичните методи. Може да се използват при инструменти от инструментални стомани като свредла с малки и средни диаметри, зенкери, райбери, метчици , опашкови фрези и др. Независимо, че степента на повишение на трайността е по-ниска в сравнение с PVD, плазмените и електрофизични методи, химичните методи поради по-ниската си цена, висока производителност и възможността да уякчават инструменти с малки размери без да се закръглят режещите им ръбове в редица случаи са икономически по-изгодни и ефективни. Високо ефективно е и използването им при инструменти за изтегляне и формоване на изделия от цветни метали и сплави, а също и за щанцови и пресови инструменти.

- Дифузионното насищане с Cr, B, и карбиди може да се използва с добри резултати за всякакви щанцови, штампови, пресови валцуващи и изтеглячни инструменти. Подходящо е за предприятия със собствени термични пещи и инструментално производство, тъй като в болшинството случаи не изисква специализирано оборудване. Борните покрития са подходящи за някои видове щанци, матрици и формообразуващи инструменти. Използват се в областта на формовъчните инструменти, при които се

изисква гладка и твърда повърхност Същите покрития притежават и високи абразивни свойства, за това се употребяват и за пресформи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въпросът за подбиране на инструмент и покритие от най-подходящия материал, нанесено чрез най-подходящия метод и определянето на най-подходящите режими на рязане за обработване на многобройните марки конструкционни материали в определените при всеки производител условия (наличен машинен парк), и изисквания - размери и качество на обработените повърхнини, серийност на производството и др. е една ежедневна задача пред специалистите по механична обработка. При използваните многобройни марки обработвани и инструментални материали и покрития избирането на подходяща двойка материали заготовка-инструмент - покритие е сложен технически и икономически въпрос. Понастоящем в литературата у нас няма разработена ясна позиция за препоръки за използване на този, или друг метод за напластяване на конкретните инструменти за конкретните условия на рязане. Все по-належащо е създаването на информация не само за технологическите особености на методите и оборудването за износоустойчиви покрития, но и относно конкретните области за използване на всеки един от тези методи, както и конкретните режими, материали и условия за нанасяне на покритията.

По-нататъшното изследване на закономерностите на триене и износване на инструменти с покрития в различни условия, установяване на корелация между физико-механичните свойства, качествените характеристики, състава и структурата на покритията и условията за нанасянето им, ще позволи да се установи не само механизма на износване и общата картина на природата на износване, но и ще даде възможности за конкретни препоръки по използването на методите, режимите и материалите за нанасяне на покрития в зависимост от конкретните условия на работа на изделията.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Трент Е.М. „ Резание металлов”, Москва, Машиностроение, 1980

[2] Кабалдин Ю.Г., Н.Б.Кожевников, К.В.Кравчук „Исследование изнашивания режущей части инструмента из быстрорежущей стали”- Трение и износ, 1990 т.2, №1

[3] Лоладзе Т. Н. „ Прочность и износостойкость режущего инструмента”, Москва, Машиностроение, 1982

[4] Лоладзе Т.Н. „ Износ режущего инструмента”,Москва, Машгиз, 1958

[5] Еремич Б., М. Бабич, С. Маркович „Трибологические аспекты нанесения покрытии” Трение и износ – 1990, №1

[6] Манолов Н. «Трибология и интердисциплинност» - ТЕМТО, София, 2003

[7] Кънев М., Ц. Узунов и др. „Вакуумно метализиране”, „Техника”, София, 1986

[8] Пеняшки Т.”Защитните покрития-съвременно средство за намаляване на триенето и износването”-Сб. Доклади Proceeding of the scientific-technical conference TRIBOLOGY 2003, p.65

[9] Угринов П. „Класификация на покритията на инструменти за висококоростна суха и квазисуха обработка по физико-механични признаци”- XVII ННТК с международно участие „АДП-2008

[10] www.coromant.sandvik.com.

[11] Tabakov V.P. etc. Wear Resistant PVD Coating For Cutting Tools.www.rae.ru
[12] Bates Charles. One Tough Exterior (New cutting tool coating makes easy work of hardened materials). American Machinist. 01/ 2002
[13] Верещагин А.Л. и др. Влияние ультрадисперсных частиц альмазоподобной фазы углерода на микроструктуру электроосажденного хрома" – Сверхтвердые материалы, №1, 1991г.
[14] K.R. Walton, I.P. Dismukes, R.Krueqer - Mater end Soc – 1989 Vol3 №3 p.319
[15] D. Nelson – Cut Tool – 1990 vol 42 №1 p.63]
[16]Richter Alan. A Mixed Grade. Cutting Tool Engineering. 06/ 2004.
[17.]Самсонов, Г.В., И.М. Виницкий „ Тугоплавкие соединения", Москва, Металлургия, 1976
[18] Демиденко, Л.М. „ Высоко-огнеупорные композиционные покрытия", Москва, Металлургия, 1979
[19] Захариева Ваня "Получаване и приложения на едно-, и многослойни тънки покрития отложени във вакуум" -Научни трудове на Русенския университет - 2009, том 48
[20] Пеняшки Т. „ Свойства и основни закономерности при формиране на електроискрови покрития от карбиди на труднотопимите метали" – Сб. Доклади „АМО 87"
[21] Лабунец,В.Ф., Ворошнин Л.Г., Киндарчук М.В. „Износостойкие боридные покрытия, Киев, Техника1989г
[22] Ворошнин Л.Г. „ Борирование промышленных сталей" – Минск, Беларусь, 1981г., 205 стр.
[23]. Самсонов Г.В., Эпик А.П. „ Тугоплавкие покрытия" М. Металлургия, 1973
[24] Похмурский В.И., В.Б. Далисов, В.М. Голубец „ Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытии", Киев, Наукова думка, 1980г.,.
[25] Лившиц Л.С., А.И. Дегтярев, и др.- „Структура и свойства износостойких покрытий, получаемых способами плазмено-дуговой технологии"
[26] Materieux de coupe et outils a la point du progress – Machine Outile, Produire, 1985, №2
[27] Machine Outil – 1990 №52 p.35-42
[28] Ordey N.G., Ham I. " Process parameter considerations in the cutting performance of TiC sputter coated cutting tools" – SME Manuf. Eng. Trans, Vol9, may 1981
[29] Гитлеевич А.Б. и др. „Электроискровое легирование металлических поверхностей", „Штиница, Киев, 1985
[30] Дьюли У. „Лазерная обработка и анализ материалов" М, Мир, 1986
[31] Кершенбаум В.Я. « Износостойкие покрытия» - Техника, Москва, №1, 1988г.
[32] Рекламни материали на фирмите : Техноваксистем ООД, Quest ООД HiTUS , Високотехнологични покрития – GMA Technologies при "Шумен пътнически автотранспорт" ООД гр. Шумен, Централна лаборатория по приложна физика – Пловдив, „Балцерз", „ Митцубиши", „Лейболд-Хереус" и др.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University – Sofia

РЕКЛАМНИЯТ ПОТЕНЦИАЛ НА СОЦИАЛНИТЕ ИНТЕРНЕТ МРЕЖИ.

ПРАКТИЧЕСКОТО ПРИЛОЖЕНИЕ НА ТРИБОЛОГИЧНИЯ МОДЕЛ В СОЦИАЛНИТЕ ИНТЕРНЕТ МРЕЖИ.

П. Христов[1]***, А. Ердеклиян***[1]
Packlan Advertising Studio, Sofia 1415, 58 Narcis Str.
hristov@packlan.com, erdeklian@packlan.com

ADVERTIZING POTENTIAL OF SOCIAL NETWORKS.

PRACTICAL APPLICATION OF TRYBOLOGICAL MODEL IN INTERNET SOCIAL NETWORKS

P. Hristov[1]***, A. Erdeklian***[1]
Packlan Advertising Studio, Sofia 1415, 58 Narcis Str.
hristov@packlan.com, erdeklian@packlan.com

Abstract: *The Internet foundation begins in the 60's with an US project for a stable computer network. After 50 years almost a third of Earth population uses the Global Network called Internet. The first online advertising appears in 1994 and two years later the advertising market is 301 million US dollars. After Google, the largest search provider, the social networks appeared as preferred field in advertizing battles. But to understand the phenomenon of the social networks we have to look close to their onthology. Their shorter latency and sharp feedback characterise the advertising propagation through the members so there is much less possibility of lie to become unpunished. Stating that the social networks are contact networks and utilizing the Resonance approach one can achieve better advertizing efficiency.*

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Навярно всеки знае какво е Интернет и как се употребява. Когато се налага да напишеш увод по тема, свързана с Интернет, рискуваш да обидиш аудиторията с подробни обяснения, как е възникнал Интернет и какво представлява. Размишлявайки по темата, се сещаме за епизод на един телевизионен комедиен сериал "IT Crowd", където сценаристите по доста сполучлив начин бяха представили същността на Интернет – затворена кутия с няколко мигащи светодиода. Това явление, за много кратък период, навлезе до толкова в нашия живот, че вече си извоюва правото да се говори за него като даденост и въпреки това същността остава скрита за повечето потребители. Предполага се, че щом си грамотен и можеш да четеш и пишеш на родния си език (по възможности и на английски и др. езици), можеш и да пращаш имейли, да си чатиш и да говориш по Skype, както и трябва да имаш профил във фейсбук и т.н. Всеки съвременен цивилизован човек задължително използва услугите, предоставяни през Интернет. Нека все пак, накратко, да си припомним историята на мрежата.

Зараждането на Интернет датира още от 60-те години с проект на САЩ (естествено за военни нужди) за устойчива компютърна мрежа. Когато през средата на 90-те години на миналия век този проект става цивилен, започват да се свързват едни локални мрежи с други и така до 2009 година, когато една четвърт от жителите на планетата ползват услугите на Интернет – наричан Глобалната мрежа. Тази четвърт се предполага, че е цивилизованата част от жителите на планетата.

II. ИЗЛОЖЕНИЕ

Естествено, като на всяко място, където хората се събират и тече някаква комуникация или информация, независимо дали има обратна връзка или не, рекламата не закъснява да се появи. Тук е моментът да уточним, че рекламата в интернет е доста размито понятие. Дали дадено послание е рекламно или не, зависи от скритите стимули зад него, дали са комерсиални, какво целят в краткосрочен и дългосрочен план и т.н. Например, ако някой твърди, че има изключителни силови постижения в определен спорт, то това може да е реклама (на хранителен режим, стимуланти или програма) или пък не, въпрос на цели ...

Прието е да се приема датата 12 април 1994 година, като моментът на появата на първата онлайн реклама, когато Лорънс Кантер и Марта Сийгъл първи изпращат масов имейл, промотиращ адвокатската им кантора в САЩ. В днешно време, това е наречено „СПАМ" или „Непоискано търговско съобщение" (SPAM - Sending Phenomenal Ammount of Mail). Фирмите, занимаващи се професионално с този дял на онлайн рекламата,

го наричат „Директен маркетинг”. През октомври същата година HotWired публикува първите онлайн банери, които рекламират бира. През 1995 г. и Yahoo интегрират банери. По това време Интернет има вече 5 милиона потребители. Година по-късно Yahoo за пръв път въвежда заплащане на реклама на кликове, а не на импресии. През 1996 г. се появява брандиран сайт – devi`s Dockers на Hot Wired Dream Jobs. 1996 г. – общо похарчени за онлайн реклама 301 млн.долара. За онлайн пазаруване – 1,3 млрд. долара. Създава се IAB (Interactive Advertising Bureau) – световна организация, занимаваща се с подпомагане на онлайн рекламата. През 2001 г. – обемът на Интернет рекламата вече е над 5 млрд. долара.

За България не може да се твърди със сигурност коя е първата дата, когато са стартирали онлайн рекламите на български сайт. В началото у нас основно се рекламират онлайн проекти и Интернет доставчици, както и туристически фирми. Няма ясни ценообразуващи критерии и най-често банерната реклама е на разменен принцип. Бумът на интернет рекламата е през лятото на 2002 г. и идва със Световното първенство по футбол. Именно тогава влизат топ брандовете. През есента на 2002 г. Dir.bg прави основен редизайн, който се обяснява до голяма степен с изчерпване на предлаганите до момента рекламни позиции на първа страница поради нарасналия интерес към тях. Тогава се въвеждат едновременно HTML карето и банер-небостъргач. Като цяло пазарът се диктува от големите - Dir.bg и Нетинфо. През 2003 г. Mail.bg се утвърждава като третата онлайн медиа у нас. Mail.bg е и първият сайт у нас, предложил таргетирана реклама. За периода 2007 – 2010 г., според данни на Piero 97, единствената рекламна медия в България, която бележи ръст в рекламния бюджет, е Интернет. Формите на реклама в Интернет са много и разнообразни, ще отделим малко внимание на някои от тях.

Банери

Банерът е правоъгълен формат за реклама, вграден в сайт или мейл. Банерите съдържат или несъдържат, линк към конкретен сайт, или страница. Целта им може да бъде както да работят за конкретно име /брендинг/ или да предизвикат към действие – да се кликне върху тях.

Концепцията, криейтив и изработката на банери са истинско предизвикателство, което идва от нарастващите технологични възможности и голяма свобода по отношение на свят, движение и време.

Банерите се различават по размер, технология и т.н. подразделят се в различни формати:

* Небостъргач – най-разпространеният банер-формат у нас. Най-често се позиционира вдясно на вътрешни страници със сдържания, което изисква повече от един екран. Големият размер дава достатъчно простор за послание, анимации, възможности за rich media.

* Квадрат – подходящ за начална, входяща страница

* Поле – хоризонтален банер, намиращ се най-често в горната част на сайта, под или над лентата с логото

* Бутон – анимирани GIF файлове с натрапчиво мигане, с малка площ и съдържащи само приканващи думи като “кликни”, “free” и др.

* Плаващи банери – стандартни по размер, които се появяват върху съдържанието на дадена страница за няколко секунди и изчезват или се смаляват

* Нестандартни банери – те са с вграден звук, “разтръскващи” екрана, “прелитащи” през екрана

* Банери без линк – той само носи посланието, без да води към сайт

Текстов линк

Зареждат се по-бързо от банерите, обхващат повече аудитория, друго предимство е ниската цена. Текстовият линк е формат, който се договаря и закупува за по-дълъг период.

Мултимедийни формати

* Rich media е комуникационното средство, съчетаващо анимация, звук, видео и/или интерактивност. Използва се както при стандартните уеб приложения, така и при безжични приложения, а също може да се вгради в сайт, мейл.

* стрийминг реклама е форма, при която в реално време се “изтегля” и показва рекламното послание на монитора, с което се доближава до телевизията.

Поп-ъп прозорец

Те са малки прозорци, които се отварят автоматично при зареждане на даден уеб адрес, но това води до раздразнение у потребителя и затова не са често използвани.

Онлайн събития

* Онлайн игри, конкурси, анкети – те работят на ниво брандинг, служат за изграждане на лоялна аудитория, стимулиране на продажбите и т.н

* Онлайн семинари

Междинни страници

• предходна страница – тази, която се появява между две страници

• изходна – в този случай при изход от поща или друга услуга посетителят автоматично бива прехвърлян към определен сайт.

Промостраница или сайт

Тя съдържа малко на брой страници с обща информация за промоцията, по-подробно описание на продукта. Обикновено дизайнът на тези

страници носи цялостната визия на продукта и компанията, а не толкова на фирмата, която го лансира.

Промостраницата изисква определено действие от посетителите /анкета, игра/. Съществуването на промостраницата е лимитирано във времето, и тя е онлайн от началото на кампанията до няколко дни след краят й.

Спонсориран сайт

Това е този, който е финансиран от фирмата с определени цели, но за разлика от промосайта, той е с по-дългосрочни цели и е онлайн за по-дълго време.

Формати извън браузъра

• текстови линк в изходяща поща – автоматично прикрепено съобщение към изходящо писмо под формата на текст с линк, картинка

• автоматичен отговор – той се изпраща автоматично при получаване на запитване под формата на писмо от потребител.

• мейлинг кампании – изпращат определено рекламно съдържание по мейл

• мобилен маркетинг – през Интернет могат да се поръчват лога и мелодии за мобилни телефони и изпращане на SMS.

Платено търсене

Една от бързо набиращите скорост форми на онлайн рекламата е контекстната реклама или "платено търсене". Безспорен лидер е Google.com. Друг такъв канал са социалните мрежи, на които ще се спрем по-обстойно.

Социалните мрежи, популяризирани в началото от тийнейджъри, вече навлязоха в бизнес средите и благодарение на тях много професионалисти от различни индустрии обменят ежедневно ценен опит. Сайтовете от този тип са направени от потребителите за потребителите. Дискусионни форуми, чат стаи и изпращане на имейли са част от техните елементи. Големите корпорации отдавна разбраха ползата от този тип мрежи и се опитват чрез различни методи и стратегии да спечелят от "комюнити" обществото. В процеса на социализация и контакт с потребителите, компании като "Warner Bros" и "Coca Colla" създадоха профили в социалните мрежи Myspace, Facebook и др. Днес най-голямото предизвикателство за компаниите е да открият начина за реклама и печалба от комюнити обществата. Социалните мрежи станаха важна част от бизнес-пейзажа. Те променят онлайн пространството от една статична уеб страница до жива, вибрираща мрежа от свързани индивиди, които споделят своите навици, живот, опит и интереси. В съвременния бизнес някои клиенти загубиха доверие в традиционните търговски и маркетинг

услуги. Рекламата в общите социални мрежи обаче търпи крах – много потребители закриват профила си, заради нашествието на нежелана реклама в MySpace и Facebook. Голяма част от потребителите на тези мрежи не забелязват рекламите и по-скоро се дразнят от натрапваните послания, тъй като основният им интерес е свързан с общуването. Ето защо е от съществено значение как, къде и по-какъв начин компаниите участват в социалните мрежи. За да може една подобна мрежа да постигне успех и да го задържи, е необходимо да изгради свой тематичен облик за определен тип посетители. Социалната бизнес мрежа, например, дава различни ползи за компаниите и потребителите. Така потенциален клиент може да установи лесна връзка на ниво личен контакт с дадена организация. Това премахва усещането за стерилен образ, като се акцентира на индивидуални личности, които се идентифицират с лицето на компанията. Този тип мрежи спомагат също за намиране на експерти, които могат да бъдат от помощ в една или друга ситуация. В тях потребителите могат да получат ценна информация за даден проблем от професионалисти, които вече са се сблъсквали с него. От друга страна, социалната бизнес мрежа помага на професионалистите да се обградят с добри партньори, с които са в състояние да осигурят пълно обслужване на клиента. Не на последно място, участвайки активно и разумно в онлайн обществото, представителите на бизнеса си изграждат позитивен имидж в своята среда. Социалните мрежи, акумулиращи около себе си огромни маси от целева аудитория, продължават да привличат рекламодателите, макар че, съдейки по резултатите от изследването на компанията IDC, потребителите не обръщат много често внимание на рекламата в тях. В следствие на това CTR показателят на „социалните" обяви е по-нисък, отколкото при обикновената онлайн-реклама. Например – по данни от миналата година, 79% от потребителите в Интернет поне веднъж са кликнали върху рекламна обява, докато процентът на кликовете от страна на потребителите на социални мрежи е далеч по-нисък – 57%. Такова е положението и при пазаруването онлайн. Услугите, предоставяни от социалните мрежи, привличат голяма аудитория, генерират огромен обем от трафик и уникално съдържание (UGC). И въпреки това тези положителни фактори не работят ефективно в полза на рекламодателите. Потребителите на социалните мрежи игнорират рекламата най-вече поради това, че хората се събират там не за да търсят търговски предложения, а за да общуват. Други причини, които карат потребителите да използват социалните мрежи според мнението на IDC, са потребността от почивка и развлечение, просто от солидарност или поради нужди, свързани с тяхната работа. Въпреки това социалните мрежи продължават да привличат погледите на рекламодателите. Според данни от анкета, проведена от компанията Collective Media сред американски рекламодатели и рекламни агенции, от публикуването на реклама в сайтовете, обслужващи

социалните мрежи са се отказали само около 26,8% от участниците в запитването, което означава, че 73,2% са готови и продължават да инвестират средства и усилия, опитвайки се да извлекат дивиденти от позиционирането си там. До голяма степен ефективността от използването на социални елементи в рекламния бизнес зависи от успешното развитие на способи за разполагане на рекламни обяви в мрежата, които биха позволили в пълна степен да се извлекат преимуществата от свободното общуване и интерактивността на средата, характерни за социалния интернет. В повечето случаи формите на реклама, характеризиращи се с най-висока ефективност в контекста на социалната мрежа, съществено се отличават от стандартните банери и текстови съобщения, класически за сайтовете със стандартно съдържание.

Трибологичният модел в СИМ

За да разберем феномена на този тип мрежи трябва да разгледаме тяхната онтология. Социалните мрежи са контактни такива, свързвайки милиони („2.2 млн. души използват Facebook много често, което е около 30% от цялото население на страната и повече от 60% от хората, които използват интернет“ - Рик Кели - *директор продажби за Европа, Близкия Изток и Африка във Facebook*), те създават среда за активно и наситено общуване. В СИМ времето за разпространение на информацията е намалено драстично чрез системите за споделяне на впечатления и коментари. Разглеждайки рекламната комуникация като частен обмен на информация в СИМ, трябва да отбележим най-голямата разлика. А именно - докато при стандартните канали за разпространение на реклама комуникацията е еднопосочна производител = > клиент, то при СИМ тя може да се представи като по-жива и динамична. Дори и при послания, които не претендират за двупосочност на връзката, съществува обратна реакция от страна на клиентите, която вече не е анонимна. Тук всеки индивид представя своето мнение в зависимост от арсенала, с който си служи, но това мнение често намира последователи, които се обединяват около него, а много често и покрай вече "декласирани участници". Нов образен термин, който охарактеризира субекти, изтласкани от комуникационния канал, било чрез присмех, индиректни или директни нападки - хора, които са принудени да напуснат сцената и да приемат, че нещата са по-големи и не зависят от тях. Това е стандартен подход на по-силните, а силните са тези, които диктуват правилата, и които са ги писали. Но в СИМ ситуацията е обърната, тук силата не идва от едното и не се разпространява към многото, не, тук идва от всеки отделен индивид и се обединява в някаква идея или цел. А това е възможно благодарение на проследимостта и възможността за документиране на комуникацията. Така всеки, несправедливо пренебрегнат, може и получава подкрепата на останалите, които я дават (за разлика от “живия живот”) поради

сигурността на топлото място зад компютъра.

Нека се спрем на този феномен, който ще предопредели хода на доста събития, на които ще станем свидетели. Комуникацията в СИМ наистина има характеристиките на реалната такава с някои разлики, които по-подробно са застъпени в статията ни "Социалните мрежи в Интернет". Тук хората и техните образи в СИМ могат и често се разминават, направено с цел да съхрани равновесието във всеки индивид на чисто базисно ниво - това е факт и има своите последствия. Образите в СИМ са често идеализираното ни АЗ, което, лишено от ограниченията на физическия свят, се рее във въображението ни някъде високо. Ако трябва тази система от себепредставяне да се привърже към “живия живот” често се оказва, че разминаванията са сериозни и двете системи не могат да съществуват на едно и също място. От една страна страхът от разобличаване, от друга нежеланието за индивидуализация и накрая мързелът пречат на субектите от СИМ да се превърнат в обекти от реалността. Примери за инициативи, започнали в СИМ и провалени в крайната им фаза на материализация, можем да посочим много, но най-известният, може би, ще е протестът срещу цените на горивата от пролетта на 2011г. Има и случаи на успели начинания, какви са причините там? Ясната позиция на организаторите и липсата на дори капка съмнение за участниците, че са манипулирани. Нека да обърнем внимание на капката съмнение, която може да преобърне настроението и да пренасочи енергията на Интернет-човеците в противоположната посока. Концентрираната енергия в СИМ е много волативна и боравенето с нея е тънка и крехка задача. В СИМ индивидите са много по-крайни и решителни, отстояват вижданията си и рядко се поддават на нечий авторитет, освен ако не е изграден пред тях - там на място. Това прави и рекламата в СИМ специфична и трудна за оцеляване във вида, познат ни до момента. И ако основният недостатък на рекламата в класическата й форма е липсата на диалог, то при тази в СИМ трябва да има двупосочна комуникация. Поради изброените по-горе причини рекламните послания трябва да са откровени и честни, защото лесно усилията, хвърлени за популяризиране на даден продукт, могат да се окажат инвестирани в антирекламата му. И не на последно място трябва да бъдат премерени. Без излишно натрапване на своето присъствие и без обичайното за бранша агресивно поведение. Рекламните послания трябва да бъдат контекстно ориентирани и точно таргетирани. Това от една страна е повече труд за медия-планьора (виж публикацията на същите автори от Бултриб 2010) и по-прецизно сегментиране на рекламните послания по типове клиенти за криейтив отдела. Нека дадем пример, ако аз съм човек на средна възраст и съм пред компютъра вечер след работа, проверявайки как е протекъл деня в СИМ, и чета публикация за предстоящ концерт, последното, което ще искам да видя, е реклама, например, на прах за пране с голям червен бутон мигащ на екрана "Купи 3 кг. сега и ще получиш един

безплатно!!!" Но ако там стоят изложени албуми на групата от концерта, то може би това ще ми е полезно. Или може би реклама на заведение, предлагащо доставка на храна в моя квартал? Роденият през 1838 Джон Уонамейкър е казал: "Половината от парите, които харча за реклама са хвърлени на вятъра, проблемът е, че не знам точно коя половина." Това верую характеризира в пълна степен състоянието на рекламната индустрия и сега почти два века по-късно. Дори е по-актуално, защото сега рекламата е ориентирана по ефекта, а не по ефективността. Нека да го обясним с пример. Днес можем да изпратим електронна поща до 100 случайни човека в един и същ момент, с едно и също усилие. И ако двама от тях счетат информацията за полезна, това ще ни даде 2% успеваемост. Но ако пратим със същото усилие поща на 1,000 човека, при същия коефициент ще имаме 20 заинтересовани. Това е ефектът! Но ако напишем персонални писма до 30 човека, подбрани от нас, то вероятно ще се съгласите, има шанс поне 10 от тях да преценят, че изпратеното представлява интерес, а обърнато в процентно отношение това са цели 30%. Виждате колко голяма е разликата и в действителност е точно такава. Освен вероятността да изпратите поща, която да се приеме като нежелана (СПАМ), намалянето на процента заинтересовани идва и от негативния ефект, който се свързва пряко с това нежелано послание и косвено с изпращача. Причината е от липсата на индивидуализация, неща, които въпреки че са една от характерните черти в нашето съвременно общество, не са характерни в СИМ.

А сега да разгледаме практическото приложение на трибологичния модел в СИМ.

Социалните интернет мрежи, както показахме по-горе, са място на ускорен обмен на свободна и нецензурирана информация. Тя не винаги е достоверна, но за сметка на това се пази история на комуникационните канали, което прави разобличаването на неистинските твърдения лесно във времето. Ако трябва да перифразираме българската поговорка „на лъжата краката са къси, но в СИМ са още по-къси“. И ако някой си позволи да бъде неискрен в поведението си, то това ще доведе до откъсването му от социалния живот в СИМ. За да се интегрира отново ще трябва да използва нов псевдоним, като само така може да започне на чисто. За това подчертаваме, че тук е важно доверието, което се изгражда между звената от контактната мрежа, не само между отделните индивиди, а между всички участници в комуникацията там, дори и на рекламните послания. Тук, повече от всякога, е важно да станеш приятел с потребителя, създавайки индивидуализирани връзки. Тези отношения действат по качествено нов начин благодарение на организацията в СИМ. Ако в света важи поговорката: „Един доволен клиент ще каже на още един,



а един недоволен ще каже на десет“, то тук бройката е по-скоро изравнена. Всяка връзка се създава на база положителната релация на харесването. Един субект реферира друг или одобрявайки съдържание, или декларирайки, че е приятел.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В една наша статия озаглавена: „**СЪСТОЯНИЕ И РАЗВИТИТЕ НА СИСТЕМАТА: ПРОИЗВОДСТВО-РЕКЛАМА-ПОТРЕБЛЕНИЕ”,** разгледахме нуждите, които запълват СИМ и това положително рефериране показахме там, има своята онтологична функция в дизайна на системата. Но то позволява и създаването на вълна, която достига потребителите, и следваща вълна, която ще прелее извън тях, достигайки нови, и трета вълна, минавайки отвъд. Всяко действие се характеризира с еднакво усилие, и поради спецификата на средата и на метода на разпространение, от първата до последната стимулация са с един и същи интензитет, но с драстична разлика в аудиторията.



Това е същността на резонансния метод – да се постигат огромни резултати чрез малки по амплитуда, но с определена периодичност въздействия върху средата.

Много може да се говори за рекламата, за това каква е в била в миналото, как се е развила и в какво, може би, ще се превърне. За типовете, видовете и характеристиките. За гениалните решения и за колосалните провали. Но нека да се върнем към думите на Уонамейкър, който признава, че половината от парите, които харчи за реклама, са хвърлени на вятъра. Колко са вековните системи, които ползваме, при които КПД в началото е било 50%, а с времето е спаднало? Не се сещам за такива, а вие? А ако рекламата може да стане по-приятна, по-достоверна и по-малко агресивна? За щастие има начин - наблягайки на информативната част от рекламните послания и използвайки Резонансния метод, може да очакваме реализирането на малко по-ефективни кампании. Проведените тестове в

тази насока ни дават вяра, че ние и Интернет-човеците гледаме в една посока – ефективността.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Ж. Томс, Интернет рекламата мисията – възможна „Сиела", С., 2005.
[2] Н. Манолов, Контактът – книга първа „Общество на триболозите в България", С., 1995.
[3] Н. Манолов, М. Кандева, Обща трибология, „Св. Иван Рилски", С., 2005.
[4] Н. Манолов, Трибология и интердисциплинност, ТЕМТО, С., 2003.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University – Sofia

ТРИБОМЕТАМОРФНИТЕ СЛЮДЕНИ ШИСТИ КАТО ЛУБРИКАНТ В ТЕКТОНСКИТЕ ЗОНИ НА ТРИЕНЕ

Евгения Кожухарова
Геологически институт на БАН, ул. „Акад. Г. Бончев”, бл. 24; 1113, ekozhoukharova@abv.bg

THE TRIBOMETAMORPHIC MICASCHITS AS A LUBRICANT IN THE TECTONIC ZONES OF FRICTION

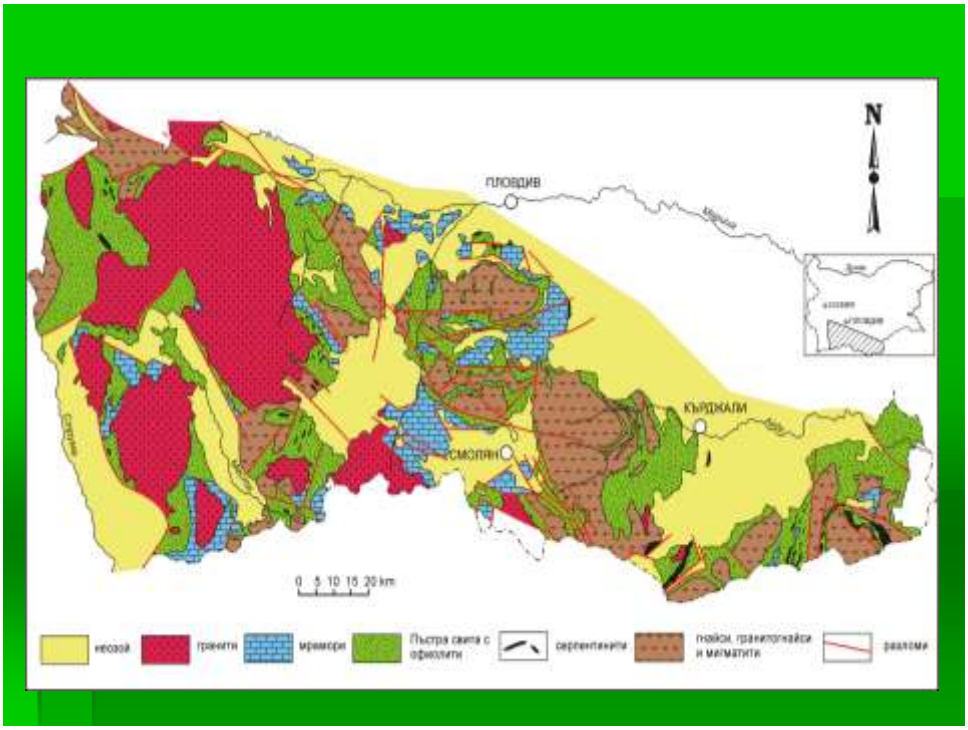
Evgenia KOZHOUKHAROVA
Geological Institute of BAS, ekozhoukharova@abv.bg

Abstract: *The micaschists are metamorphic rocks, consisting of micas, feldspar and quartz. Their specific texture is foliation due to preferred orientation of the platy micas. The micaschists are formed by crystallization of pelitic sediments or by tribological processes in the shear zones of friction among granites and gneisses. The destructed rocks have been transformed into muscovite micaschists with similar chemical composition. Micaschists at zones of friction favour the tectonic movements playing a role of lubricant.*

I. УВОД

Слюдените шисти са метаморфни скали, основен компонент в регионалните метаморфни комплекси, където те асоциират с гнайси, амфиболити, мрамори, калкошисти, кварцити. Шистите се състоят главно от слюди (биотит, мусковит, серицит, фенгит, флогопит), фелдшпат и кварц. Някои от тях съдържат като допълнителни минерали гранат, кианит, ставролит, рутил и др. Отличителен белег на слюдените шисти е шистозната текстура (фолиация), при която слюдите, поради своята

планарна структура, се разполагат ориентирано, паралелно на една плоскост, формирайки тънки слоеве между другите минерали или се смесват с тях, запазвайки ориентираното си положение.



фиг.1: *Геоложка карта на Родопския масив*

У нас слюдените шисти имат широко развитие в старите метаморфни комплекси на планините от Южна България - Родопи, Рила, Пирин, Верила, Огражден, Влахина, Средногорието и Сакар. Там слюдените шисти в алтернация с гнайсошисти, мрамори, амфиболити, калкошисти, кварцити, хлоритови шисти, серпентинити и други формират т.н. Пъстри свити (фиг.1). Пъстрите свити покриват големи линейни и дом-антиклинали, чиито ядра са изградени от кварц-фелдшпатови скали - гнайси и гранитогнайси.

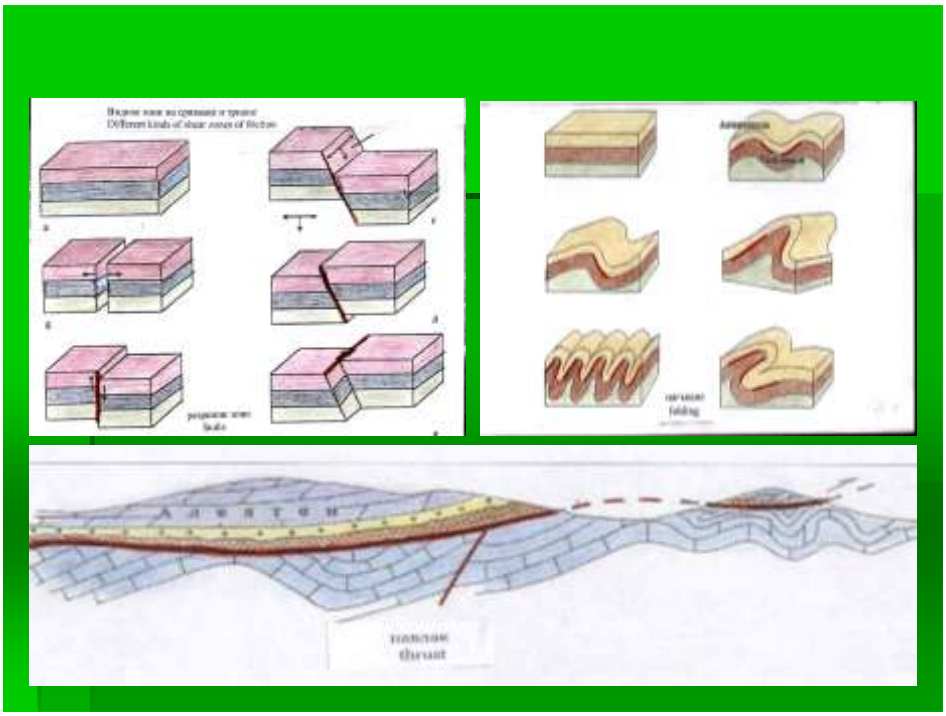
2. ГЕНЕЗИС НА СЛЮДЕНИТЕ ШИСТИ

Предметаморфният протолит на слюдените шисти е финозърнест пелитов материал, който се образува при седиментация или чрез триене на скален материал. При последвалият регионален метаморфизъм пелитовият материал прекристализира в слюдени шисти. Съобразно протолита генезисът на слюдените шисти може да се определи като седиментно-метаморфен и трибометаморфен.

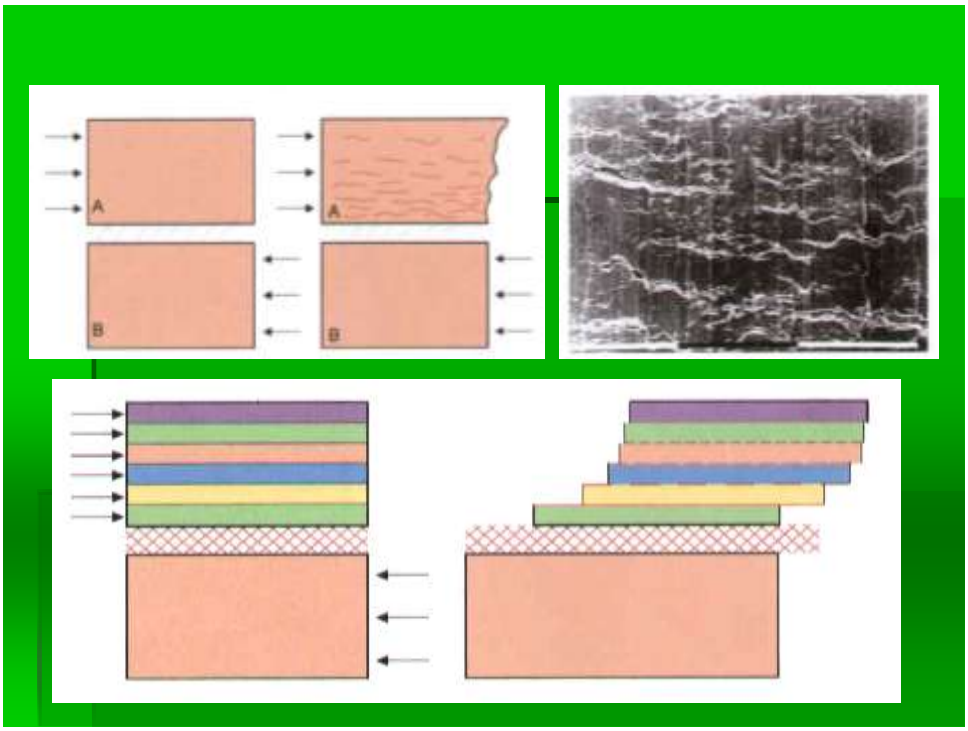
А. Седиментно-метаморфен генезис. Седиментните пелити се формират по два пътя: а. като най-фини утайки от речен наносен материал във водни басеини или б. при изветряне на кисели скали - гранити,

риолити и гнайси. При втория случай изветрителният материал може да остане на същото място или да бъде отмит и също транспортиран във воден басеин. Слюдените шисти от седиментно-метаморфен произход имат разнообразен минерален състав, в който участват различни допълнителни минерали.;

Б. Трибо-метаморфен генезис. Пелитовият протолит на този вид шисти се получава при триене на скални пластини в тектонски зони на срязване. Вследствие на тектонски процеси в скалите се появяват зони на срязване и триене – трибозони с различни размери (Kozhoukharova, 2008). Те са ситуирани по: а. разломи, пресичащи скалните пластове (фиг. 2а) ; б. литоложките контакти между скали с различни реологични качества (плътност, твърдост, еластичност, пластичност, адхезионн и кохезионни свойства), които са разположени предимно по крилата на антиклиналите и синклиналите (фиг.2б); в. повърхностите на навлаците (фиг. 2в). В много случаи субпаралелно на главната трибологична зона на триене се появяват вторични повърхности на дислокации и триене, които са с по-малки размери (фиг. 3). Най-често това се случва при нееднородност на триещите се скални пластини, когато те имат слоист строеж. Наблюдавани са също случаи на поява на по-слабо развити вторични зони на срязване и при тела с еднороден строеж. Микрозони на срязване и триене се развиват също в кристалната решетка на отделни минерали, подложени на натиск (фиг.3).



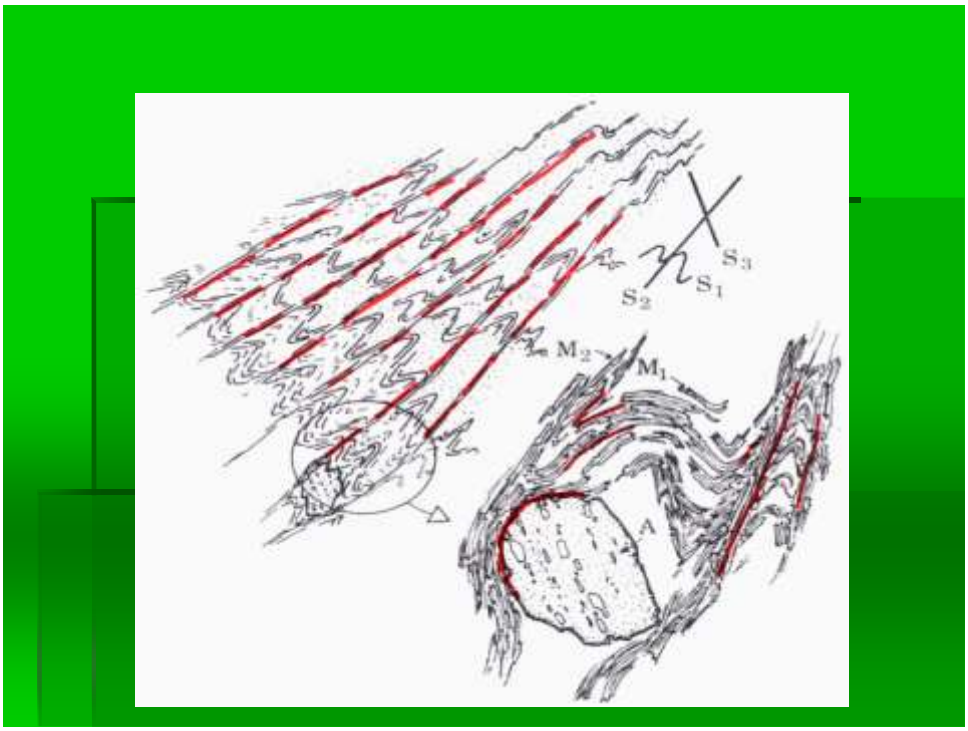
фиг. 2: *Различни зони на срязване*



фиг. 3. *Главни и второстепенни зони на триене*

3. ПРОЦЕСИ В ТРИБОЗОНИТЕ

Процесите на триене в началните моменти на процеса водят до катаклаз и милонитизация на скалите, а в по късен етап до прекристализация на стрития материал. Триенето в трибозоната засяга цялата скала и се проявява като: а. вътрешноламинарно плъзгане между микрослоевете; б. между самите минерали при дезинтеграция на скалата, при което някои от тях се разрушават по-бързо, докато други по-резистентни (като граната например) само се ротират (фиг. 4); в. вътрешни транслации в кристалната решетка на минерали като кварц, калцит, графит. В зоните на триене деформацията на минералите преминава през няколко етапа: поява на дефекти в кристалната решетка, разпадането й на оптически неднородни домени, разрушаване на минерала до молекулярно и атомно ниво, разкъсване на кристалохимичните връзки и електронна дисперсия (Хедба и Чичинадзе, 1989). Сумарният ефект се проявава в значително повишаване на температурата, налягането, химичната активност на компонентите в трибозоната, последван от кристализация на стрития материал (Heinicke, 1984).



фиг. 4. *Интерламинарни зони на триене*

4. ХАРАКТЕРИСТИКА НА ТРИБОМЕТАМОРФНИТЕ СЛЮДЕНИ ШИСТИ

Трибометаморфните слюдени шисти имат ограничено латерално развитие и не заемат място в стратиграфската колонка на кристалинния комплекс, тъй като те се развиват по зони. За разлика от тях седиментно-метаморфните слюдени шисти, свързани със седиментация в общ воден басейн, образуват площни хоризонти с регионални размери достигащи десетки и стотици квадратни километри и заемат определено място в стратиграфската последователност.

Между двата генетични типа шисти съществуват различия и в минералния им състав. Трибометаморфните шисти, които се образуват на място сред еднородни скали, съответстват на химичния състав на изходната скала, т.е. измененията са съществено изохимични, докато слюдените шисти от седиментно-метаморфен произход имат по-разнообразен минерален състав, в който участват различни допълнителни минерали. Характерни примери за седиментно-метаморфните шисти са повечето от биотитовите и двуслюдените шисти, както и богатите на алуминий кианитови шисти, образувани за сметка на изветрителен материал, претърпял незначителен транспорт във воден басейн. Трибометаморфните слюдени шисти, възникнали сред гнайси или гранити са съставени главно от кварц, фелдшпат и бяла слюда (мусковит, серицит, маргарит) до 15-20%, образувана за сметка на разрушените фелдшпати. Тоталният им химичен състав съответства на изходната скала. Често те

съдържат минерали-ндикатори за повишени налягания, като гранат, рутил и бяла слюда с повишено фенгитово съдържание. Понякога при подобни шисти кварцът е с понижено количество, тъй като той „бяга" от зоната на натиск, благодарение на вътрешно-кристални транслации. Подобни случаи са наблюдавани при слюдени шисти от навлачна зона в Тян-Шан, при което вторични вътрешни зоните на най-интензивна деформация и триене са маркирани от ивици на финокристален рутил – минерал с много плътна кристална решетка. Този факт се разглежда като доказателство за проява на късни постпалеогенски алпийски метаморфизъм.

Микроструктурната картина на трибометаморфните шисти също характеризира техния произход. Наблюдават се плътни слоеве от слюди, с дебелина до няколко милиметра, обтичащи микроядра от относително по-запазен гнайсов пакет или по-големи порфирокласти от фелдшпат.

5. СЛЮДЕНИТЕ ШИСТИ КАТО ЛУБРИКАНТИ ПРИ ТЕКТОНСКИТЕ ПРОЦЕСИ

При тектонските процеси зоните на срязване и движение се формират предпочително по съществуващите хоризонти от слюдени шисти, независимо от техния генезис седиментно-метаморфен или трибометаморфен. Планарната структура на слюдите и тяхното ориентирано разположение създава отделни плоскости с гладки повърхности, които благоприятстват плъзгането на скалните слоеве или блокове по тях. Тектонските движения на скалните маси се извършват именно по зони, покрити от слюдени шисти. В такъв смисъл слюдените шисти играят роля на естествени лубриканти.

В Родопския масив са наблюдавани на много места зони на срязване, по които се извършват тектонски движения. В случаите когато зоните са сред твърди скали, трудно подаващи се на разрушаване, каквито са амфиболитите, при триенето температурите се повишават значително до 800-1000^{o}C, а наляганията до 15-20 *kbar* и кристализират характерните за високотермобаричния метаморфизъм еклогити и гранатови лерцолити (Кожухарова, 1980, 1999), които не съдържат слюди и до голяма степен чрез кристализацията те консолидират тектонската зона на срязване. Трибометаморфните слюдени шисти сред гнайси и гранити се образуват при по-ниски температури – 480-500^{o}C и налягания 4-7 *kbar*, но благодарение на високото си съдържание на слюда, те действат като лубриканти.

Трибометаморфни слюдени шисти по зони са установени в Централните и Източни Родопи по стръмно западащите крила на гнайсовите куполи като вторични зони на срязване и триене сред гнайси. Зоните са субпаралелни на границата между издигнатите гнайсови ядра и покриващите ги пъстри свити (фиг. 1). Участието на слюдените шисти

благоприятства потъването на пластовете на пъстрите свити в синклиналните пространства.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- В зоните на срязване и триене (трибозони) скалите се деформират, дезинтегрират и се привръщат в финозърнеста маса;
- Благодарение на повишените температура и налягане в трибозоните стритият материал прекристализира в нова трибометаморфна скала;
- В случаите когато трибозоните се формират сред гранити или гнайси, скали с преобладаващ кварц-фелдшпатов състав, трибометаморфитите са мусковитови слюдени шисти;
-Слюдените шисти, покриващи отделни плоскости играят роля на естествени лубриканти и благоприятстват плъзгането на скалните тела при тектонските движения.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Хедба, М., Чичинадзе, А. В. (Ед.) 1989.Справочник по триботехнике, I Теоретические основи – Москва, Машиностроение; 397 с.

[2] Heinicke, G. 1984. Tribochemistry. - Academie-Verlag, Berlin. 350 p.

[3] Kozhoukharova, E. 1980. Eclogites in the Precambrian from the Eastern Rhodope block. - C*omp .Rend.Acad. bulg. Sci., 33*, 3; 375-378.

[4] Kozhoukharova, E. 1999. Gr-lherzolites into narrow shear zones of serpentinites from Rhodope massif, Bulgaria. - *Ofioliti*, 24, 121-122.

[5] Kozhoukharova, E. 2008. Application of tribo-principles in geology. An example for thribochenical genesis of eclogites - 6th intern. conference on tribology Balkantrib ’08, Sozopol, Bulgaria; 2008.

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ПРОУЧВАНЕ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕТО МЕЖДУ СТРУКТУРАТА, ФОРМАТА И ЦВЕТА В СЪВРЕМЕННИЯ ДИЗАЙН НА ДАМСКО ОБЛЕКЛО

Пенка Димитрова

Технически университет-София

AN EXAMINATION OF THE INTERACTION BETWEEN STRUCTURE, SHAPE AND COLOR IN CONTEMPORARY WOMEN'S WEAR DESIGN

Penka Dimitrova

Technical University of Sofia, Bulgaria

Abstract: *The article observes the geometric style and its constructive methods used in clothing. The author study some structural clothing features and shape movements depending on the composition construction. Examine are geometric styles trough different periods of fashion development. Furthermore, a famous designer's work is being studied. Spread examples are given showing ways of sculpted shapes with guidance movement. Shown are methods of slashing, twisting and spinning used in assortment of geometric and plastice structures.*

ВЪВЕДЕНИЕ

В процеса на художественото проектиране формата заема едно от главните места. Цветът и фактурата на материалите се изменят по-бързо от формата.

Красотата на формата се определя от нейната цялостност и организираност. Принципите и организацията на формата се раждат в резултат на дълъг социален подбор. В класическите форми е намерено равновесието между естетическата и утилитарната функция.

Изделията външно се характеризират като пространствена структура, която отделя формата от външната среда. Тя бива елементарна и базова.

Под елементарна форма се разбира единично явление, което не е елемент от серийни изделия. Базовата форма е заложена в серийните изделия и за нея са присъщи:

1. Наличие на определена структура, която отразява научно-техническото и естетическо ниво на дадено общество;
2. Относителна устойчивост на основните детайли в определено време;
3. Хармонична връзка и цялост, единство и стабилност на съставящите я елементи;
4. Създаване на определен пластичен образ;
5. Единство на основата на геометричната форма.

Процесът на развитие на формата е динамичен – изразява психологичните и емоционалните й напрежения. В процеса на формообразуване базовата форма на костюма се движи – изменя своя ритъм, детайли и елементи. Ето защо, за да се определи границата на базовата форма, трябва да се отдели нейната структура. В структурата на изделията се отделят контурите на външната форма като се прави съпоставяне на контура с вътрешното разделяне на формата.

За да се построи структурата на дадено изделие, трябва да се намерят най-типичните линии за дадена форма и те да се сведат до най-прост геометричен вид. Елементите на структурата се променят под влияние на измененията, които настъпват в самата структура. В някои изделия някои елементи са подвижни, а други – устойчиви. *Подвижните* елементи са малките формообразуващи единици, които осигуряват композиционното разнообразие на структурата. Към тях се отнасят структурно-декоративните линии, отделните детайли, формата, цветът и фактурата. Тези елементи са първични и действието им е ограничено в кратък интервал от време. *Стабилните* елементи са най-голямата основна единица в структурата на изделията, поради което тя реално се определя от тях. Както подвижните, така и неподвижните елементи не съществуват самостоятелно. Те постепенно взаимодействат и образуват нови връзки и комбинации, които определят композиционния характер на изделията.

И така при утвърждаване на новата обемно-пространствена форма, отделните групи подвижни елементи се повталят, а при нейното отричане те се разрушават.

Голямото разнообразие на форми в изделията се постига чрез съчетаване на неговите първични елементи, към които се отнасят:

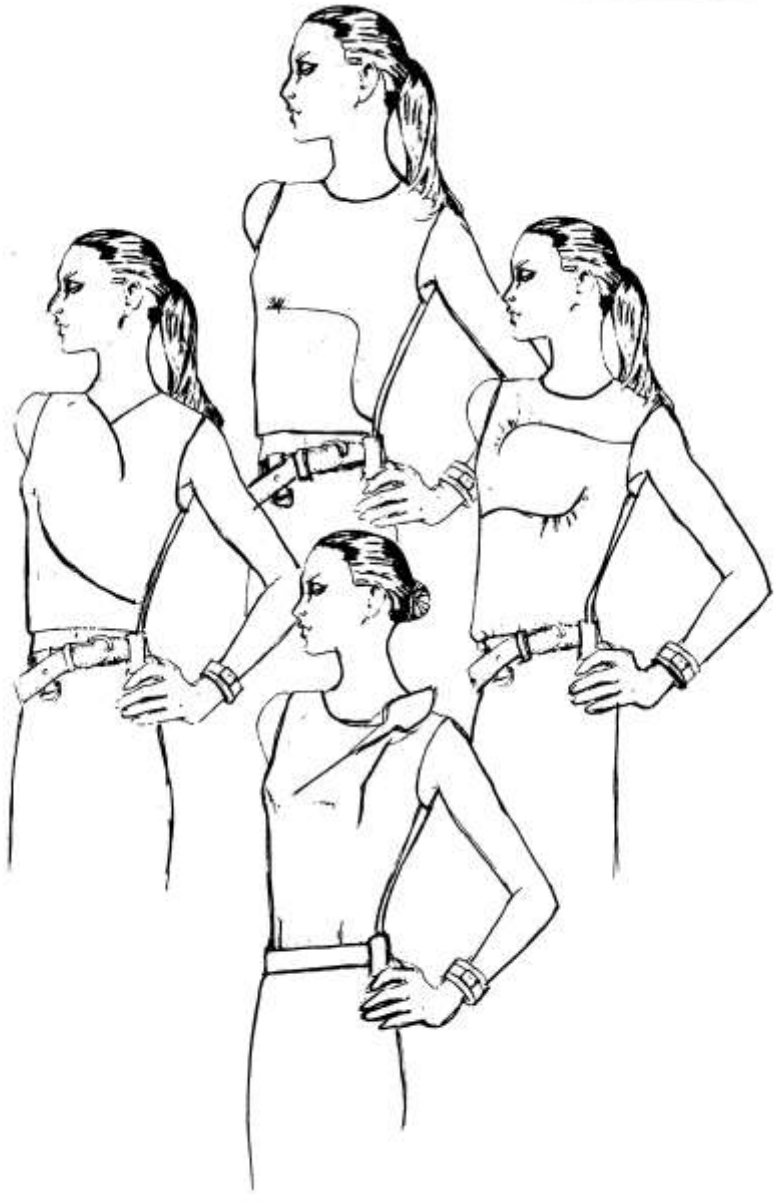
* геометричен вид на формата като цяло и нейните части;
* маса на формата като цяло и нейните части;
* вид и структура на материала, от който е изработено облаклото;
* цвят и цветово оформление.

Дизайнът на облеклото е от особено значение за качеството, което се определя от създаването на функционални възли, съвърени конструкции, съвременни технологии и нови текстилни материали.

Направен е анализ на структурата на дамски облекла , на устойчивата организация на формите в зависимост от съдържанието, както на градивните елементи и взаимодействието на свойствата между тях.

Проследено е получаването на многообразни системи модели чрез подчертана пластична идея на основната базова конструкция и на формообразуващите детайли.

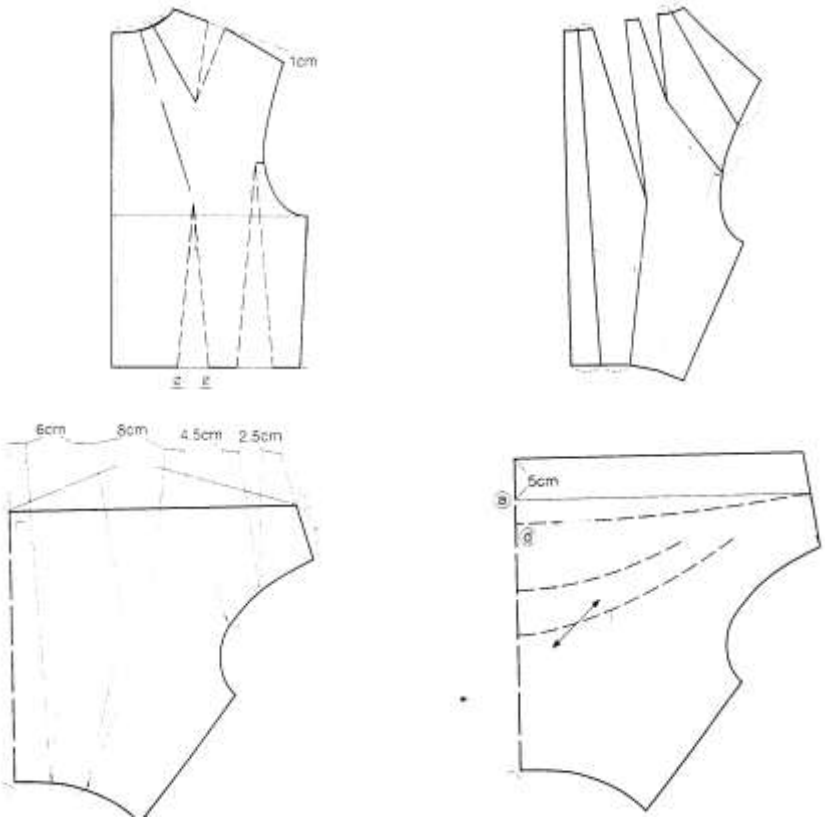
На фиг. 1 се проследява различно оформление на корсажа. Създава се определен пластичен образ в дамското облекло чрез различни срязвания и конструктивни детайли.



фиг. 1: *Различно оформление на корсажа*

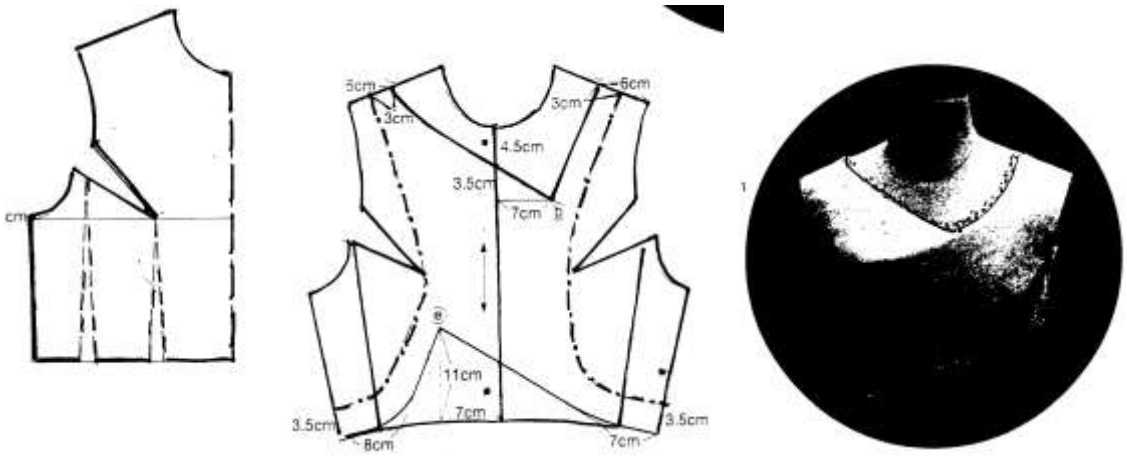
Естетическите качества са определени от извитите линии на основния корсаж, които определят методите за конструиране и постигане на обемно-пространствената форма.

Композиционният център е съсредоточен на динамичните извити линии при един класически прекалено спокоен и следващ тялото класически силует.





фиг. 2а



фиг. 2б

Основният силует следва естествените пропорции на женското тяло. Обемно-пространствената категория е подчертана чрез тектониката. Тектониката в облеклото е едно от най-важните формообразуващи средства и е връзката на материално-конструктивната природа с художествената форма. Тя е зримото отразяване на конструкцията и материала във формата. Тя представлява взаимовръзката между конструкцията и формата, изразени от конкретен материал. Тектониката осигурява вярно изграждане на конструкцията в зависимост от пластичните свойства и фактурата на материалите, обединява елементите в цялото.

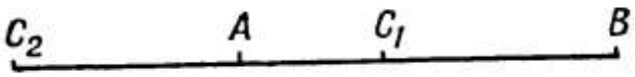
Тектоничните закономерности се проявяват в естетически осмислена взаимовръзка между материала и формата, между разчленяването на конструкцията и пропорциониране.

За търсене на разнообразни форми се използват принципите на макетиране на макети, организиращи плата до постигане на желаната форма и обем в зависимост от пластиката на материала (фиг.2 а,б).

Много често в една конструкция се използват различни видове материали, които се комбинират в една обща пространствена форма. Това може да бъде ритъм и съзвучие, както от различни пластични материали, така и от различни цветови решения.

Необходимо условие за постигане на хармоничност при художественото решение в облеклото е наличието на пропорционалност.

Пропорциите в значителна степен определят цялостната композиционна структура. Композиционната структура в дамското облекло може да бъде разпределена в хармоничните пропорции на “златното сечение” – фиг. 3.



фиг. 3

Да разделим отсечката AB на две части, така че голямата й част се явява средно пропорционално отношение между малката и целия отрязък.

Ако обозначим търсената дължина на голямата част с x, то дължината на малката част ще бъде равна на $1-x$ и може да се изрази пропорцията:

$$\frac{1}{x}=\frac{x}{1-x}$$

или

$$x^2=1-x.$$

Положителният корен на полученото квадратно уравнение има стойност:

$$\frac{-1+\sqrt{5}}{2}$$

така че отношенията в пропорцията са равни на:

$$\frac{1}{x}=\frac{2}{-1+\sqrt{5}}=\frac{2\left(1+\sqrt{5}\right)}{\left(-1+\sqrt{5}\right)\left(1+\sqrt{5}\right)}=\frac{1+\sqrt{5}}{2}=\alpha$$

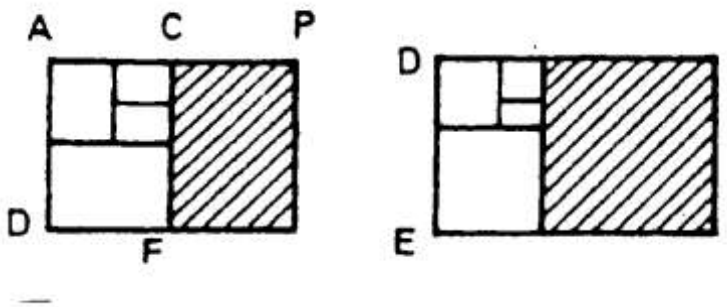
Делението в т. C се нарича „златно сечение”.

Ако се вземе отрицателен корен на уравнението, то делящата точка C_2 се оказва вън от делението АВ и се нарича „външно деление” в геометрията. Съотношението на златното сечение се представя във вида:

$$\frac{C_2B}{AB}=\frac{AB}{C_2A}=\alpha.$$

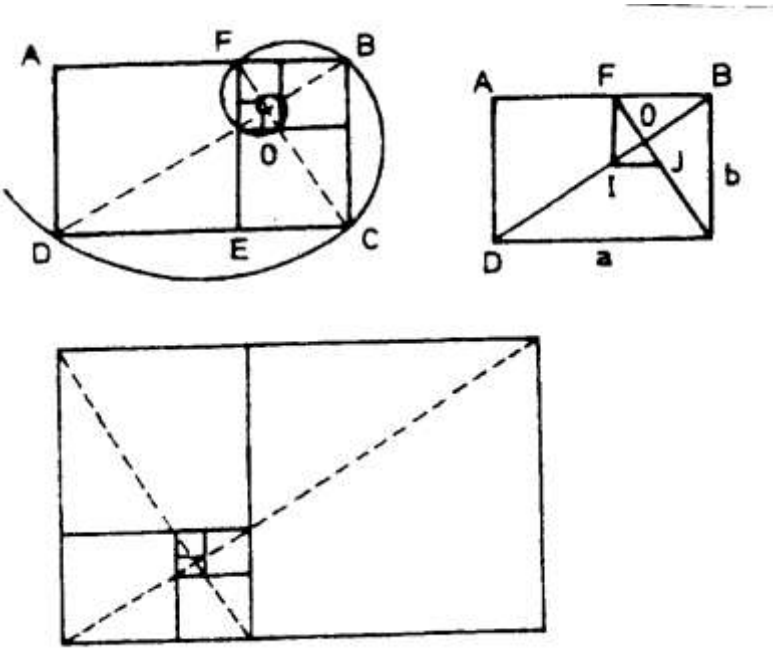
В правоъгълния силует на дамското облекло в структурата могат да бъдат използвани динамични правоъгълници с модул $\sqrt{5}$ и модул Φ, тясно свързани помежду си

$$\Phi=\left(\frac{\sqrt{5}+1}{2}\right)$$

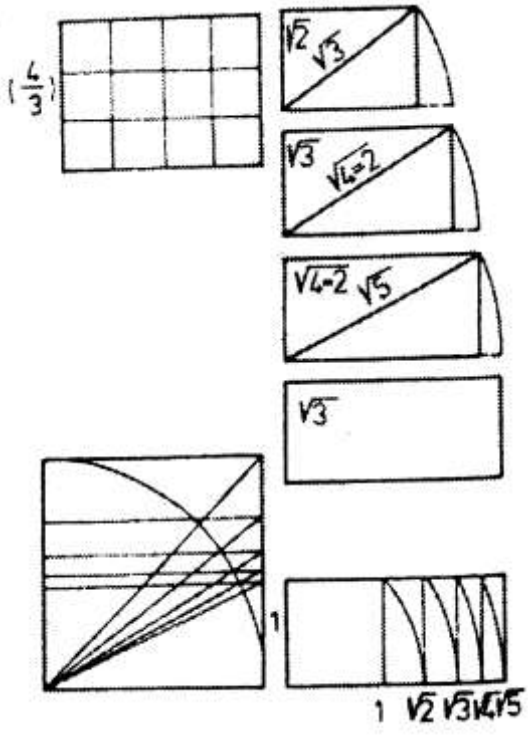


фиг. 4

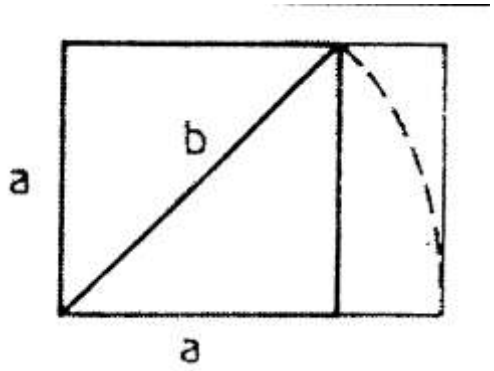
Съществува прост начин за хармонични разположение върху площта на динамичния правоъгълник, съставен от квадрат и правоъгълник. Разположението на правоъгълниците на фиг. 5 съответства на вписаните с модули $\sqrt{2}\Phi$ и $\sqrt{5}$, получени от простите варианти на това построение.



фиг. 5а

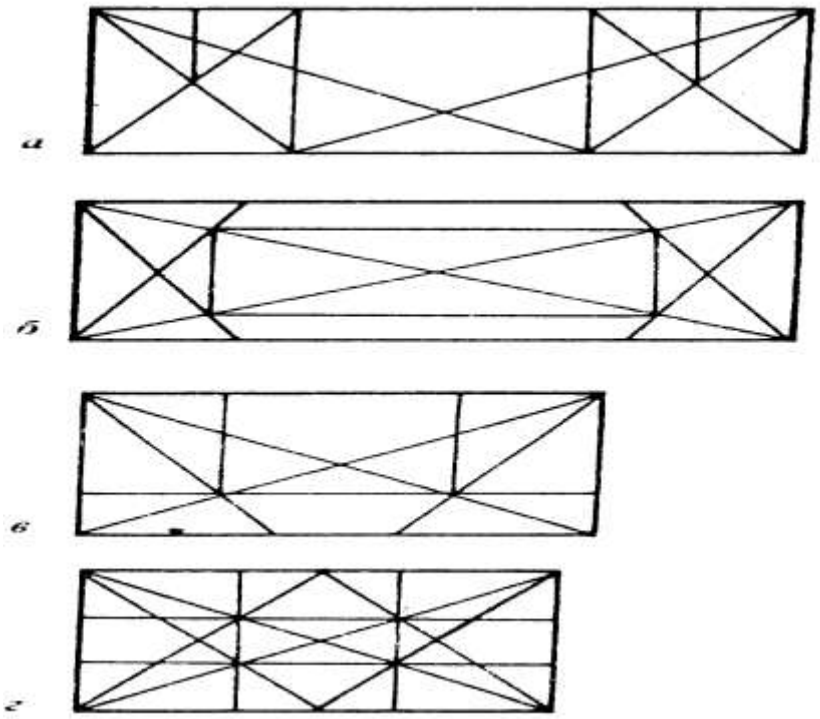


фиг. 5 б: *статични правоъгълници*



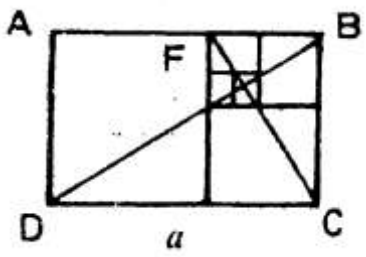
фиг. 6: *статични правоъгълници*

На фиг. 5б и фиг. 6 са изобразени статични правоъгълници $(3/2;4/3)$, а на фиг. 7 – динамични правоъгълници с модули $\sqrt{2},\sqrt{3}$ и $\sqrt{5}$.

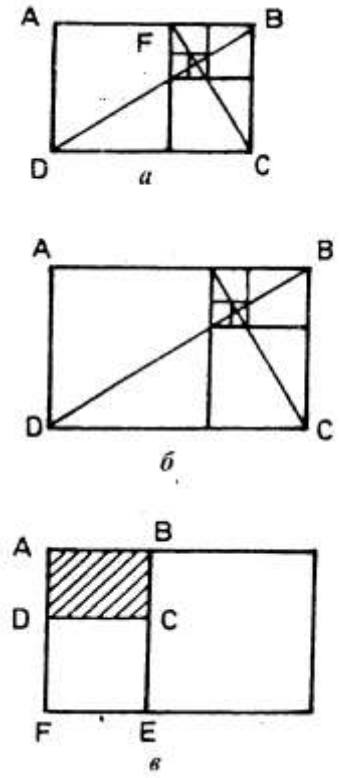


фиг. 7: *Динамични правоъгълници с модули* $\sqrt{2},\sqrt{3}$ *и* $\sqrt{5}$.

На фиг. 8 е представен правоъгълник, получен от подобни правоъгълници чрез деление на едни и същи числа. Правоъгълник, в който са вписани подобни квадрати, е представен на фиг. 9.



фиг. 8: *Правоъгълник, получен от подобни правоъгълници чрез деление на едни и същи числа*



фиг. 9: *Правоъгълник с вписани подобни квадрати*

При промишленото проектиране на облеклото значителни трудности възникват от необходимостта дизайнерът да се съобразява с човешкото тяло, неговите пропорции и удобството при движение.

При създаване на пропорциите на облеклото голямо значение има коя част от тялото ще бъде приета за модулна единица.

В своята последователност пропорционалното разделяне зависи от представите за красота през различните епохи. Взаимодействието между основните елементи в облеклото и отделните части се осъществява въз основа на тъждеството (равенството), нюанса (сходството) и контрастните отношения.

Тъждество има, когато размерите са еднакви. Например на фиг.10 корсажът и полата са еднакви по размер.

Когато облеклото повтаря естествените пропорции на човешкото тяло и размерите на отделните части съответстват на пропорциите на облеклото, елементите на формата са ***подобни***. Подобни елементи се забелязват в народния костюм.

Когато елементите на формата са близки по очертания и по обем до съответните части на фигурите, но нямат точно повторение на пропорциите на човешкото тяло, тези отношения са ***сходни***.



фиг. 10

Контрастните отношения се наричат тези, при които еднородните елементи на формата силно се отличават по размер и се противопоставят по форма един на друг.

Елементите взаимодействат на принципа на контраста, нюанса и подчинението.



фиг. 11

Контрастът е един от основните принципи за изграждане на формата на костюма. Той внася разнообразие и динамика в композицията. Представлява противопоставяне на високото с ниското, на тежкото с лекото, на изящното с монументалното, на кръглата с правоъгълната форма и т.н.

Контрастите могат да бъдат между:

- *линии* (прави и криви, тънки и дебели, вертикални и хоризонтални);
- *цветове* (топли и студени, наситени и ненаситени);
- *тонове* (светли и тъмни);
- *различни форми* (малки и големи, овални и правоъгълни, с правилна и неправилна форма и др.) – фиг. 11.

Всички те се намират във взаимна връзка и могат да участват в една или друга комбинация в композицията на костюма. Ролята на контраста във формата е различна. В едни случаи той разкрива конструктивната основа, а в други е средства за организиране на нейната структура.

Принципи на подобие се наблюдават в случаите, когато в основната структура е взет един геометричен обем (форма), който се развива и повтаря в различни варианти – фиг. 11.

Контарстът и подобието определят основната структура на формата като същевременно предизвикват необходимост от допълнения на по-меки „живописни" ефекти.

Нюансът е преходно състояние между подобието и контраста, което създава допълнително връзки и взаимодействия между елементите и спомага за хармоничното изграждане на структурата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Димитрова П. А., Дизайн на облекло, София, ТУ-София, 1999, с. 330

[2] Димитрова П. А., Дизайн на текстил и облекло, София, Техника, 2000, с. 167.

[3] Силует <http://www.siluet.ru>

[4]Dior<http://fasion.dior.com>

Tribological Journal BULTRIB, Papers from Conference **BULTRIB '11**, October 28th, 2011, Sofia
Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

СЕДМА МЕЖДУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ТРИБОЛОГИЯ "БАЛКАНТРИБ'2011" В СОЛУН, ГЪРЦИЯ

Емилия Асенова,
Общество на триболозите в България, emiass@abv.bg

SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRIBOLOGY "BALKANTRIB'2011" – THESSALONIKI, GREECE

Emilia Assenova
Society of Bulgarian Tribologists, emiass@abv.bg

Международният октомврийски научен фестивал "Инженерно производство и трибология" се проведе в Солун от 3 до 5 октомври 2011 г. Конференцията «БАЛКАНТИБ'11» беше една от трите конференции на фестивала.

1. Резюме на фестивала

Конференцията "А" Coatings (Покрития на повърхнините) е резултат от общите усилия на четири академични институции: Лабораторията за машини и инженерно производство (ΕΕΔΜ) на Аристотелевия университет в Солун, Института за инженерно производство и машини (IFW) към Университета в Хановер, Лабораторията за производствени технологии (LFT), Университета в Ерланген – Нюремберг, Института по инженерни повърхнини (IOT) и Университета в Аахен с цел да създадат международен форум за приложение на повърхностните покрития в производствените техники, като се обхващат и бъдещите насоки в изследванията на повърхнините.

"А" Coatings се редуват в Гърция и Германия, като тази година се проведе деветата по ред конференция.

ICMEN, Международната конференция по инженерно производство беше създадена през време на гръцкото председателство на EUREKA

2001- 2002 (www.eureka.be), обединявайки синергийно научните изследователи и инженерите, които трябва да отговорят бързо на нарасналите изисквания на промишлените приложения.

Втората (1996 г.) и седмата (3-5 октомври 2011) конференции „**BALKANTRIB"** бяха проведени в Солун, Гърция.

Конференциите „**BALKANTRIB"** са изява на дейността на Балканската трибологична асоциация (БТА), организират се на всеки 3 години в различни балкански страни. БТА бе учередена през 1993 г. в София, където се проведе и първата конференция „BALKANTRIB'93". Тези конференции стимулират сътрудничеството между балканските и други страни в развитието на научните и приложни области на трибологията.

Международният октомврийски научен фестивал събра 250 участници от различни страни, които представиха в трите конферентни зали на хотел „Makedonia Palace" последните постижения в своите научни области.

2. Събрание на балканската трибологична асоциация

Събранието на БТА се проведе в зала „Amphitryon" на „Makedonia Palace" на 5 октомври 2011 под председателството на проф. К.-Д. Бузакис в присъствието на следните членове на БТА: A. Michailidis, S. Mitsi, I. Tsiafis (Гърция), Slobodan Mitrovic, Branko Skoric, Aleksandar Vencl (Сърбия), H. Cimenoglu, M.B. Karamis, C. Sinanoglu (Турция), N. N. Andonescu, A. Tudor (Румъния), N. Manolov, M. Kandeva, E. Assenova, S. Ivanov, M. Manolova-Daneva (България).

Събранието почете паметта на починалите членове на БТА проф. Георгиус Петрополус, Гърция и проф. Еманоел Дяконеску, Румъния.

Мандатът на председателството на БТА беше предаден за следващите три години от българската страна на Гърция. За публикуването на окончателния вариант на общия доклад за изминалия мандат е необходимо да се съберат всички отчети на страните-членки. Обсъден беше актуализираният статус на БТА, предложен от българската страна. До този момент 6 страни са членки на БТА - България, Гърция, Македония (FYROM), Румъния, Сърбия и Турция. Трябва да се изпратят покани за членство до други страни като: Албания, Босна и Херцеговина, Хърватска, Кипър, Русия, Словения. Всяка страна от сегашните членки на БТА трябва да потърси контакти с потенциалните нови членки. Проф. Бузакис трябва да получи тази информация и да изпрати писма-покани за членство.

Информация за списанието **Journal of The Balkan Tribological Association:** Импакт-факторът на списанието е 0,182 (2011 г.), като е нараснал от 0,101 през 2008 г., благодарение на високото ниво на публикуваните статии. Предложи се да се увеличи броят на публикуваните

статии, което би довело до увеличаване на импакт-фактора. 60% от статиите са от балканските страни, а останалите 40% - от други страни. Публикувани са работи от 47 различни страни, като повечето са в областта на трибохимията. Препоръча се да се увеличи броят на статии от други области, като трибомеханика, технология на повърхнините, биотрибология и др. Турция препоръча статиите да бъдат рецензирани по-строго, за да се повиши още повече качеството на списанието и импакт-факторът. Очерта се идеята за промоция на списанието чрез интернет, като се създаде уеб страница с възможности за изпращане на статиите чрез мрежата. Проф. С. Митрович изрази желание да създаде първата версия на уеб страницата на БТА.

Обсъдени бяха и финансови въпроси на списанието.

По въпроса за **Международната школа по трибология и статута на БТА** проф. Манолов и доц. Кандева изясниха целите на планираната школа и промените в статута, както беше обсъдено и решено на предишното събрание на БТА в Созопол, България, през септември 2010 г.

Тъй като по мнението на участниците в събранието не всички страни бяха обсъждали тези въпроси предварително, беше предложено обсъждането и решаването им да продължат на следващото събрание на БТА. Българската делегация настояваше да се вземат конкретни решения за работата на Международната школа по трибология на текущото събрание. Много от участниците, обаче, не бяха подготвени за вземане на решение и въпросът се отложи.

България предаде мандата на председателството на БТА на гръцката страна за следващите 3 години. За периода 2011-2014 г. председателството се поема от проф. К.-Д. Бузакис, а заместник-председател ще бъде проф. А. Михайлидис, двамата от Аристотелевия университет в Солун. Решено беше всички въпроси, свързани с БТА, да бъдат отнасяни до новия председател, проф. К.-Д. Бузакис.

Реши се следващата конференция „БАЛКАНТРИБ'14” да бъде в Румъния.

Следващото събрание на Управителния съвет на БТА ще бъде организирано през 2012 г. от Лабораторията за машини и инженерно производство (ЕЕДМ) на Аристотелевия университет в Солун.

Трибологичен журнал БУЛТРИБ

Година 2, брой 02 (02), 2012

Доклади от 8-ма национална конференция по Трибология с международно участие БУЛТРИБ'11, 28 октомври 2011, София

Съставил: доц. д-р инж. М. Кандева, Общество на триболозите в България
Издателство ТУ-София
София 2012

ISSN: 1313-9878

Tibological journal BULTRIB

Volume II, Number 02 (02) 2012

Papers from the 8th National Conference with International Participation

BULTRIB'11, October 28th, 2011, Sofia

Compiled by: Assoc. Prof. Dr. Eng Mara Kandeva, Society of Bulgarian Tribologists
Published by: Publ. House Technical University - Sofia

ISSN: 1313-9878