



ОБЩЕСТВО НА ТРИБОЛОЗИТЕ В БЪЛГАРИЯ

SOCIETY OF BULGARIAN TRIBOLOGISTS

ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA



ТРИБОЛОГИЧЕН ЖУРНАЛ БУЛТРИБ

Доклади от 9-та Международна конференция

БУЛТРИБ '12

Научен отчет по проект CEEPUS III-BG-0703-01-1213

**”Modern Trends in Education and Research on Mechanical Systems - Bridging
Reliability, Quality and Tribology”**

TRIBOLOGICAL JOURNAL BULTRIB

Papers from the 9th International Conference

BULTRIB '12

Scientific Report on the Project CEEPUS III-BG-0703-01-1213

***”Modern Trends in Education and Research on Mechanical Systems - Bridging Reliability,
Quality and Tribology”***

**18-20 октомври 2012, София
*October 18-20th, 2012, Sofia***

**Година III, 2013
*Volume III, 2013***

Трибологичният журнал БУЛТРИБ се издава със средствата на проект, финансиран от субсидията за „Дни на науката на ТУ - София – 2012”.

Tribological journal BULTRIB is published by the resources of a project funded by the grant for "Days of Science of TU - Sofia - 2012."

Трибологичен журнал БУЛТРИБ

Доклади от 9-та Международна конференция по Трибология BULTRIB '12,
18-20 октомври, 2012, София,
посветена на 80 годишния юбилей на проф. д-н Нягол Манолов

Tribological Journal BULTRIB

*Papers from the 9th International Conference BULTRIB '12
October 18-20th, 2012, Sofia
Dedicated to the 80th anniversary of Prof. DSc. Nyagol Manolov*

Издателство ТУ-София
София 2013

Publ. House TU - Sofia
Sofia 2013

ISSN: 1313-9878

Том III, 2013

ТРИБОЛОГИЧЕН ЖУРНАЛ БУЛТРИБ

Списание на Общество на триболозите в България

www.bultrib.com

Vol. 3, 2013

TRIBOLOGICAL JOURNAL BULTRIB

Journal of the Society of Bulgarian Tribologists

Editor in Chief:

Mara Kandeва, Technical University - Sofia

Associate Editors:

Emilia Assenova, Interdisciplinary Civic Academy, Sofia

Juliana Javorova, University of Chemical Technology and Metallurgy - Sofia

Editorial Board:

Vyara Pozhidaeva, *University of Mining and Geology „St Ivan Rilsky” - Sofia*

Georgi Mishev, *Technical University – Sofia, Branch Plovdiv*

Ivan Kralov, *Technical University – Sofia*

Anna Andonova, *Technical University – Sofia*

Nikolay Nikolov, *Technical University – Sofia*

Kiril Stanulov, *University of Chemical Technology and Metallurgy - Sofia*

Georgi Cholakov, *University of Chemical Technology and Metallurgy - Sofia*

Ivan Mitov, *Institute of Catalysis, Bulgarian Academy of Sciences*

Manahil Tongov, *Technical University – Sofia*

Nikolay Tonchev, *Higher Technical Education School „T. Kableshkov” - Sofia*

Dimitar Karastoyanov, *Institute of Information and Communication Technologies – Bulgarian Academy of Sciences*

Cover design:

Petar Hristov, *Interdisciplinary Civic Academy, Sofia*

Agop Erdeklyan, *Interdisciplinary Civic Academy, Sofia*



CONTENTS

Kandeva Mara , <i>President of Society of Bulgarian Tribologists</i> Opening Speech	9
Jost H. P. , <i>President of International Tribology Council, UK</i> Greeting Address To Bultrib'12, CEEPUS Workshop And The Anniversary Of Prof. N. Manolov	11
Bouzakis K.-D. , <i>President of Balkan Tribological Association, Greece</i> Greeting Address For The 80 th Anniversary Of Prof. N. Manolov	12
Hristov M. , <i>Rector of Technical University of Sofia</i> , Greeting Address For The 80 th Anniversary Of Prof. N. Manolov	13
Kralov I. , <i>Vice-Rector for Research and Development of TU- Sofia</i> Greeting Address For The 80 th Anniversary Of Prof. N. Manolov	14
Mihovski M. , The 80 th Anniversary Of Prof. N. Manolov	15
Pytko S., Pytko P. , The Cooling-Lubricating Liquid with Cu Complexes for Steels Machining	17
Voinov K. , How To Diminish The Wear For Chains Which Are Tight On The Sprockets	26
Voinov K. , New Organic Lubricant	31
Voinov K. , Methodology And Fragment Of Long Duration Saving In Memory The Basic Statutes Of The Disciplines Which Are Taught	36
Grad D., Tudor A., Dragan V. , An Erosive Wear Model For Aerospace Applications	41
Petrescu D., Antonescu N. N. , Abrasive Wear Behavior Of Laser Clad And Flame Sprayed-Melted NiCr-BSi Coating	48
Javorova J. , Conceptual Aspects Of The CEEPUS Project "Modern Trends In Education And Research On Mechanical Systems - Bridging Reliability, Quality And Tribology"	60
Radovanovic M. , Cost Optimization Of Abrasive Water Jet Cutting	70
Radovanovic M. , Optimizing Cutting Parameters Based On Specific Cutting Energy In Turning Using Taguchi Method	76

Capitanu L., Mirescu R., Florescu V., Badita L., Mihailescu I., Bursuc D., The Failure Uncemented HIP Replacements From Fracture Stem Prosthesis	83
Capitanu L., Mirescu R., Badita L., Florescu V., Duta L., Mihailescu I., A Possible New Thin Coating Solution For Scratch Resistance Improvement Of Femoral Head Of Total HIP Prosthesis	98
Mirescu R., Capitanu L., The Stick-Slip Phenomenon Revisited	109
Sovilj-Nikić I., Sovilj B., Samardžić I., Sovilj-Nikić S., Gajić V., Influence Of Hob Milling Tools Wear Criterion On Machining Of Gear Teeth	118
Ripeanu R., Metea V., Pupazescu A., Studies Regarding Soil Induced Stresses In Buried Steel Gas Pipes	123
Tsiafis I., Mitsi S., Bouzakis K.-D., Mamouri P., Dynamic Analysis Of A CAM Mechanism With Translating Flat Face Follower	130
Mitsi S., Bouzakis K.-D., Misopolinos L., Mansour G., Stiffness Investigation Of An Orthoglide Parallel Mechanism Integrated Into A CNC Milling Machine	136
Mitrovic Sl., Miloradovic N., Babic M., Bobic I., Stojanovic B., Dzunic D., Wear Behaviour Of Hybrid ZA27/SiC/Graphite Composites Under Dry Sliding Conditions	142
Babic M., Stojanovic B., Mitrovic Sl., Bobic I., Miloradovic N., Pantic M., Influence Of Lubricant On The Coefficient Of Friction Change Of Hybrid AL- SiC-GR Composites	148
Mitrovic S., Babic M., Adamovic D., Zivic F., Dzunic D., Pantic M., Wear And Friction Properties Of Shot Peened Surfaces Of 36NiCrMo And 36NCD16T Alloyed Steels Under Dry And Lubricated Contact Conditions	155
Alaci S., Filote C., Ciornei F., Romanu I., Amarandei V., Some Remarks Upon Experimental Finding Of Coefficient Of Restitution	170
Dumitrescu C., Cristescu C., Experimental Measuring Of The Friction Forces In The Pistons Seals Of The Hydraulic Cylinders	176
Velimirovic M., Djokic V., This System Is "MULTIRED" Wear And Module Porocesa Involute Tothing	182
Doni Z., Buciumeanu M., Palaghian L., Tribochemical Characterization Of Ti6Al4V Alloy Under Reciprocating Sliding Conditions	191
Polzer G., Assenova E., Tsermaa, Copper Frictional Coatings Under Conditions Of Selective Transfer	197
Cherkezova-Zheleva Z., Zaharieva K., Kunev B., Mitov I., Krstić J., Impact Of Mechanochemistry In Ferrite Catalyst Preparation	203
Kostova N., Fabian M., Zorkovska A., Kunev B., Shopska M., Balaz P., Preparation Of ZnO-TiO ₂ Mixed Oxides Systems By Mechanical Activation	208

Koleva K., Velinov N., Kunev B., Mitov I., Mechanochemical Synthesis And Characterization Of ZnFe ₂ O ₄	212
Kandeva M., Blaskov V., Stambolova I., Kostova N., Vasilev S., Tribological Properties Of Sprayed TiO ₂ Coatings Deposited On Al Substrate	216
Borovanska I., Tsekov Y., Angelov V., Ivanov E., Kotsilkova R., Djoumaliisky S., Tribological Measurements Of Polypropylene Nanocomposites By Scratch And Friction Tests	226
Michev G., Friction In Mechanical Systems With Rectilinear Motion	236
Javorova J., Radulescu A., Lovchalieva R., Nikolov N., Kostova P., HD Lubrication Of Journal Bearings By Pseudo-Plastic Lubricants	248
Dishliev S., Research Of The Tribological Characteristics Of The Coatings Over 100CR6 Steel	253
Andonova A., Thermography Application In Research Of Tribological Processes	259
Kandeva M., Karastoyanov D., Vencel A., Erosion Wear Of Nickel Coatings With Nano-Size Particles Of Silicon Carbide	264
Milusheva P., Nikolov N., Ivanov N., Dechev D., Receipt Of NI-CR Coatings On Polymer Substrates By DC Magnetron Sputtering	272
Peniashki T., Study Of The Wear Of Cutting Tools With Electro-Sparking Coatings From High Energy Source With Uninterrupted Cutting	276
Peniashki T., Suggested Areas Of Use And Efficiency Elektrosparking Lamination Of Its Application	284
Kaleicheva J., Influence Of CBN Nanosized Additives On The Ductile Cast Iron Microstructure And Wear Resistance	296
Kaleicheva J., Mechanical And Tribological Properties Of Ductile Cast Iron Strengthened With Nanosized Additives	302
Kaleicheva J., Kandeva M., Mishev V., Karaguiozova Z., Wear Resistance Of Austempered Ductile Iron With Nanosized Additives	310
Karaguiozova Z., Investigation On Surface Fatigue Life Of Coated Gears	316
Kandeva M., Study Of Friction In Contact Systems With Distributed Parameters	321
Klitcheva G., Abrasive Wear In Dry Friction Of Corrosion-Resistant Steels	327
Kostevska, Tz., Tribology: A Brief Historical Overview, Part I	333
Karakostopulo O., Monitoring Of Technology Processes With CAQ-QMSYS-Process Capability Index And Ratio	338

Karakostopulo O. , Monitoring Of Technology Processes With CAQ-QMSYS - Control Charts	343
Grozdanova T. , Influence Of Environment For Tribofilms Formation In Friction Between Metals	351
Tongov M., Simeonova T. , Study Of The Wear-Resistance Of Layers, Obtained By Plasma Melting	351
Miteva A. , On The Microstructure And Strengthening Of Aluminium And Aluminium Alloys	367
Miteva A. , Microstructure And Tribology Of Nickel And Nickel Alloys	371
Kozhoukharova E. , Tribometamorphism Of Deformed Rocks And Origin Of Eclogites In The Rhodope Massif	376
Vladimirova G. , Contact Approach When Examining The Relationship Between The Colors And The Corporate Design	381
Vladimirova G. , Contact Approach When Examining The Relationship Between The Colors And The Food Products	385
Dimitrova R., Nedelchev A. , 3D Simulation Of Stress-Strain State Of T-Joint Welding Processs By CAD/CAE Software SYSWELD	390
Mihaylov A. , Comparative Analysis Between Spheroidization Evaluations Standards Of 12CrMoV Steel Used In Power Plant	397
Mihaylov A., Tabakova B. , Investigation Of The State Of The Metal And The Causes For Destruction Of Damaged Pipes Of Steam Heaters	403
Tabakova B., Mihaylov A. , Importance Of The Microstructure Of Seamless Steel Tubes P235GH In Delivery Condition And The Conformity Assessment According To EN 10216-2	408



STUDY OF THE WEAR-RESISTANCE OF LAYERS, OBTAINED BY PLASMA MELTING

Manahil TONGOV, Tatiana SIMEONOVA

Abstract: *The report is devoted to the study of the microstructure and wear properties of layers obtained by applying a mixture of powder and a binder on a sample and subsequent scanning of the working surface with plasma transferred arc to melt lead paint and partial melting of the substrate. The preparation technology of samples prior to scanning and abrasive wear testing is described. The microstructure and abrasive wear behavior of the layers is analyzed and the resistance against abrasive wear is determined.*

Key words: *layers, plasma, microstructure, abrasive wear*

ИЗСЛЕДВАНЕ ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТТА НА СЛОЕВЕ, ПОЛУЧЕНИ ЧРЕЗ ПЛАЗМЕНО ПРЕТОПЯВАНЕ

Манахил ТОНГОВ, Татяна СИМЕОНОВА

Резюме: *Докладът разглежда микроструктурата и износоустойчивостта на слоеве, получени чрез нанасяне на смес от прахообразен материал и свързващо вещество върху образци и последващото им сканиране с плазмена дъга. Описана е подготовка на образците за нанасяне на покритието и изследване на степента на износване. Анализирани са получената микроструктура на слоя и са направени изпитвания за определяне на износоустойчивостта срещу абразивно триене.*

Ключови думи: *слоеве, плазма, микроструктура, абразивно износване*

1. УВОД

През последното десетилетие се е наложила тенденцията за все по-често използване на плазмените технологии и процеси както за възстановяване на износени детайли, с цел да се удължи експлоатационния им живот, така и при производството на нови. По този начин детайлите могат да се изработят от по-евтин материал, а повърхностните характеристики да се подобрят чрез нанасяне на слоеве с необходимите специални свойства (твърдост, износоустойчивост, корозионна устойчивост и др.). За повишаването на износоустойчивостта на покритията, особено работещите в агресивни среди и при високи температури, обикновено се използват сплави на основата на кобалт или никел, като според [1] вторите са по-евтината алтернатива. Обикновено сплавите на никелова основа съдържат легиращите елементи хром (със съдържание между 1 и 29%), бор и силиций (чието съдържание обикновено е в рамките на 1-4%), които повишават твърдостта и износоустойчивостта на наваряваните слоеве. Тези сплави са особено подходящи за работа в условията на триене, като имат добра износоустойчивост (при стайна и повишена температура), топлоустойчивост и корозионна устойчивост срещу. В практиката обикновено се използват сплави на основата на Ni-Cr-Si-B-C, нанесени чрез различни технологични процеси, като термично напръскване (плазмено [2÷6], пламъчно [7÷11] и високоскоростно [5, 12, 13]), лазерно наваряване [7, 9, 10, 14÷18], плазмено наваряване [19÷24], течна цементация [8, 25, 26] и хибридни процеси [27÷29].

Настоящият доклад разглежда микроструктурата и износоустойчивостта на слоеве с дебелина в диапазона от 1 до 2 [mm] реализирани с помощта на плазмено – дъгов процес на наваряване.

2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА МЕТОДИКА

2.1. Изходни материали

За изработване на опитните образци са използвани планки от нелегирана конструкционна стомана S275JR с размери 4x100x100 [mm] и карбидообразуваща прахообразна смес на основата на никел. Химичният състав на материалите е показан в табл. 1, а размерът на частиците варира в границите 45÷180 [µm]. В качеството на свързващо вещество, за получаване на паста се използва разтвор на водно стъкло. Получената паста се нанася върху планките [30].

Таблица 1. Химичен състав на подложката S275JR и на праховата сплав Surfite 1560, %

Елемент	Ni	Fe	Cr	Si	B	O	C	Mn	P	S	N	Cu
S275JR	-	-	-	-	-	-	0.22	1.5	0.04	0.04	0.012	0.55
Surfite 1560	Bal.	4.0	14.95	4.40	3.18	0.025	0.75	-	-	-	-	-

2.2. Технология на нанасяне на обмзката [30].

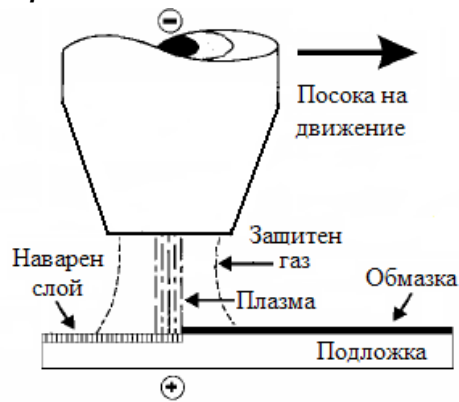
От прахообразната смес е приготвена обмзка със свързващо вещество разтвор на водно стъкло във вода при обемни съотношения 1:5. Подготовката на образците за сканиране и претопяване на нанесения слой с плазмена дъга е следната: предварително подгриване на планката; нанасяне на пастата; изсушаване при 90°C. Върху всички образци е нанасяна обмзка с дебелина в границите 1,3÷1,5 [mm].

2.3. Технологични параметри на плазменото претопяване.

С цел стопяване на обмзката и частично разтопяване на подложката подготвените образци са подложени на сканиране с плазмена дъга.

На фиг.1 схематично е представен процеса на плазмено претопяване. При експериментите в качеството на плазмообразуващ и защитен газ е използван Ar, а основните параметри на процеса са: ток на дъгата $I_n = 50\div 80$ [A]; стъпка (разстояние между две съседни ивици) $S_n = 3$ [mm]; скорост на дъгата $V_n = 85$ [mm/min]; дебит на плазмообразуващ газ $Q_{пг} = 0,8$ [l/min]; дебит на защитен газ $Q_{зг} = 5$ [l/min];

На базата на предварителни изследвания относно получаваната твърдост във формираните слоеве [30] за настоящото изследване на износоустойчивост бяха избрани образци **PS 1.1** и **PS 3.1**. Параметрите на технологичния процес за



Фиг.1. Схема на процеса

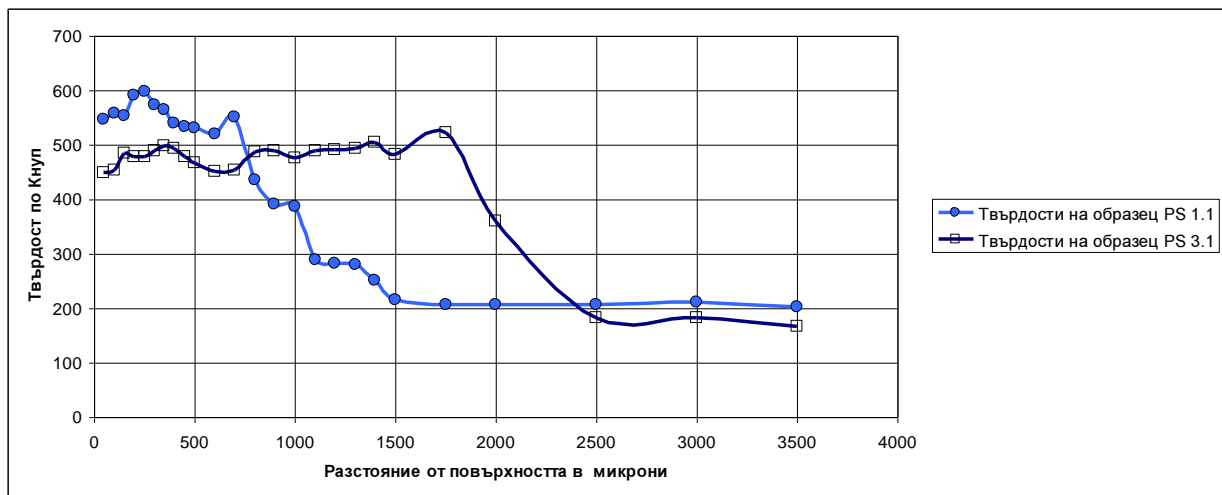
Таблица 2. Параметри на процеса.

Образец	I_n , A	V_n , mm/min	S_n , mm	$Q_{пг}$, l/min	$Q_{зг}$, l/min
PS 1.1	65	85	3	0,8	5
PS 3.1	80	85	3	0,8	5

измерванията са представени в графичен вид на фиг. 2. Получените резултати показват, че слоя за образец **PS 1.1** има твърдост 500-600 НК_{0,05}, която се запазва сравнително постоянна до дълбочина 0,8-0,9 [mm] от повърхността и след това пада. За дълбочината на слоя може да се каже, че е в диапазона 0,7÷1.3 [mm]. Основното, което трябва да се отбележи за образец **PS 3.1** е по-голямата дълбочина на слоя, достигаща до 2 [mm], като разсейването в диапазона на резултатите е подобно (1,7÷2,2 [mm]). Това е нормален резултат поради по-големият ток на дъгата и по-голямата линейна енергия. Разликите в изпъкналостта и дълбочината на провара в мястото на измерване водят до съответните разлики в дебелината на слоя. Сравнявайки резултатите от **PS 1.1** и **PS 3.1** се вижда, че в първия случай твърдостта в рамките на слоя е по-висока. Това се дължи на по-голямата концентрация на елементите, въведени чрез обмзката поради по-малката дълбочина на провара.

посочените образци са показани в табл.2 .

Микротвърдостта на образците е изследвана по метода на Кнуп, като е използван твърдомер „Zwick Materialprufung” Mod. 3212. Използваното натоварване е 50[g]. Направени са по три профила на твърдостта за всеки от изследваните образци. Осреднени резултати от



Фиг. 2. Осреднени профили на твърдост на образците

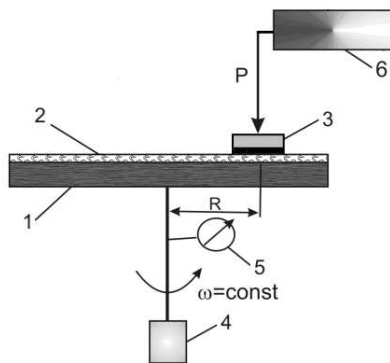
2.4. Металографски анализ на микроструктурата

От образците с претопен слой са направени шлифове за изследване на микроструктурата. Шлифоването е извършено със шкурки №№ от 400 до 2000, а полирането с диамантена паста 1 [μm]. Структурите са проявени с 2% разтвор на азотна киселина. Металографските изследвания са проведени с оптичен металографски микроскоп „Olympus GX41”, с дигитална цветна камера „Altra 20”.

2.5. Подготовка на образци и методика за изследване на абразивно износване

От планките с формирани слоеве се изрязват образци с формата на квадрат с дължина на страната 15,8 [mm], които се подлагат на абразивно износване. Експерименталното изследване се осъществява по методика и с устройство за ускорени изпитания по кинематичната схема „палец-диск”, разработени в центъра по трибология в МТФ – ТУ-София. Функционалната схема на устройството е представена на фиг. 3.

Изследваният призматичен образец 3 (тяло) се монтира неподвижно в натоварващата глава 6 като челната му повърхнина контактува с абразивната повърхнина 2 на хоризонтален диск 1 (противотяло). Дискът 1 се върти с ъглова скорост ω (в рамките на проведените експерименти $\omega = \text{const} = 6,28 \text{ [s}^{-1}\text{]}$) около вертикалната си ос. Броят на оборотите се отчита с брояча 5. Устройството позволява промяна на скоростта на плъзгане чрез настройване на ъгловата скорост на диска от управляващ блок и/или изменение на разстоянието R между оста на въртене и оста на образца 3. Методиката за изследване на абразивно износване включва последователност от следните операции:



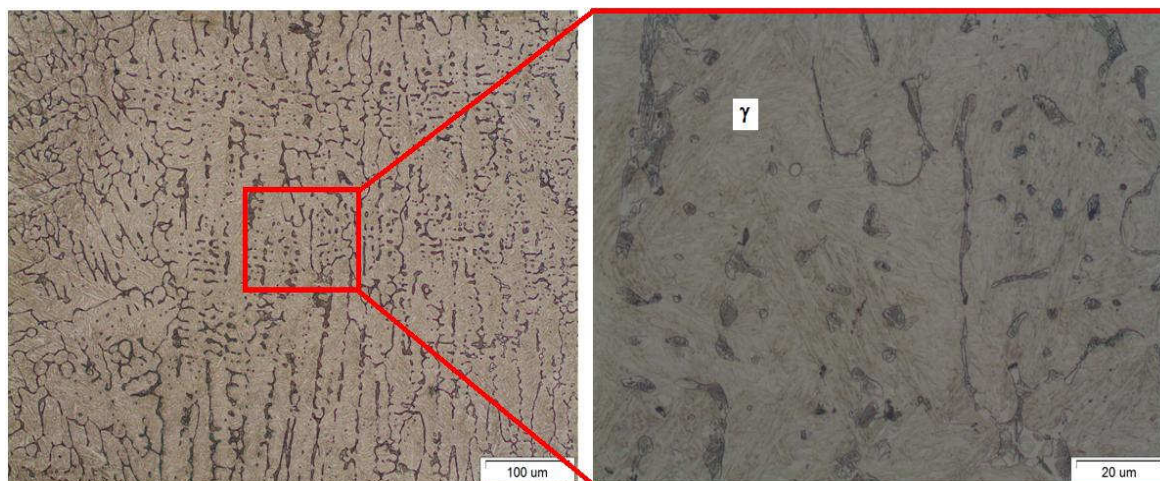
Фиг. 3: Функционална схема на устройство за изследване на износването в условия на твърдо закрепен абразив

определен път на триене S (брой цикли) с помощта на електронна везна WPS 180/C/2 с точност 0,1[mg]; монтиране на образца 3 в натоварващата глава; задаване на желаното нормално натоварване P (в случая P=5,76[N]) и път на триене S чрез брояча 5; пресмятане на абсолютното масово износване Δm [mg] като разлика между масата на образца преди и след определен брой цикли N (път на триене S).

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ

3.1. Анализ на микроструктурата на слоевете

На фиг.4 е показана микроструктурата на слоя, образуван при претопяването на образец **PS1.1**. Вижда се образуването на дендритна структура в процеса на кристализация в претопения метал. На базата на разгледаните в литературата изследвания на NiCrBSi покрития става ясно, че наблюдаваните дендрити представляват γ -твърд разтвор на хром и желязо в никел [18, 20, 21], докато получаваните отделения по границите на зърната са основно съставени от карбиди (Cr_7C_3), бориди (Cr_2B , CrB) [19, 20, 21] и силициди (Ni_3Si) [21, 23]. Според направените в [22] електронно-микроскопски изследвания (сканираща електронна микроскопия SEM и Оже (Auger) спектрален микроанализ AES) в междудендритното пространство се наблюдават Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , CrB , и Ni_3B фази, а според [7] се образува и комплексен карбид $(\text{Cr,Fe})_7\text{C}_3$.



Фиг. 4. Микроструктура на слоя на образец **PS1.1**.

На фиг.5 е показана зоната на сплавяване при образец **PS1.1**. Тази област е по-богата на желязо поради частичното затопяване на кристалите на подложката. Поради тази причина тук се очаква образуване на комплексни карбиди от вида M_7C_3 и M_{23}C_6 [7, 33].



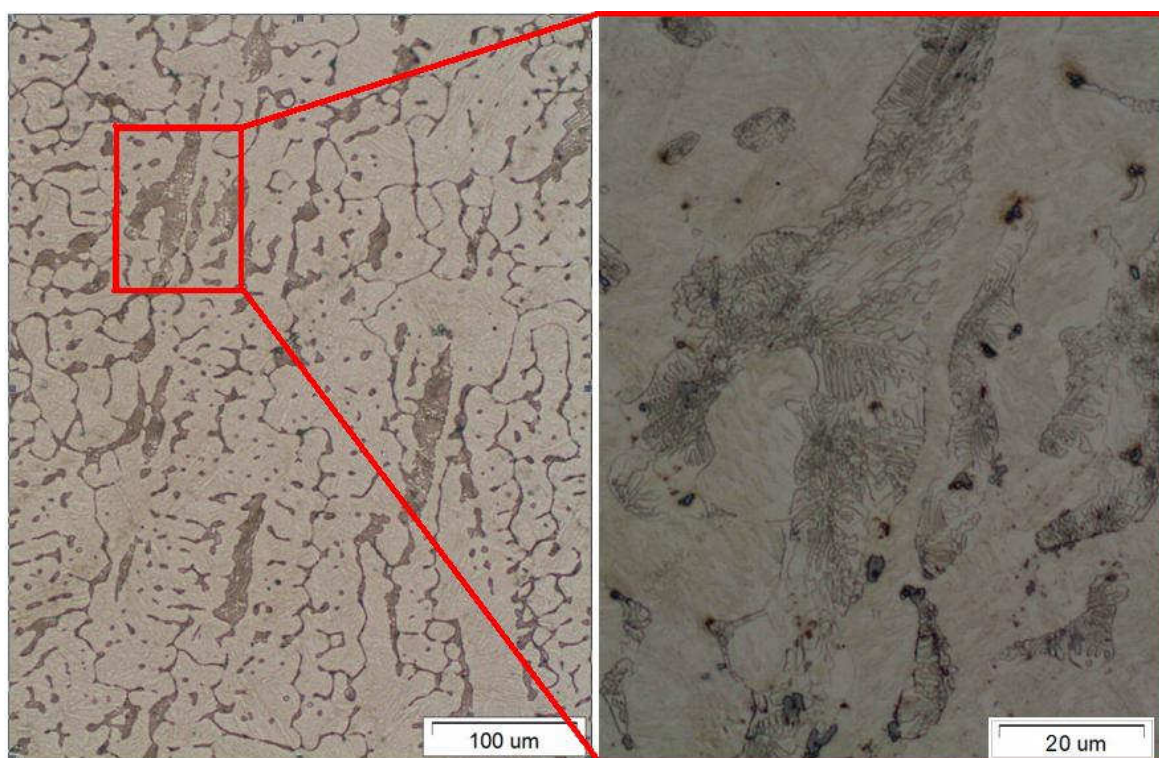
Фиг. 5. Зона на сплавяване за образец **PS1.1**.

Микроструктурата на повърхността на слоя е представена на фиг.6. По данни от енергийно дисперсивния рентгеноспектрален анализ, проведен в [20], наблюдаваните частици са карбиди и бориди.



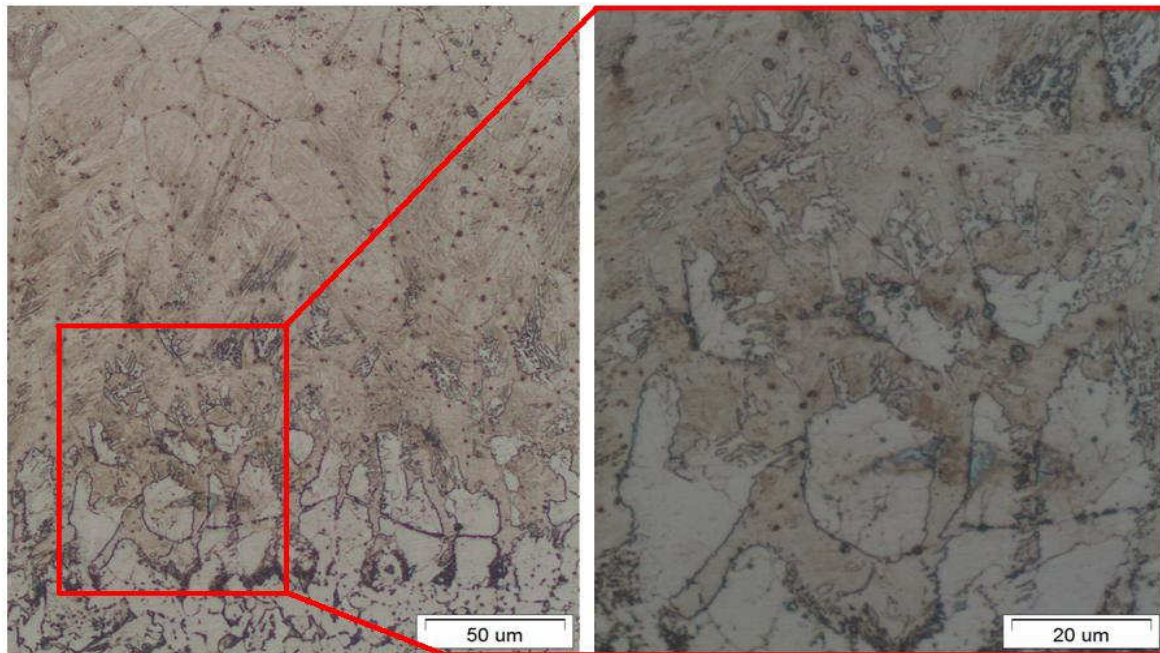
Фиг. 6. Микроструктура на повърхността на слоя на образец PS1.1.

Микроструктурата на слоя на образец **PS3.1** е показана на фиг.7. Наблюдава се характерната дендритна структура, получена в процеса на кристализация в претопения метал. В отделни участъци остатъчната стопилка между дендритите кристализира под формата на евтектика, която по данни на [21] е тройна карбидо-боридна (γ -твърд разтвор, Cr_7C_3 и Cr_2B).



Фиг. 7. Микроструктура на слоя на образец PS3.1.

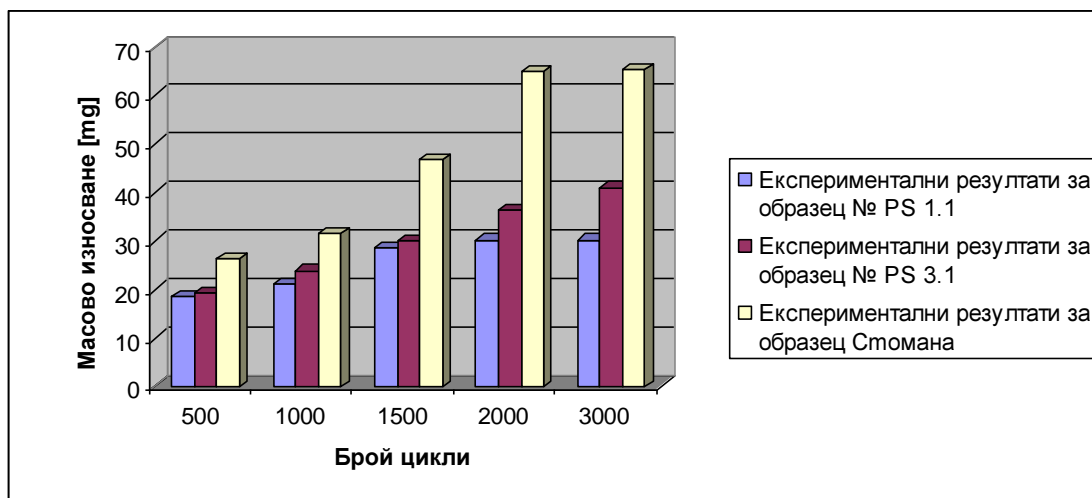
Зоната на сплавяване за образец **PS3.1** е показана на фиг.8. Наред с посочените по-горе карбидни, боридни и силицидни фази, в богатата на желязо зона на смесване непосредствено над основата се наблюдава формиране на двуфазна структура, за която се предполага че съдържа α и γ твърди разтвори.



Фиг. 8. Зона на сплавяване за образец PS3.1.

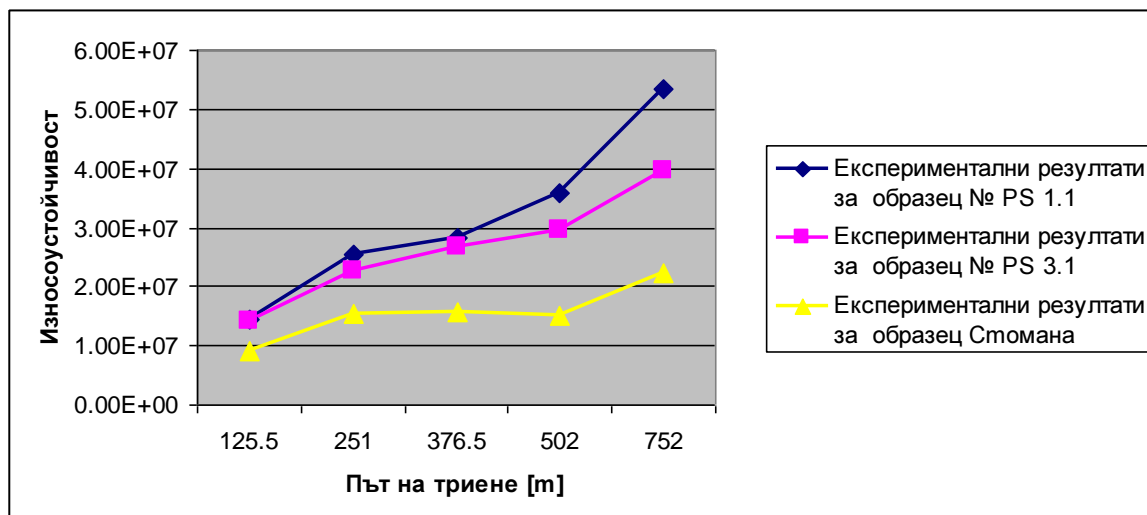
3.2. Изследване на износоустойчивостта на слоевете

На фиг. 9 е показано масовото износване на изследваните образци. Най-добри резултати се наблюдават при образец **PS1.1** в диапазона 1500-3000 цикъла, като количеството на износения материал за този участък е почти постоянно, което може да бъде обяснено с високата концентрация и равномерното разпределение на уякчаващите частици в рамките на нанесения слой. При образец **PS3.1** също са получени добри резултати, като за масовото износване се наблюдава плавно повишаване на стойностите, което се свързва с получената по-голяма дълбочина на провара, а оттам и по-ниска концентрация на допълнителния прахов материал от обмзката в наварения слой. Получените резултати за основния метал потвърждават очакванията за най-високо масово износване в целия диапазон на проведеното изследване.



Фиг. 9. Масово износване на изследваните образци

Износоустойчивостта на изследваните образци е показана на фиг. 10. Ясно се вижда получаваната при образец **PS1.1** най-висока износоустойчивост, като наблюдаваното повишаване в края на изследването се свързва с износване на меката матрица на покритието и протичане на процес на абразивно триене по доста по-твърдите уякчаващи фази на слоя, което е характерно за композитните материали. Образец **PS3.1** също показва висока износоустойчивост, която запазва нарастващия си характер за целия период на изследването. Поведението на образца говори за равномерно разпределение на уякчаващите фази в целия обем на слоя, които както е споменато най-вероятно са карбиди, бориди и силициди. Полученото нарастване на износоустойчивостта на стоманата след прилагане на 2000 цикъла на абразивно триене най-вероятно се дължи на уякчаването на материала в следствие на протичащата пластична деформация в зоната на контакта между образца и абразивния диск.



Фиг. 10. Износоустойчивост на изследваните образци

И при двата наварени образца се наблюдава двукратно увеличение на износоустойчивостта спрямо основата, като малко по-високите стойности на износоустойчивостта при образец **PS1.1** спрямо **PS3.1** се дължат на по-голямата концентрация на уякчаващите елементи в слоя, който при еднакво количество на нанесената обmazка има по-малка дълбочина.

4. ИЗВОДИ

От настоящото изследване могат да се направят следните основни изводи:

1. Плазменото наваряване позволява получаване на слоеве чрез претопяване на предварително нанесения върху образца допълнителен материал под формата на обmazка, при постигане на желаната дебелина от 1 ± 2 [mm].
2. Слоевете, получени чрез плазмено наваряване се формират равномерно, без зони на несплавяване и имат повишена твърдост по цялата дълбочина на провара.
3. Направената оптична микроскопия показва образуването на характерната за покритията на основата на никела дендритна структура, съставена от γ -твърд разтвор, като получаваните отделения по границите на зърната са основно съставени от карбиди, бориди и силициди.
4. Плазмено наварените NiCrBSiCFe слоеве имат висока износоустойчивост, което се дължи на равномерното разпределение на уякчаващите фази в обема на покритието
5. Малко по-високите стойности на износоустойчивостта при образец **PS1.1** спрямо **PS3.1** се дължат на по-голямата концентрация на уякчаващите елементи в слоя, който при еднакво количество на нанесената обmazка има по-малка дълбочина.

Тук трябва да бъде отбелязано, че поради финно дисперсният характер на посочените при микроструктурния анализ фази и многокомпонентния състав на обматката за изясняване на конкретния вид и състав на образуваните фази се налага следващо провеждане на сканираща електронна микроскопия и рентгеноспектрален или Оже спектрален микроанализ на структурата.

БЛАГОДАРНОСТИ

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София-2012 г. по договор № 121ПД0032-05 за научноизследователски проект в помощ на докторант.

ЛИТЕРАТУРА

1. Наръчник по заваряване при ремонт и възстановяване/ ESAB International AB/ Превод от английски език: Валентин Ангелов, EWE, код: XA00868BG, 06 2001г.
2. Parthasarathi N.L., Duraiselvam, M., Borah, U., Effect of plasma spraying parameter on wear resistance of NiCrBSiCFe plasma coatings on austenitic stainless steel at elevated temperatures at various loads, *Materials and Design* 36 (2012) 141–151
3. Parthasarathi, N.L., Duraiselvam, M., High temperature tribological properties of NiCrBSiCFe plasma-sprayed coating on austenitic stainless steel substrate, *Journal of Alloys and Compounds* 505 (2010) 824–831
4. Mrdak, M., Vencl, A., Ćosić, M., Microstructure and Mechanical Properties of the Mo-NiCrBSi Coating Deposited by Atmospheric Plasma Spraying, *FME Transactions* (2009) 37, 27-32
5. Antoszewski, B., The formation of antiwear surface layers on elements of machine parts, *Scientific problems of machines operation and maintenance*, 2 (158) 2009
6. Skulev, H., Malinov, S., Sha, W., Basheer, P.A.M., Microstructural and mechanical properties of nickel-base plasma sprayed coatings on steel and cast iron substrates, *Surface & Coatings Technology* 197 (2005), 177– 184
7. Navas, C., Colaço, R., de Damborenea, J., Vilar, R., Abrasive wear behaviour of laser clad and flame sprayed-melted NiCrBSi coatings, *Surface & Coatings Technology* 200 (2006), 6854–6862
8. Chaliampalias, D., Vourlias, G., Pavlidou, E., Skolianos, S., Chrissafis, K., Stergioudis, G., Comparative examination of the microstructure and high temperature oxidation performance of NiCrBSi flame sprayed and pack cementation coatings, *Applied Surface Science* 255 (2009), 3605–3612
9. Gómez-del Río, T., Garrido, M.A., Fernández, J.E., Cadenas, M., Rodríguez, J., Influence of the deposition techniques on the mechanical properties and microstructure of NiCrBSi coatings, *Journal of materials processing technology* 204 (2008), 304–312
10. Gonzalez, R., Garca, M.A., Penuelas, I., Cadenas, M., del Rocio Fernandez Ma., Hernandez Battez, A., Felgueroso, D., Microstructural study of NiCrBSi coatings obtained by different processes, *Wear* 263 (2007), 619–624
11. Gonzalez, R., Cadenas M., Fernandez, R., Cortizo, J.L., Rodríguez, E., Wear behaviour of flame sprayed NiCrBSi coating remelted by flame or by laser, *Wear* 262 (2007) 301–307
12. Sidhu, T.S., Prakash, S., Agrawal, R.D., Characterisations of HVOF sprayed NiCrBSi coatings on Ni- and Fe-based superalloys and evaluation of cyclic oxidation behaviour of some Ni-based superalloys in molten salt environment, *Thin Solid Films* 515 (2006) 95 – 105
13. Karagöz, M., Islak, S., Buytoz, S., Kurt, B., Microstructural Characteristics of High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) sprayed NiCrBSi-SiC Composite Coating on a Low Alloy Steel, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
14. Taberero, I., Lamikiz, A., Martinez, S., Ukar, E., Figueras, J., Evaluation of the mechanical properties of Inconel 718 components built by laser cladding, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 51(2011), 465–470
15. Guoa, C., Zhoua, J., Chena, J., Zhaoa, J., Yua, Y., Zhoua, H., High temperature wear resistance of laser cladding NiCrBSi and NiCrBSi/WC-Ni composite coatings, *Wear* 270 (2011), 492–498
16. Meng, Q.W., Geng, L., Zhang, B.Y., Laser cladding of Ni-base composite coatings onto Ti-6Al-4V substrates with pre-placed B4C+NiCrBSi powders, *Surface & Coatings Technology* 200 (2006), 4923 – 4928
17. Nurminen, J., Näkk, J., Vuoristo, P., Microstructure and properties of hard and wear resistant MMC coatings deposited by laser cladding, *Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials* 27 (2009), 472–478

18. Fernandez, E., Cadenas, M., Gonzalez, R., Navas, C., Fernandez, R., de Damborenea, J., Wear behaviour of laser clad NiCrBSi coating, *Wear* 259 (2005), 870–875
19. Zikin, A., Hussainova, I., Katsich, C., Badisch, E., Tomastik, C., Advanced chromium carbide-based hardfacings, *Surface & Coatings Technology* 206 (2012), 4270–4278
20. Flores, J.F., Neville, A., Kapur, N., Gnanavelu, A., An experimental study of the erosion–corrosion behavior of plasma transferred arc MMCs, *Wear* 267 (2009), 213–222
21. Kesavan, D., Kamaraj, M., Influence of aging treatment on microstructure, wear and corrosion behavior of a nickel base hardfaced coating, *Wear* 272 (2011), 7– 17
22. Liyanage, T., Fisher, G., Gerlich, A.P., Influence of alloy chemistry on microstructure and properties in NiCrBSi overlay coatings deposited by plasma transferred arc welding (PTAW), *Surface & Coatings Technology* 205 (2010) 759–765
23. Kesavan, D., Kamaraj, M., The microstructure and high temperature wear performance of a nickel base hardfaced coating, *Surface & Coatings Technology* 204 (2010), 4034–4043
24. Zikin, A., Antonov, M., Hussainova, I., Katona, L., Gavrilovic, A., High temperature wear of cermet particle reinforced NiCrBSi hardfacings, *Tribology International* (2012), <http://dx.doi.org/10.1016/j.triboint.2012.08.013>
25. Rastegari, S., Arabi, H., Aboutalebi, M.R., Eslami, A., A study on the microstructural changes of Cr-modified aluminide coatings on a nickel-based superalloy during hot corrosion, *Canadian Metallurgical Quarterly*, Vol 47, No 2 pp 223-232, 2008
26. Chaliampalis, D., Stergioudis, G., Skolianos, S., Vourlias, G., The effect of the deposition temperature and activator concentration on the structure of NiCrBSi coatings deposited on low carbon steels by pack cementation process, *Materials Letters* 62 (2008), 4091–4093
27. Serres, N., Hlawka, F., Costil, S., Langlade, C., Machi, F., Microstructures and environmental assessment of metallic NiCrBSi coatings manufactured via hybrid plasma spray process, *Surface & Coatings Technology* 205 (2010) 1039–1046
28. Serres, N., Hlawka, F., Costil, S., Langlade, C., Machi, F., Microstructures and mechanical properties of metallic NiCrBSi and composite NiCrBSi–WC layers manufactured via hybrid plasma/laser process, *Applied Surface Science* 257 (2011), 5132–5137
29. Serres, N., Hlawka, F., Costil, S., Langlade, C., Machi, F., Microstructures of Metallic NiCrBSi Coatings Manufactured via Hybrid Plasma Spray and In Situ Laser Remelting Process, *Journal of Thermal Spray Technology* 20, 1-2 (2011), 336-343
30. Тонгов М., Симеонова Т., Изследване формирането на слоеве , получени чрез високо концентрирани енергийни източници, Двадесет и седма международна научна конференция “ AMTEX`2012” , 19-20 октомври 2012, София, България, ISBN 978-954-438-994-9, стр. 156-165
31. Zhanga, P., Wanga, X., Guoa, L., Caia, L., Suna, H., Characterization of in situ synthesized TiB2 reinforcements in iron-based composite coating, *Applied Surface Science*, **258** (2011), 1592– 1598
32. Amirsadeghi, A., Sohi, M. H., Comparison of the influence of molybdenum and chromium TIG surface alloying on the microstructure, hardness and wear resistance of ADI, *Journal of materials processing technology*, **201** (2008), 673–677
33. Davis, J.R., *ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys*, ASM International, 2000

КОРЕСПОНДЕНЦИЯ :

доц. д-р Манахил ТОНГОВ
 кат. МТМ, МТФ, ТУ-София
 бул. “Климент Охридски” №8
 1000 София, България
 e-mail: tongov@dir.bg

докторант Татяна СИМЕОНОВА
 кат. МТМ, МТФ, ТУ-София
 бул. “Климент Охридски” №8
 1000 София, България
 e-mail: terra_sim@abv.bg