

Пашечко М.І.,*
Домбські Я.**

*Люблінський політехнічний інститут
м. Люблін, Польща,
**Фірма ДК Новоресциклінг
м. Пухачув, Польща

**МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ПОВЕРХНІ
ТЕРТЯ ТА МЕХАНІЗМ ЗНОШУВАННЯ
ЕВТЕКТИЧНИХ ПОКРИТТІВ СИСТЕМИ
Fe-Mn-C-B ЛЕГОВАНИХ Si, Ni і Cr ПРИ
ПОДРІБНЕННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН**

Вступ

Процес тертя та зношування матеріалів супроводжується складними фізико-хімічно-механічними процесами на поверхні тертя. Навіть незначна зміна режимів тертя може призвести до зміни домінуючих процесів. Тому є необхідним пізнання природи процесу тертя, зношування та мащення з метою виявлення фізико-хімічних процесів, що відбуваються в процесі тертя та зношування матеріалів.

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 C, B і Si на поверхню тертя. При цьому внаслідок трібосинтези фоормуються на поверхні тертя нестехіометричні фази (нанофази) на основі B₂O₃, SiO₂ і C. 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].

Метою роботи є дослідження перерозподілу елементів на поверхні тертя евтектичних покриттів одержаних методом електродугового наплавлення на робочій частині ножів до подрібнення автомобільних шин з використанням евтектичних порошкових електродів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr з метою виявлення механізму їх зношування та впливу на триботехнічні характеристики з метою підвищення їх довговічності.

Результати досліджень

Мікроструктурними дослідженнями встановлено, що евтектичні покриття 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 Fe₂B і карбіда хрому Cr₇C₃ (дисперсійні фази) (рис. 1) [14].

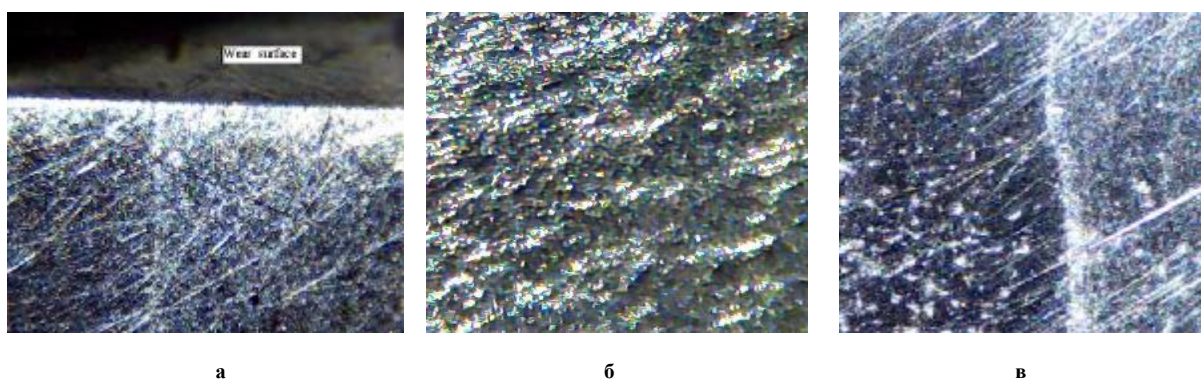


Рис. 1 – Мікроструктура покриття (x 200) по глибині наплавленого шару одержаного методом електродугового наплавлення з використанням евтектичного порошкового електроду системи Fe-Mn-C-B легованого Si, Ni і Cr:

**а – від поверхні тертя;
б – середина покриття;
в – зона сплавлення**

Проведено мікроструктурний аналіз поверхні тертя з метою виявлення розподілу елементів на поверхні тертя. Дослідження розподілу елементів на поверхні тертя та по глибині від поверхні тертя проведено із використанням SEM з приставкою EDS (Accelerating Voltage: 20.0 kV. Magnification: 200).

Дослідження проведено на шліфах поверхні наплавлених шарів з використанням порошкового евтектичного електрода (а 1, б) і ванадій-хромового електрода (а 2) (рис. 2).

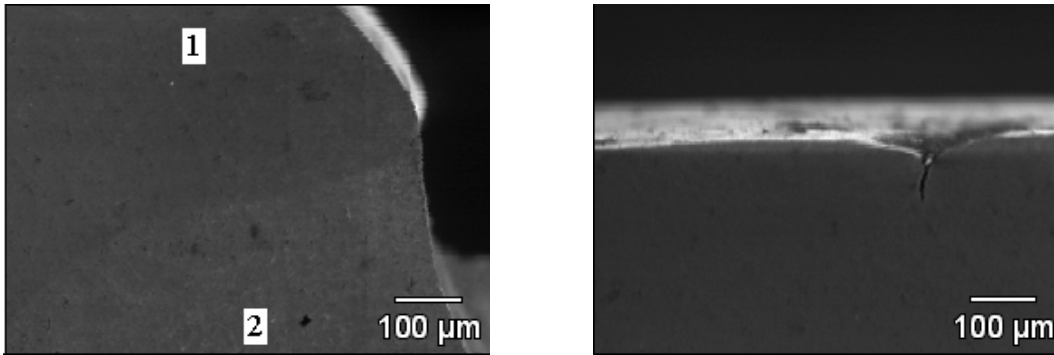
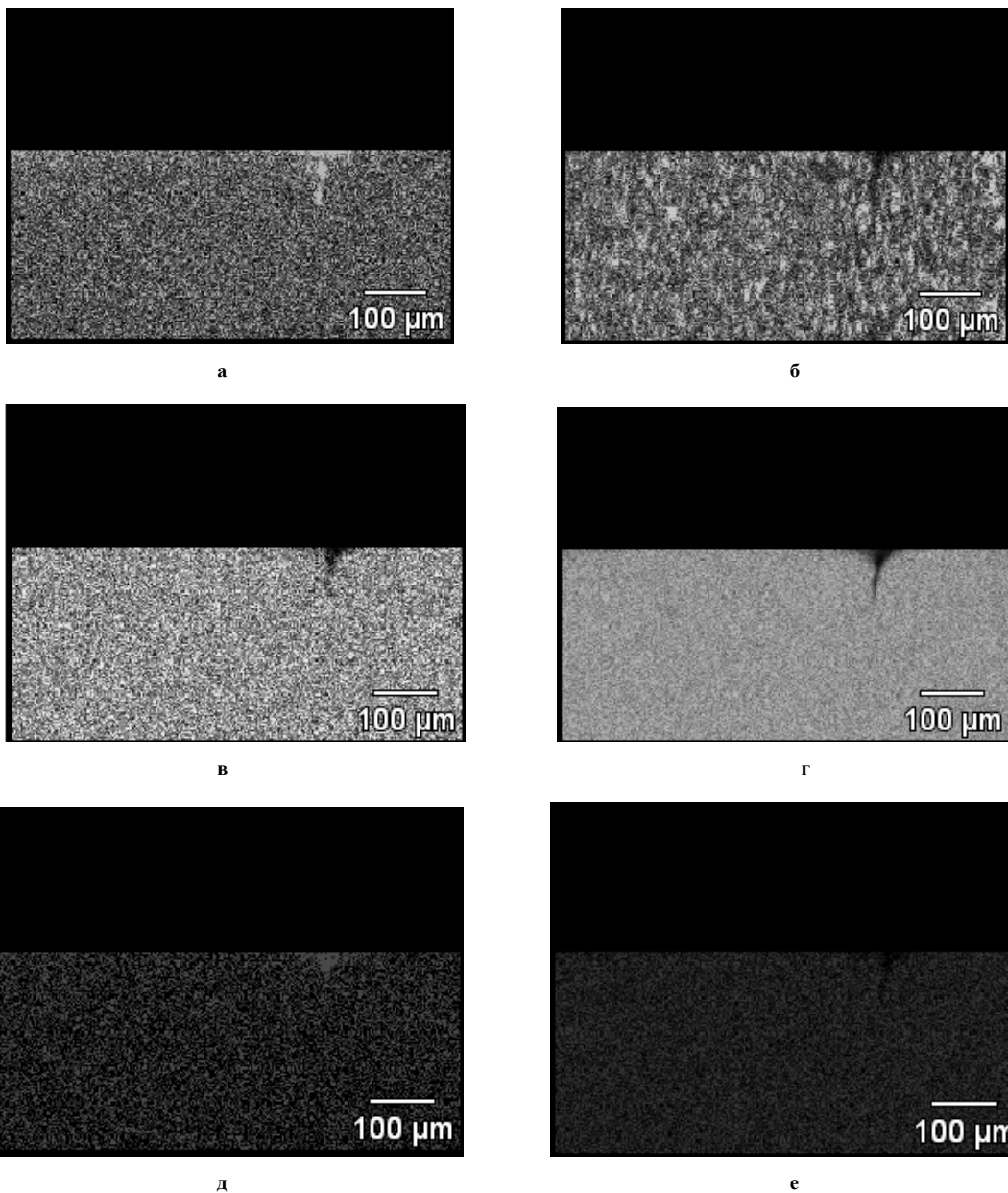
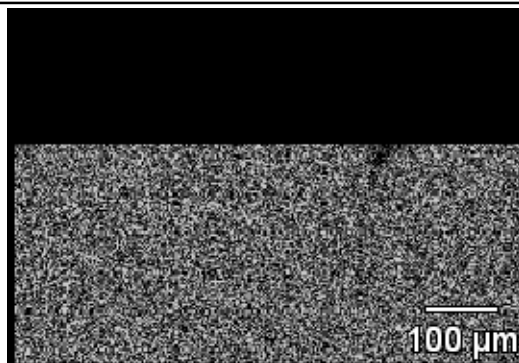


Рис. 2 – Мікроструктура (SEM) поверхні наплавлених шарів з використанням порошкового евтектичного електрода (а 1, б) і ванадій-хромового електрода (а 2)

Одержано рівномірний розподіл атомів по глибині наплавленого шару (рис. 3).





ж

Рис. 3 – Розподіл атомів Si (а), Ti (б), Cr (в), Fe (г), Na (д), Mn (е), Ni (ж) по глибині наплавленого евтектичного шару

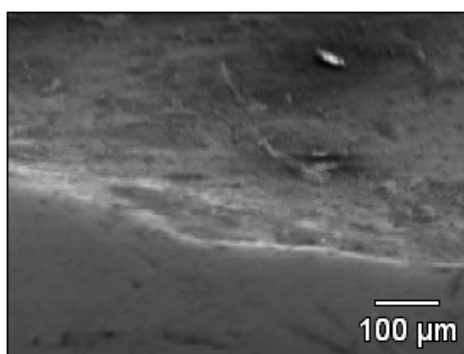
Вміст елементів (ат. %) в наплавленому евтектичному шарі по глибині представлено в табл. 1.

Таблиця 1

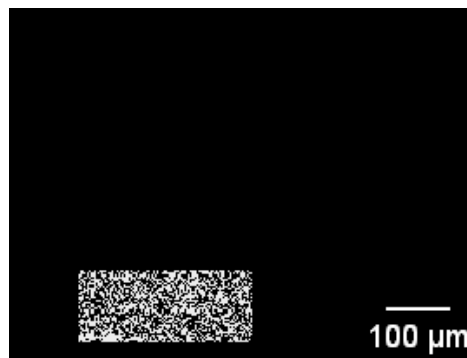
Вміст елементів (ат. %) в наплавленому евтектичному шарі

Елемент	Евтектичний шар	Перехідна зона		Наплавлений шар ванадій-хромовим електродом	
		область 1	область 2	область 1	область 2
Na	2,06	1,48	3,18	3,74	1,95
Si	2,74	2,86	2,99	3,30	2,95
Ti	3,88	2,11	3,57	-	-
Cr	4,49	2,97	4,45	0,97	17,69
Mn	0,83	0,69	-	0,44	-
Fe	84,43	88,73	85,81	91,55	69,44
Ni	1,59	0,88	-	-	-
V	-	0,27	-	-	7,97

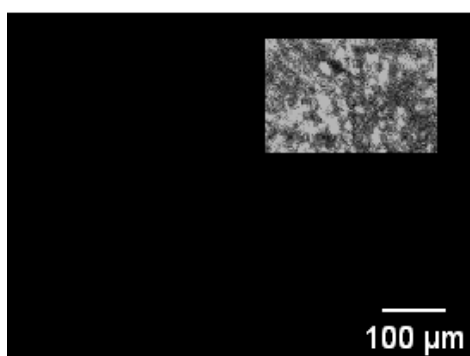
Наступним кроком було дослідження перерозподілу елементів на поверхні тертя (рис. 4, а) та мікрообластях, показаних на рис. 4 б, в, г, д.



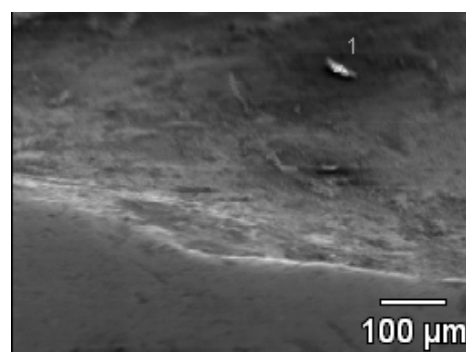
а



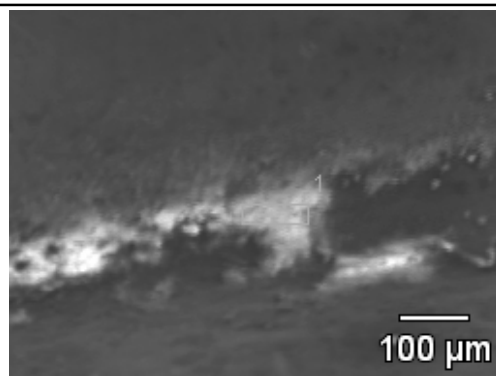
б



в



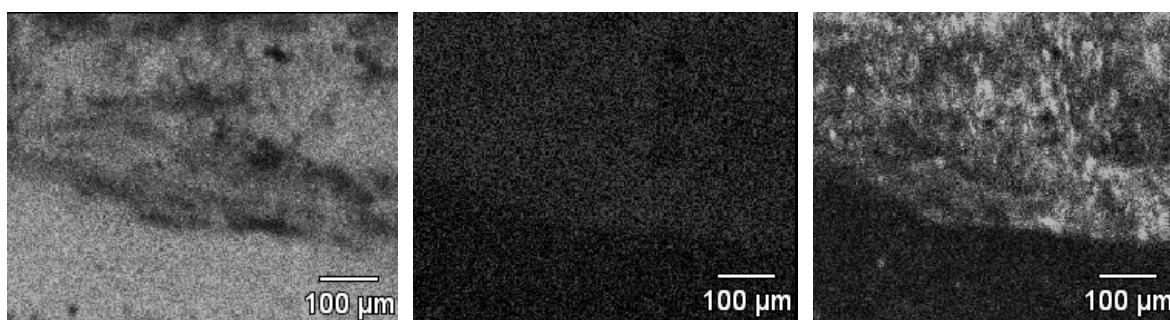
г



д

Рис. 4 – Мікроструктура (SEM) поверхні тертя (а, г, д) і розподіл атомів С (б) та Si (в) в мікрооб'єкті поверхні (а)

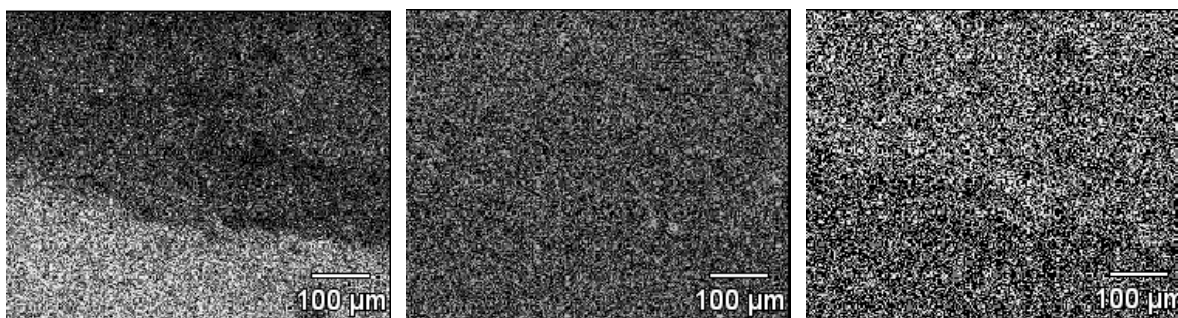
Одержано нерівномірний розподіл атомів Fe, Na, Si, Cr, Ca, Zn, Ti, Cu, Mn, Ni, K, V, C, Mo на поверхні тертя наплавлених шарів представлений на рис. 5.



а

б

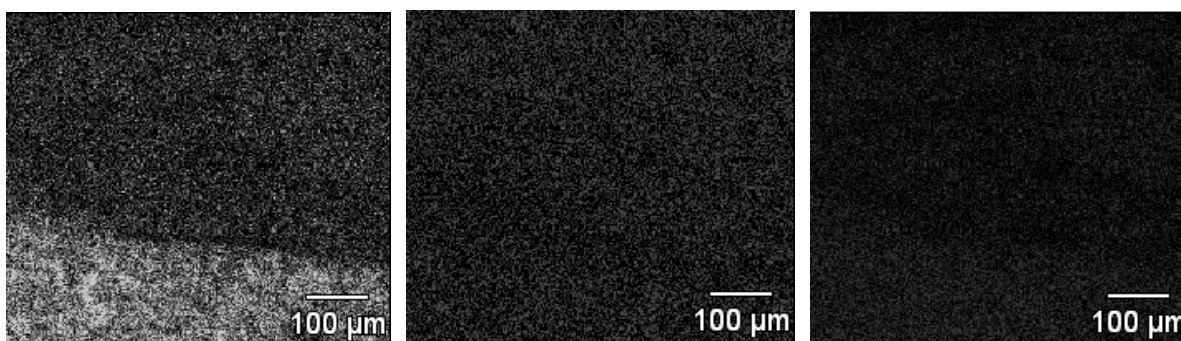
в



г

д

е



ж

з

и

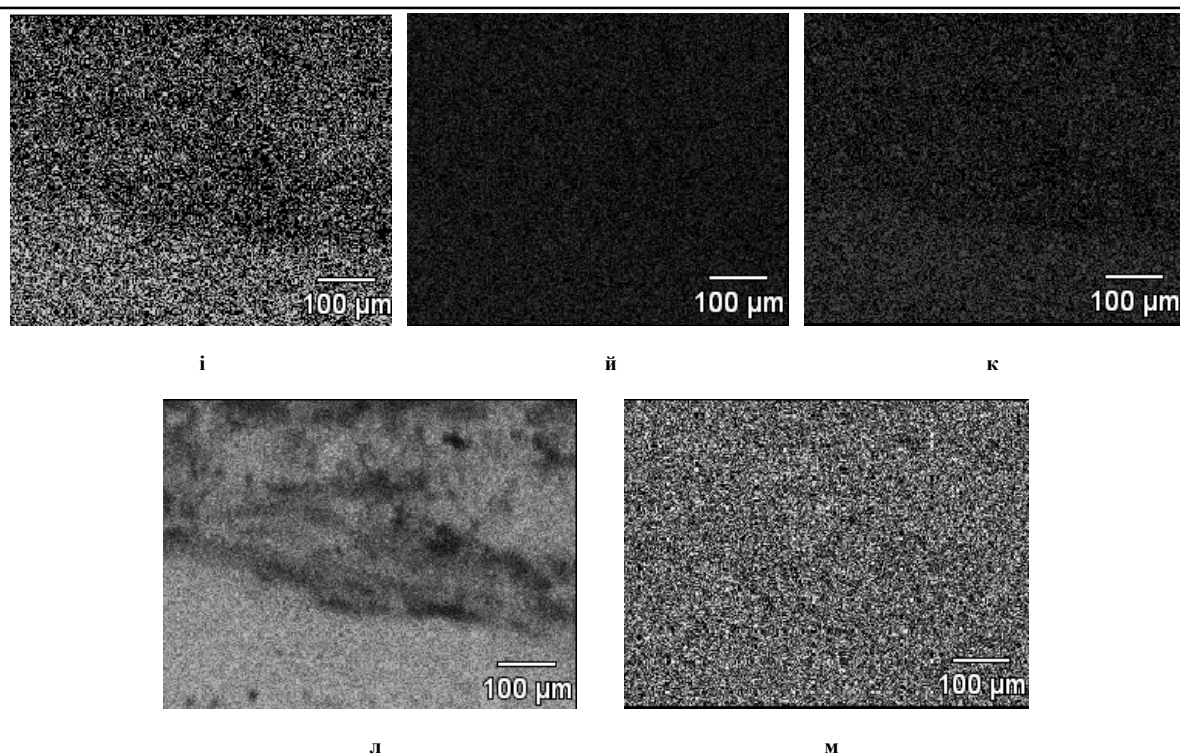
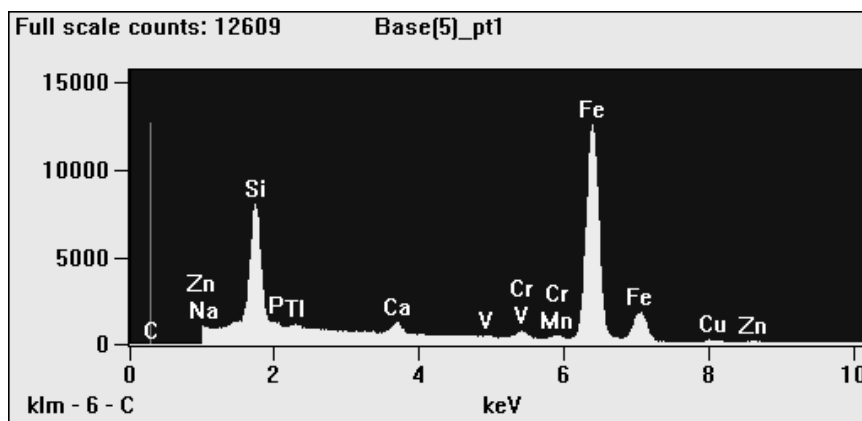


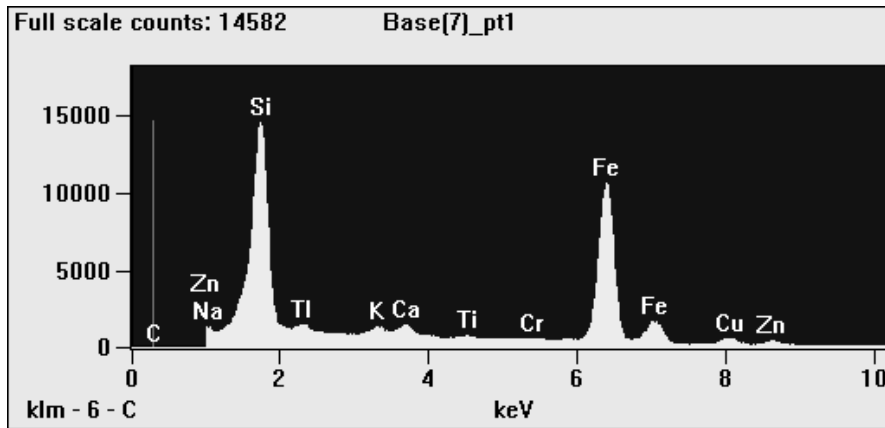
Рис. 5 – Розподіл атомів Fe (а), Na (б), Si (в), Cr (г), Ca (д), Zn (е), Ti (ж), Cu (з), Mn (и), Ni (і), K (й), V (к), С (л), Мо (м) на поверхні тертя

Склад елементів на поверхні тертя порівняно із складом елементів на поверхні зразків до тертя (табл. 1, 2). По всій поверхні тертя і в областях 3, 4 і 5 виявлено підвищений вміст Si. В областях 2 і 5 виявлено підвищений вміст С (табл. 1, 2). Вміст вуглецю зростає до 48,81 ат. % на поверхні мікрообласті 2 (рис. 4, б, 5 л). На поверхні тертя видиме є зростання концентрації атомів С, О а також Si в порівнянні з їх вмістом на вихідній поверхні перед тертям. Вміст кремнію збільшується з 2,74 – 3,30 (табл. 1) до 17,71 – 43,42 (табл. 2) на досліджуваних поверхнях тертя (рис. 4, в, 5, в). Вказує це на те, що в процесі тертя відбувається сегрегація атомів С і Si на поверхню тертя внаслідок термодифузії і її активації фрикційним розігріванням поверхні тертя. В результаті трибосинтезу утворюються нестехіометричні за складом наночастиці, чим і пояснюється висока зносостійкість евтектичних покриттів. Аналогічний механізм зношування розкрито в процесі тертя евтектичних сплавів системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr, одержаних методом електродугового наплавлення з використанням порошкових електродів [9]. Зносостійкість наплавлених евтектичних порошкових електродом ножів в чотири рази і більше вища в порівнянні із наплавкою ванадій і хромовмісним електродом фірми Lastec.

Наявність кисню виявлено в мікрообласті 2 (рис. 4, б). Вміст кисню в мікрооб'ємі, що досліджено, збільшується навіть до 20,63 ат. % (табл. 2). Це підтверджує можливість утворення в процесі тертя оксидів відповідних елементів, тобто про окиснювальний механізм зношування евтектичних покриттів.



а



6

Рис. 6 – Спектр випромінювання атомів із мікробластей 4 (а) і 5 (б)

На рис. 6 показано спектр випромінювання із мікробластей 4 і 5, а на рис. 7 розподіл атомів Si в мікробласті 5.

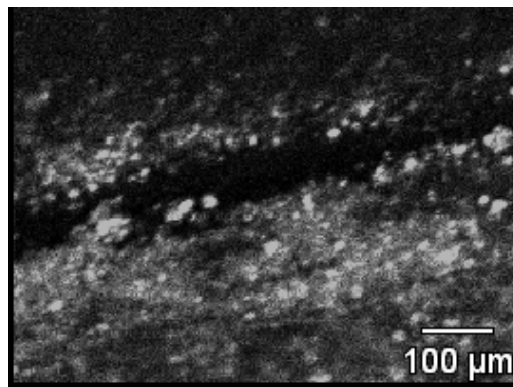


Рис. 7 – Розподіл атомів Si в мікробласті 5

Таблиця 2

Вміст елементів (ат. %) на поверхні тертя наплавленого евтектичного шару

Елемент	По всій поверхні евтектичного шару (рис. 4, а)	Область 2 (рис. 4, б)	Область 3 (рис. 4, в)	Область 4 (рис. 4, г)	Область 5 (рис. 4, д)
C	0,00	48,81	0,00	0,01	0,41
O	-	20,63	-	-	-
Na	12,72	-	8,83	9,58	4,30
Al	1,48	0,17	-	-	-
Si	17,71	1,62	25,24	28,73	43,42
P	-	-	-	1,04	-
K	0,25	-	0,60	1,71	1,59
Ca	0,57	-	0,60	1,71	1,59
Ti	1,38	1,39	-	-	0,39
V	0,22	-	-	0,21	-
Cr	2,21	1,57	1,11	1,17	0,46
Mn	0,79	0,38	0,44	0,73	-
Fe	59,57	24,95	60,25	54,72	43,85
Ni	0,47	0,37	-	-	-
Cu	0,79	-	1,58	1,05	2,66
Zn	1,44	-	1,95	1,05	1,96
Mo	0,39	-	-	-	-

Висновки

Багатокомпонентні евтектичні сплави системи Fe-Mn-C-B-Si-Cr-Ni дають можливість отримати на поверхні сталі B719г зносостійкі покриття методом електродугового наплавлення з використанням порошкових електродів. Зносостійкість наплавлених евтектичним порошковим електродом ножів в чотири рази і більше вища в порівнянні із наплавкою ванадій і хромовмісним електродом Lastec.

Мікроструктурні дослідження евтектичних покриттів показали, що вони представляють собою композиційні дисперсійно зміцнені боридами заліза і карбідами заліза і хрому матеріали [14].

З використанням сканінгового електронного мікроскопу SEM із приставкою EDS показано підвищення вмісту C, O і Si на поверхні тертя евтектичного покриття в порівнянні із вихідним матеріалом. Виявлено, що в процесі тертя відбувається сегрегація атомів C, B і Si на поверхню тертя [9]. В результаті трібосинтезу формуються нестехіометричні фази (нанофази) на основі B₂O₃, SiO₂ і C. Утворення оксидів на поверхні тертя вказує на окиснювальний механізм зношування евтектичних наплавлених шарів.

Література

1. M. Hadad, P.P. Bandyopadhyay, J. Michler, J. Lesag. 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 insitu 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*. - Volume 267. - 2009. - S. 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. М. И. Пашечко, В. М. Голубец, М. В. Чернец. Формирование и фрикционная стойкость евтектических покрытий. - К. - Наукова Думка. - 1993. - 344 с.

Надійшла 03.10.2011