

**Пашечко М.І.,
Дзедзіц К.,
Барц М.**

Люблінський політехнічний інститут,
м. Люблін, Польща

**МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ
ЕВТЕКТИЧНИХ ПОКРИТТІВ
FE-MN-C-B-SI-NI-CR**

Вступ

Впровадження конструкційних змін в машинах і механізмах які працюють в умовах зношування з використанням евтектичних і інших матеріалів для одержання зносостійких покриттів в суттєвий спосіб дозволяє підвищити зносостійкість їх елементів. Найбільш широко для підвищення зносостійкості використовуються покриття на основі Co, Ni, Fe, Ti. Цій проблематиці присвячено багато наукових праць. Широке практичне застосування віднайшли зносостійкі покриття систем Ti-Cr-Si [1], Ni-Fe-C-MoS₂ [2], Fe-C-Cr-Si [3], TiC/FeCrBS [4], Ni-Cr-Mo-V [5], Fe-Ti-V-Mo-C [6]. Для елементів машин, які працюють в умовах зношування, суттєвим є дослідження інтенсивності зношування матеріалів з яких вони виготовлені і фізико-хімічних процесів які відбуваються на поверхні тертя з метою підвищення їх зносостійкості [7, 8].

В статтях [9, 10] виявлено із використанням спектроскопії мас вторинних іонів і спектроскопії Auger'a, що висока зносостійкість евтектичних покриттів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr, одержаних методом електродугового наплавлення із використанням порошкових електродів, обумовлена сегрегацією атомів С, В і Si на поверхню тертя. При цьому внаслідок трібосинтези фоормуються на поверхні тертя нестехіометричні фази (нанофази) на основі В₂О₃, SiO₂ і С. Утворення вторинних структур на поверхні тертя сприяє підвищенню зносостійкості евтектичних сплавів і покриттів. Дослідження формування вторинних структур на поверхні тертя можна провести з використанням сучасних методів спектроскопії, зокрема спектроскопії мас вторинних нейтралей і Auger'a [11 - 13].

Склад елементів для одержання багатофазового евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-B (мас. %): Fe 85,1 - 92,5; Mn 1,6 - 7,6; C 2,6 - 7,0; B 0,2 - 3,5 [14]. Вміст елементів в евтектичних областях Fe-Mn-C і Fe-B-C представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Вміст елементів у евтектичних областях Fe-Mn-C і Fe-B-C (мас. %) [14]

Елемент	Fe-Mn-C	Fe-B-C
Fe	73,3 - 92,5	85,1 - 92,5
Mn	3,1 - 23,8	1,6 - 7,6
C	0,6 - 6,4	2,6 - 7,0
B	0,6 - 2,5	0,2 - 3,5

Вміст таких легуючих елементів як Si, Ni, Cr і інших підбирається з врахуванням можливості одержання зносостійких сплавів із евтектичною структурою, беручи до уваги також аспект їх економічності.

Для одержання зносостійких покриттів, зокрема до зміцнення і відновлення деталей машин і механізмів, досить часто використовується процес наплавлення. Властивості наплавлених шарів залежать не тільки від складу порошкових дротів, але також від технології наплавлення, яка може в суттєвий спосіб впливати на зміну структури наплавленого шару, що в свою чергу матиме вплив на його експлуатаційні властивості [15].

Методика досліджень

Для одержання покриттів із порошкових евтектичних дротів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr використано метод наплавлення GMA (MAG, захисне середовище CO₂). В якості матеріалу зразків прийнято сталь SJ 355.

Дослідження зносостійкості проведено на модернізованому тріботестері типу Амслера, при врахуванні PN-79/H-04329. Прийняті основні параметри тертя були наступними:

- схема тертя – стержень-диск. Зразок із евтектичним покриттям виготовлений із сталі SJ 355, розміри 10 × 10 мм, висота 10 мм;
- контртіло – диск діаметром 90 мм, матеріал сталь С 45, твердість 52-54 HRC, рис. 1, 2;
- вид руху: тертя ковзання (швидкість 0,4 м/с);
- питома навантаження 3, 7, 10 МПа;
- час тертя – 6 годин.

Втрати маси вимірювали ваговим методом з точністю 1 мг.

Об'єктом досліджень з використанням методів спектроскопії мас вторинних іонів а також сканінгового електронного мікроскопа були покриття, одержані із евтектичного багатокомпонентного сплаву на основі системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr.

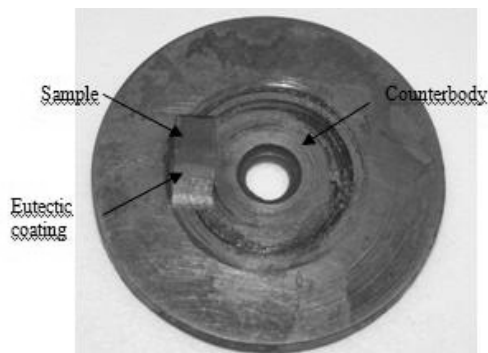


Рис. 1 – Загальний вигляд зразка і контргіла

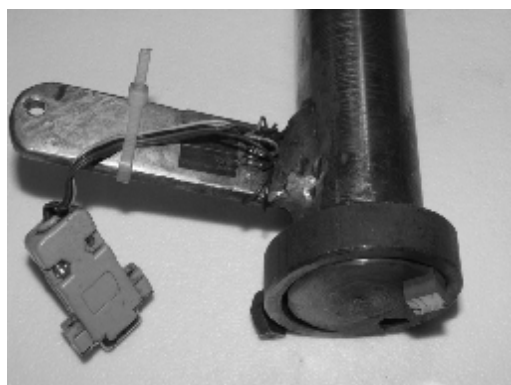


Рис. 2 – Замонтований зразок

Вміст легуючих елементів Si, Cr, Ni в порошкових дротах представлено в табл. 2. Зразки для досліджень вирізували електроерозійним методом. Твердість покриттів становила від 49 до 62 HRC.

Таблиця 2

Склад елементів в порошкових дротах

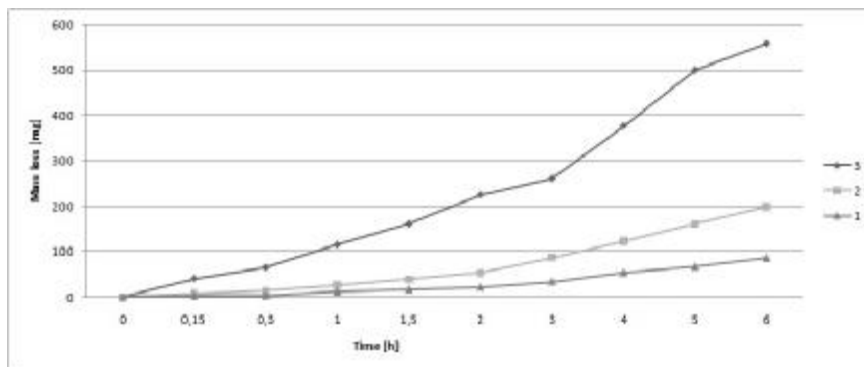
Вміст елементів, мас. %	Ідентифікаційний номер досліджує- мих зразків		
	L-1	L-2	L-3
Si	2,30	1,91	2,46
Cr	10,97	15,35	16,24
Ni	8,36	10,21	17,68

Дослідження розподілу елементів (якісні а також кількісні) на поверхні тертя були проведені при використанні сканінгового електронного мікроскопа SEM з приставкою EDS. Отримано зображення у вторинних електронах. Accelerating Voltage: 20,0 kV. Magnification: 200.

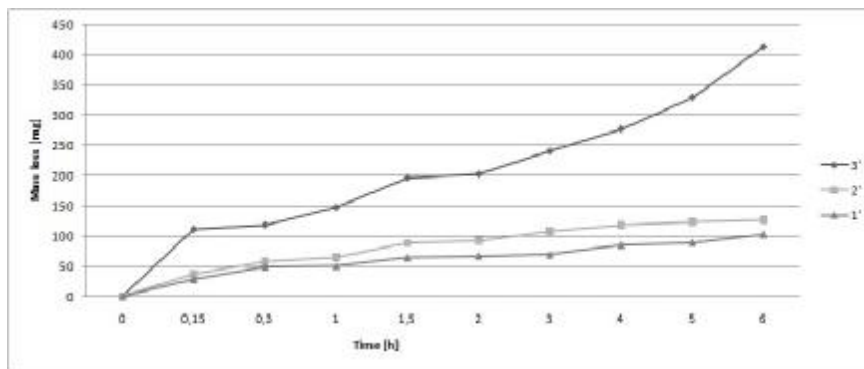
Спектроскопія мас вторинних іонів дозволила виявити зміну хімічного складу в евтектичному покритті на глибині до 1000 Å з площі досліджуваного зразка ~ 3 × 5 мм. У процесі іонного травлення товщина аналізованого шару становила декілька міжатомних відстаней. Швидкість травлення – 8 - 10 мкм/с.

Одержані результати і дискусія

Дуже важливим в експлуатації машин є дослідження кінетики зношування елементів, які працюють в умовах зношування. З підданих дослідженням на зносостійкість евтектичних матеріалів (табл. 2) найбільшою опірністю до зношування характеризується зразок L-3 з складом 2,46 % Si, 17,68 % Ni, 16,24 ваг. % Cr. Твердість покриття становила 49 HRC. В подальшому результати проведених досліджень будуть обговорюватись для сплаву з поданим вище вмістом елементів. Кінетику зношування евтектичного покриття і контртіла показано на рис. 3.



а



б

Рис. 3 □ Кінетика зношування евтектичного покриття Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr (а) і контртіла (б), при питомих навантаженнях 1 – 3 МПа, 2 – 7 МПа, 3 – 10 МПа

Як видно на рис. 4 втрати маси зразка в процесі зношування при навантаженні 3 МПа становлять 5, при 7 МПа – 11, натомість при 10 МПа – 33 кг/м² год. Час досліджень становив 6 годин.

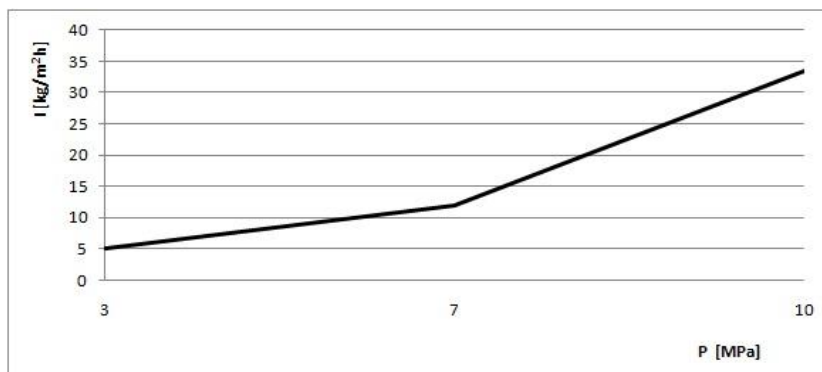
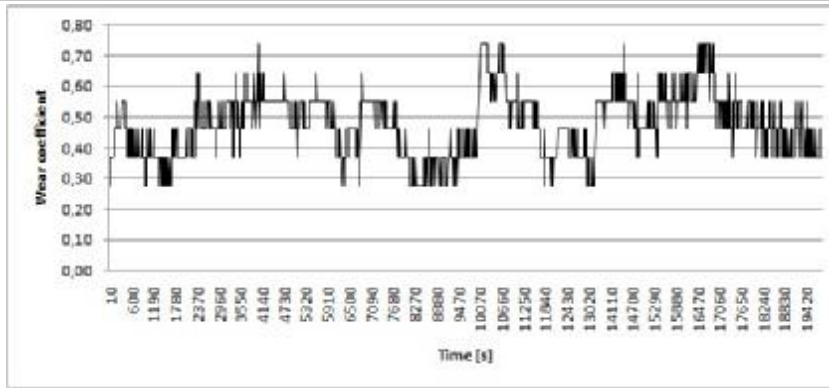
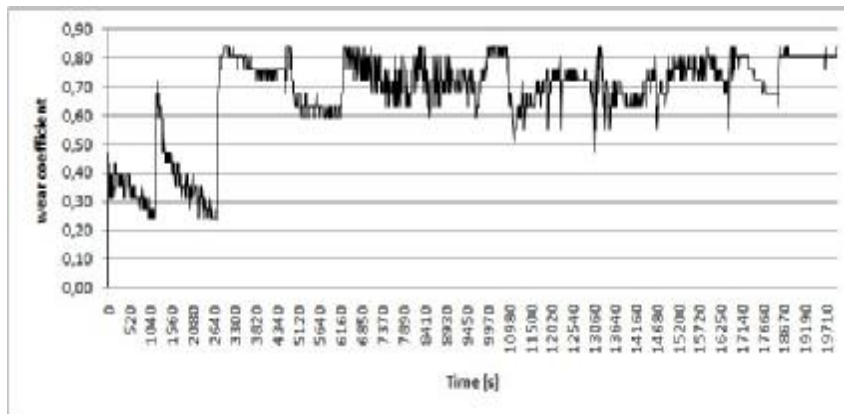


Рис. 4 – Інтенсивність зношування евтектичних покриттів Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr при питомих навантаженнях 1 – 3 МПа, 2 – 7 МПа, 3 – 10 МПа

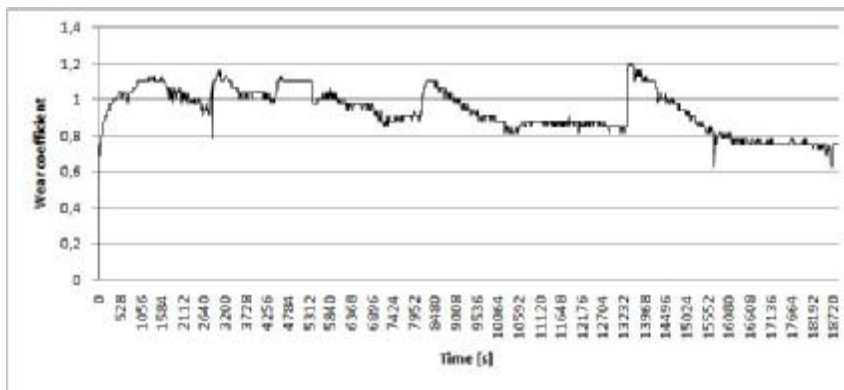
Зміну коефіцієнта тертя для евтектичного покриття представлено на рис. 5. Коефіцієнт тертя при питомому навантаженні 3 МПа становив 0,48, при 7 МПа – 0,67 натомість при 10 МПа – 0,94.



а



б



в

Рис. 5 □ Зміна коефіцієнта тертя евтектичних покриттів Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr при питомих навантаженнях 3 (а), 7 (б) та 10 (в) МПа

Дослідженнями мікроструктури евтектичних покриттів встановлено, що вони складаються із евтектики типу легований аустеніт (м'яка фаза) – марганцовистий карбід заліза $Fe_{0,4}Mn_{3,6}C$ (зміцнююча фаза) і дисперсійних включень бориду Fe_2B і карбіда хрому Cr_7C_3 (дисперсійні фази), рис. 6. Мікротвердість евтектичного покриття змінюється від 473 до 522 HV, перехідної зони становить 421 HV, основи 299 HV.

Розподіл елементів на поверхні тертя евтектичного сплаву при навантаженні 10 МПа представлено на рис. 7. Отримано нерівномірний розподіл атомів вуглецю, кремнію а також кисню на поверхні тертя. Наявність кисню може свідчити про утворення оксидів, тобто про окиснювальний механізм зношування. При навантаженнях 3 і 7 МПа відбувається окиснювальний, а при 10 МПа абразивний і окислювальний механізм зношування.

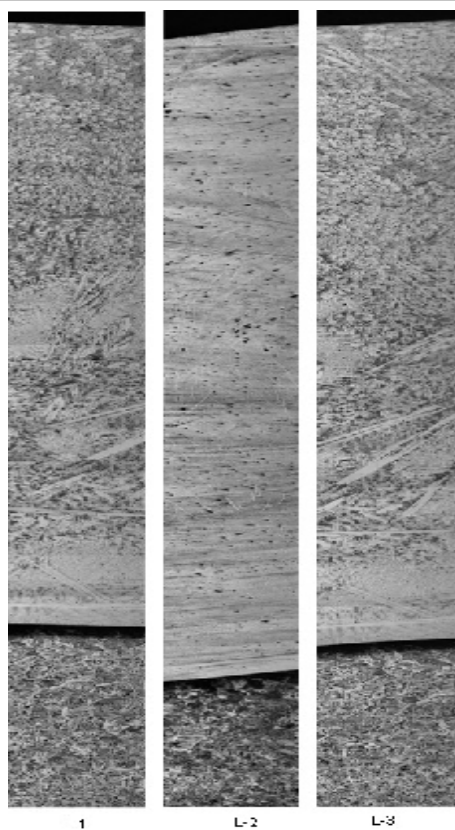


Рис. 6 – Мікροструктура покриттів одержаних із багатокомпонентних евтектичних сплавів системи Fe-Mn-C-B легованих Si, Ni, Cr нанесених метод наплавлення GMA (MAG) при використанні порошкових дротів

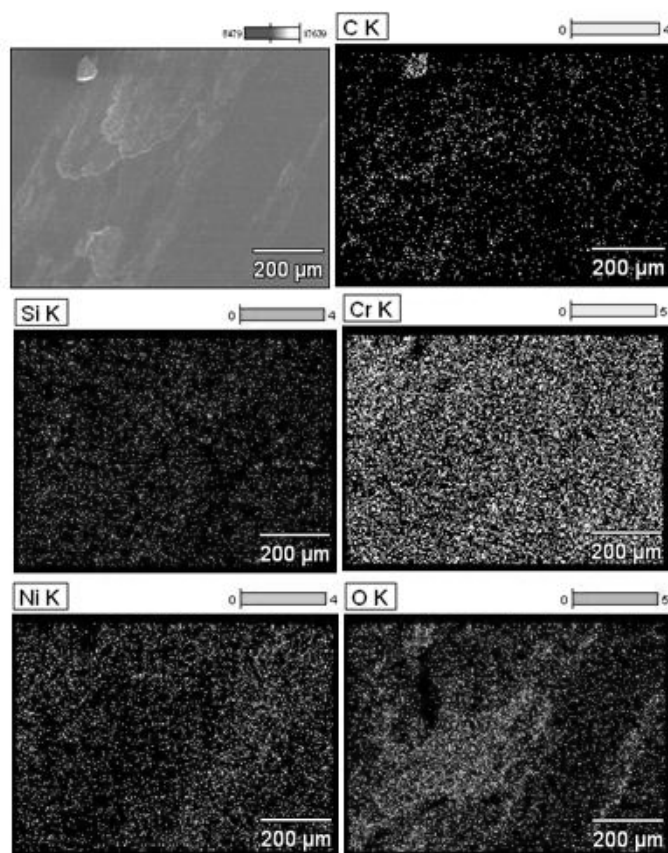
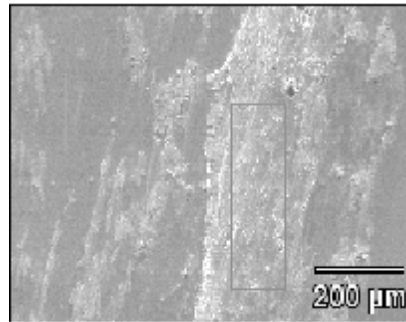
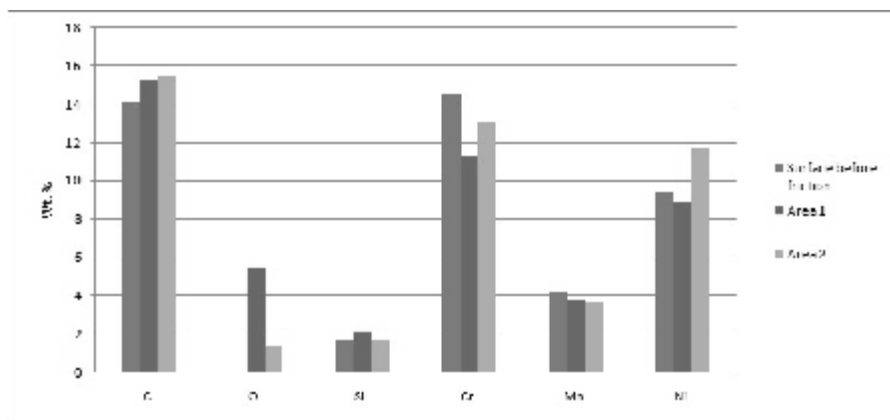


Рис. 7 – Розподіл атомів C, Cr, Si, Ni, O на поверхні тертя евтектичного сплаву при питомому навантаженні 10 МПа

Проведений мікроаналіз поверхні тертя з використанням SEM дозволив встановити хімічний склад і розподіл елементів на поверхні тертя. Дослідження проведено для мікрооб'ємів 1 та 2 показаних на рис. 8, а після дослідження зразків при питомому навантаженні 10 МПа. Склад поверхні тертя порівняно із вихідним станом поверхні, тобто перед тертям.



а



б

Рис. 8 □ Розподіл елементів на поверхні тертя евтектичних покриттів Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr.

Як ми бачимо на рис. 8, б на поверхні тертя відбувається зростання вмісту атомів С, О а також Si порівняно з поверхнею перед тертям. Вміст вуглецю збільшується із 14,11 до 15,19 в мікрообласті 1 і до 15,44 в мікрообласті 2. Вміст кисню збільшується до 5,5 в мікрообласті 1 і 1,42 в мікрообласті 2. Вміст кремнію збільшується з 1,65 до 2,09 в мікрообласті 1 і 1,72 в мікрообласті 2. Вказує це на те, що в процесі тертя відбувається сегрегація атомів С і Si на поверхню тертя обумовлена термодифузією атомів і фрикційним розігрівом поверхні тертя. В результаті трибосинтезу формуються нестехіометричні фази (нанофази) на основі B_2O_3 , SiO_2 і С. Аналогічний механізм зношування виявлено в процесі тертя евтектичних сплавів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr, отриманих методом дугового наплавлення з використанням порошкових електродів [9]. Натомість для Cr, Mn спостерігається падіння вмісту цих елементів в порівнянні із хімічним складом поверхні перед тертям.

Висновки

Багатокомпонентні евтектичні сплави на основі системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr-Ni дають можливість одержувати на поверхні сталі SJ 355 зносостійкі евтектичні покриття методом наплавлення MAG з використанням порошкових дродів.

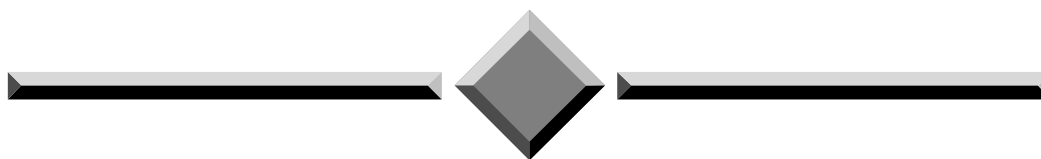
Мікροструктурними дослідженнями показано, що евтектичні покриття представляють собою багатокомпонентні композиційні дисперсійно зміцнені боридами заліза і карбідами заліза та хрому матеріали.

Використовуючи сканінговий електронний мікроскоп SEM із приставкою EDS виявлено зростання вмісту елементів С, О, Si на поверхні тертя евтектичних покриттів при питомому навантаженні 10 МПа в порівнянні із поверхнею перед тертям. Виявлено, що в процесі тертя відбувається сегрегація атомів С та Si на поверхню тертя. Внаслідок трибосинтезу відбувається формування нанофаз. При навантаженнях 3, 7 МПа відбувається окиснювальний, а при 10 МПа абразивний і окислювальний механізм зношування.

Література

1. M. Hadad, P.P. Bandyopadhyay, J. Michler, J. Lesage: Tribological behaviour of thermally sprayed Ti-Cr-Si coatings, *Wear* 267 (2009) s. 1002–1008.
2. Jianliang Li, Dangsheng Xiong: Tribological behavior of graphite-containing nickel-based composite as function of temperature, load and counterface, *Wear* 266 (2009) s. 360–367.
3. K. Granat: Wieloskładnikowe stopy Fe-C-Cr-Si odporne na zużycie przeznaczone na odlewy i warstwy napawane, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2005.
4. W. Xinhong, Z. Zengda, S. Sili, Q. Shiyao: Microstructure and wear properties of in situ TiC/FeCrBSi composite coating prepared by gas tungsten arc welding. *Wear* 260, (2006), s. 705-710.
5. D. Rai, B.Singh, J.Singh: Characterisation of wear behavior of different microstructures in Ni-Cr-Mo-V steel. *Wear* 263, (2007), s. 821-829.
6. Xinhong Wang, Fang Hanb, Xuemei Liu, Shiyao Qu, Zengda Zou: Microstructure and wear properties of the Fe-Ti-V-Mo-C hardfacing alloy, *Wear* 265 (2008) s. 583–589.
7. N.F. Garza-Montes-de-Oca, W.M. Rainforth: Wear mechanisms experienced by a work roll grade high speed steel under different environmental conditions, *Wear* 267 (2009) s. 441–448.
8. L. Chengxin, W. Guixin, W. Yandong, W. Jingang, Z. Jianjun: Analysis of wear resistance and its mechanism in an Fe-Mn-Si-Cr-Ni shape memory alloy. *Materials Science and Engineering* (2006). s. 804–807
9. M. Pashechko, K. Lenik: Segregation of atoms of the eutectic alloy Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr at friction wear. *Wear* 267 (2009) 1301-1304.
10. K. Lenik, M. Paszczko, K. Dziedzic M. Barszcz: The surface self-organization in process friction and corrosion of composite materials, *Archives of Materials Science and Engineering*. Volume 30. Issue 1. March 2008. s. 9-12.
11. J. C. Riviere, S. Myhra: *Handbook of surface and interface analysis*. CRC Taylor & Francis Group. Boca Raton 2009.
12. M.M. Khonsari, E. R. Booser: *Applied Tribology*. Jon Wiley & Sons, Ltd., Chichester 2008.
13. G.S. Fox-Rabinovich, G. E. Totten: *Self-organization during friction: Advance Surface Engineered Materials and Systems Design*; CRC Taylor and Francis Group: Boca Raton, FL, USA, 2006.
14. M. I Pashechko, V.M. Golubetz, M.V. Chernetz. *Формирование и фрикционная стойкость евтектических покрытий*. Наукова думка, Київ, 1993.
15. M. Pashechko, K. Lenik, M. Barszcz, K. Dziedzic: Regeneracja części maszyn roboczych metodą napawania z wykorzystaniem stopów eutektycznych, XXII Konferencja Naukowa Problemy Rozwoju Maszyn Roboczych, Zakopane 2009, s. 125-127.

Надійшла 01.11.2010



ЧИТАЙТЕ

журнал

“Problems of Tribology”

во всемирной сети

INTERNET !

<http://www.tup.km.ua/science/journals/tribology/>