

УДК 669.018.25

М. І. ПАШЕЧКО¹, К. П. ДЗЄДЗИЦ¹, Т. Г. БЕРЕЖАНСЬКИЙ²

¹Люблінський політехнічний інститут, Польща

²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

ВПЛИВ ПОВЕРХНЕВОЇ СЕГРЕГАЦІЇ АТОМІВ НА ВЛАСТИВОСТІ ЕВТЕКТИЧНИХ СПЛАВІВ СИСТЕМИ Fe-Mn-C-B-Si ЛЕГОВАНИХ Cr ДЛЯ НАНЕСЕННЯ НА РОБОЧІ ЕЛЕМЕНТИ ПОЖЕЖНОГО ОБЛАДНАННЯ

Проведені дослідження сегрегації атомів при терті евтектичних сплавів системи Fe-Mn-C-B-Si легОВАНИХ Cr. Покриття наносили методом плазмового наплавлення з використанням порошкових сплавів. Виявлено сегрегацію атомів C, B і Si на поверхню евтектичних сплавів. Нанесення таких евтектичних покриттів на ріжучі частини пожежного обладнання та на деталі агрегатів пожежної техніки, які працюють в умовах тертя при високих штових навантаженнях та температурах дозволяє підвищити їх механічні характеристики, зносостійкість, надійність та довговічність. Завдяки невисокій вартості евтектичних матеріалів на основі заліза нанесення покриттів є економічно доцільним.

Ключові слова: зношування, евтектичні покриття, пожежне обладнання, сегрегація, структура

Постановка проблеми. На сьогодні при гасінні пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій, пожежні підрозділи працюють у дуже складних та небезпечних умовах. При цьому від якості та надійності пожежної техніки і обладнання, які використовують пожежні, залежить життя потерпілих, та їх власне. Зараз у аварійно-рятувальних підрозділах часто використовують техніку та обладнання, які є частково зношеними та у яких вийшов термін експлуатації або ресурс роботи. За даними Національної доповіді про стан техногенної та природної безпеки в Україні за 2014 рік, понад 75% автомобільної та пожежно-рятувальної техніки складають зразки з термінами експлуатації від 15 до 45 років та потребують капітального ремонту або списання. Придбання нової техніки та обладнання і повна заміна всіх зношених деталей є надзвичайно економічно затратним. Тому розробка покриттів, які дозволяли б підвищити зносостійкість робочих елементів пожежної техніки та обладнання та давали б змогу відновлювати зношені частини, є актуальним завданням.

Аналізуючи порошкові матеріали та зносостійкі покриття, які широко використовуються у промисловості, встановлено, що розроблені проф. М.І. Пашечком евтектичні покриття системи Fe-Mn-C-B-Si-Ni-Cr [1], які можна наносити на поверхню металів методом плазмового наплавлення та іншими перспективними методами, порівняно із серійними покриттями, одержаними із порошкових сплавів ПГ-СРЗ, ПГ-10Н-01 (порошок-аналог 10009 «Боротак», фірми Кастилін, Швейцарія), та ПГ-12Н-01, характеризуються у 2-10 і більше разів вищою зносостійкістю [2].

Метою роботи є дослідження зносостійких покриттів із наперед заданими властивостями, для нанесення на ріжучі елементи пожежного інструменту, а саме гідравлічних ножиць Н-32 фірми Гідрум з метою збільшення ресурсу їх роботи.

Одним з перспективних шляхів для підвищення надійності і довговічності деталей і механізмів деталей машин є створення захисних евтектичних покриттів. Покриття можна наносити методами плазмового наплавлення та напилення,

електродугового наплавлення з використанням порошкових дротів та іншими сучасними та перспективними методами поверхневої обробки матеріалів [1–4]. Це дозволяє по суті створити новий конструкційний матеріал із заданими властивостями або комплексом фізико-механічних властивостей.

Процес тертя та зношування матеріалів відбувається разом із складними фізико-хімічно-механічними процесами на поверхні тертя.

Існування механічної, молекулярної, молекулярно-механічної та енергетичної теорій тертя і багатьох фізичних, хімічних та теоретичних описів процесів тертя [5–11] зумовлено складною природою та різноманітністю фізико-хімічно-механічних явищ, які його супроводжують. Навіть незначна зміна режимів тертя може призвести до зміни домінуючих процесів.

Тому доцільним є виявлення та дослідження природи тертя, зношування та мащення з метою побудови узагальнюючих моделей перебігу процесу, а також моделей поверхні тертя.

Одним із методів, за допомогою якого можна дослідити фізико-хімічний стан поверхні тертя є Оже-електронна спектроскопія.

На можливе явище „графітизації” при терті вказував І.В.Крагельський [12]. Однак через відсутність можливості аналізу дуже тонких шарів вуглецю, дане явище не було вивчене.

Особливості перерозподілу атомів вуглецю при фрикційному зміцненні, яке є практично різновидністю тертя, виявив Ю.І.Бабей [13].

На процеси поверхневої сегрегації атомів C, Si та Al при терті сплавів Fe-C, Fe-Si, Fe-Al, Cu-Al, Cu-Sn вказує Д.Баклі [14]. Проте він зауважує, що про однозначний вплив сегрегації вуглецю на антифрикційні властивості сталі вказати важко. З однієї сторони, наявність вуглецю на поверхні тертя знижує адгезійну взаємодію контактуючих твердих тіл, а з іншої – часто зменшує ефективність змащування. При цьому слід відмітити зміну механічних властивостей поверхневого шару згідно відомих ефектів А.Ф.Іоффе, П.А.Ребіндера, Р.Росско та І.Р.Крамера [14].

Л.І.Куксьонова та Л.М.Рибакова [11] за допомогою методу малокутової рентгенографії дослідили особливості будови поверхневого шару при вибіркового переносі міді. Показано, що за наявності на поверхні матеріалу поверхнево активних або інактивних речовин відбувається відповідно пластифікація, за рахунок зменшення потенціального бар'єру, який долають дислокації при виході на поверхню твердого тіла, або окрихчення матеріалів [10].

Методика експерименту. Структурно-хімічні дослідження вторинних структур, утворених у процесі зношування евтектичних покриттів, проведені за допомогою методу Оже-електронної спектроскопії JAMP-10S (JEOL). Зразки вирізали із дисків діаметром 50 мм у вигляді сегментів, на які наносили з протилежної сторони від поверхні тертя концентратори. Сегменти зламували у вакуумі. Аналіз проводився по поверхні злому з глибини до поверхні тертя.

Проведена ультразвукова (в диспергаторі) і іонна (у вакуумному пості) очистка. Прискорююча напруга при аналізі становила 10 кВ, струм, який поглинається зразком – 1 мкА, модулююча напруга – 5 В, залишковий вакуум – 5×10^{-7} Па. Кількісний аналіз проводився з використанням факторів елементної чутливості для чистих металів. Перед записом спектрів проводилось іонне бомбардування аналізованої області пучком іонів аргону (прискорююча напруга – 3 кВ, струм іонів $\sim 10^{-5}$ А). Для запису спектрів вибирались найбільш типові за хіміч-

ним складом області, типовість яких визначалась статистичним набором спектрів, а також з допомогою детектора пружно відбиваючих електронів, формуючих, зокрема, зображення у режимі COMPO (composition) у залежності від складу аналізованої поверхні.

Розподіл елементів визначали за допомогою Superprobe-733. Дослідження зносостійкості евтектичних покриттів на сталі 45 проведено по схемі тертя диск-диск ($\varnothing 50\text{мм}$) з коефіцієнтом взаємного перекриття 0,2. Навантаження становило 4, 8 та 15 МПа, швидкість тертя ковзання – 1 м/с, час дослідження – 8 год. Мазильне середовище – АМГ10. Реалізовано граничне мащення. У якості контртіла використовувалась гартована сталь 45 після низького відпуску із твердістю 52...54 HRC. Зносостійкість зразків визначали ваговим методом, та з допомогою профілографа Suftronic 3⁺.

Евтектичні зносостійкі покриття із розроблених порошкових сплавів отримували методом плазмового наплавлення на модернізованій установці [11]. Відпрацьовано технології плазмового напилення покриттів у захисній атмосфері аргону, імпульсно-плазмового напилення, електродугового наплавлення з використанням порошкових дротів, наморожування, електроіскрового легування та інші [1–4].

Результати досліджень. В результаті проведених досліджень зносостійкості розроблених матеріалів показано, що пара тертя евтектичне покриття – сталь 45 характеризується найвищою зносостійкістю (рис.1). Варто зазначити, що у порівнянні із покриттями одержаними із порошкових сплавів ПГ-СРЗ та ПГ-10Н-01 (порошок – аналог 10009 «Боротак», фірми Кастолін, Швейцарія) евтектичні сплави характеризуються у 2-10 рази вищою зносостійкістю (рис. 1) [1–3].

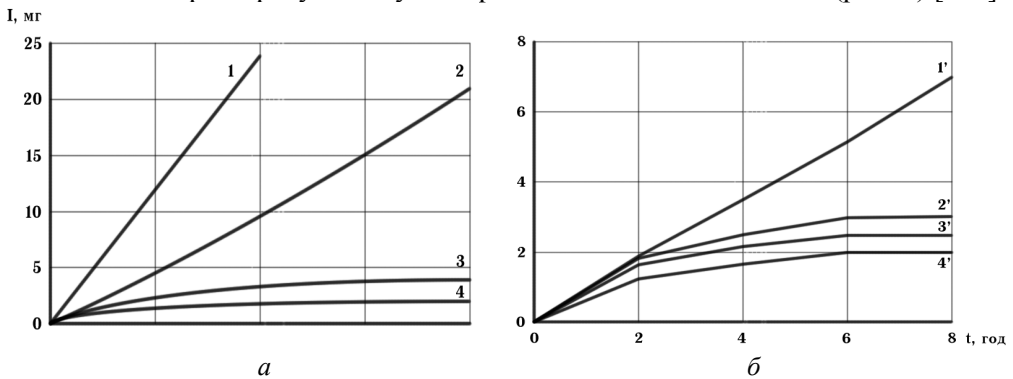


Рис. 1. *a* – Кінетика зношування евтектичних покриттів (1–4), одержаних методом плазмового наплавлення із порошкових сплавів ПГ-СРЗ (1), ПГ-10Н-01 (2), ПГ-12Н-01 (3), ФМІ-12 (4) (*a*) і контртіла із загартованої сталі 45 (1'–4') при граничному змащуванні (*b*)

Структура покриття, одержаного із порошкового сплаву системи Fe-Mn-C-V-Si легованого Cr складається із складнолегованого перліту (матрична фаза), марганцевистого карбїду заліза $\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}$ (армуюча фаза) і включень бориду заліза Fe_2B (дисперсійна фаза). Зміна співвідношення Fe, Mn і C у складі порошкового сплаву суттєво впливає на кількісне співвідношення матричної і армуючої фаз і цим самим сприяє формуванню покриттів із до-, за- і евтектичним складами фаз. Збільшення у складі сплаву Fe або Mn у порівнянні із їхнім евтектичним базовим складом приводить до збагачення рідкої фази відповідними атомами. Це сприяє формуванню у структурі покриття більшої кількості складнолегованого перліту або марганцевистого карбїду заліза $\text{Fe}_{0,4}\text{Mn}_{3,6}\text{C}$ [1–3].

Одержаний природний композит дозволяє реалізувати оптимальне співвідношення зносостійкої твердої і демпфуючої більш пластичної матричної фаз.

Умови дії на композиційний сплав середовища (масляне, абразивне, масляно-абразивне та інші) і руйнування ним поверхні визначають його необхідний хімічний склад, структуру, фазовий стан та властивості.

Зменшення мікротвердості евтектичної основи до 6 ГПа зміщує область максимальної зносостійкості у сторону більш високого (до 60–95%) вмісту надлишкових твердих включень армуючої складової та. Одержані результати, а також аналіз поверхні тертя свідчить про те, що енергія тертя акумулюється в основному у підповерхневому шарі, створює поля напружень, сприяє значному росту кількості дефектів кристалічної решітки, зокрема дислокацій. Ці явища відбуваються у більш пластичній феритній складовій евтектики і призводять до мікронаклепу і втомних процесів. Пластинки $\text{Fe}_{0.4}\text{Mn}_{3.6}\text{C}$ та дрібнодисперсні частинки більш твердих фаз Fe_2B та Cr_7C_3 слугують перешкодами для переміщення дислокацій і не дозволяють їм накопичуватися і трансформуватися у об'ємні дефекти (пори, тріщини). Завдяки високому ступеню диференційованості евтектичних складових вказані процеси локалізуються у міжпластинчастих об'ємах евтектики шириною 1–5 мкм.

Слід відмітити, що демпфуючі властивості матриці при абразивному зношуванні менш важливі, ніж при терті ковзання.

Таким чином виявлено вплив структури евтектичних покриттів на їх зносостійкість і встановлено, що найбільшою зносостійкістю в умовах тертя ковзання характеризуються покриття із доевтектичною структурою, а в умовах ударно-абразивного зношування – із вмістом твердих фазових складових 60–95%. При цьому менш тверді покриття можуть мати більш високу зносостійкість. При абразивному зношуванні зносостійкість покриттів збільшується пропорційно твердості [1–4].

При цьому, чим більш пластичною і м'якою в досліджуваному діапазоні навантажень є евтектика, тим більшу долю енергії тертя вона сприймає і має більшу схильність релаксувати напруження. Відповідно, менша доля енергії при терті буде витратиться на втомні процеси в твердих фазових складових.

Жодних змін в розподілі атомів C, Si, Ni, Mn, B, Fe, Cr на поверхні тертя в результаті мікрорентгенівського аналізу (Superprobe–733, Camebax) не виявлено (рис. 2, 3).

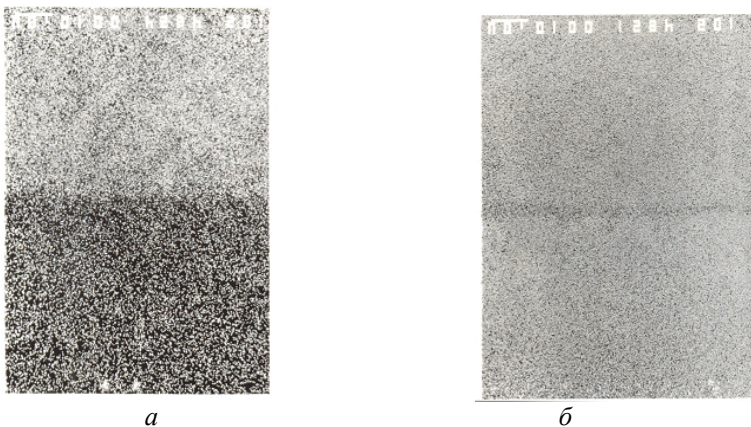


Рис. 2. Розподіл атомів C (а) та Fe (б) по глибині евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-B-Si легованого Cr (PMI-12) на сталі 45 одержаного методом плазмового наплавлення $\times 1000$

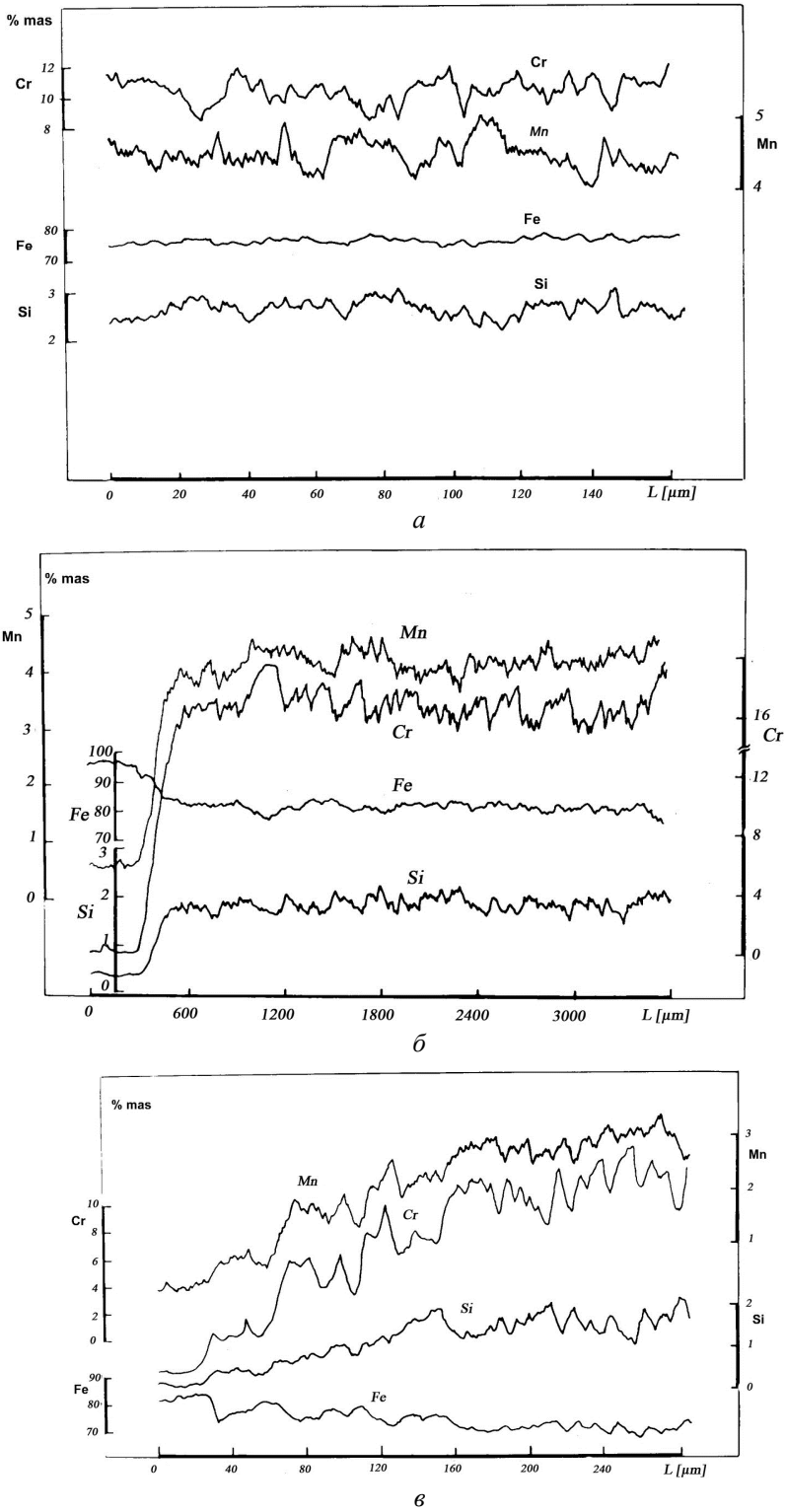


Рис. 3. Розподіл елементів по глибині евтектичного сплаву системи Fe-Mn-C-B-Si легованого Cr (PM1-12) (*a*) і покриття на сталі 45 одержаного методом плазмового наплавлення (*б*, *в*)

Проведені з використанням спектроскопії Auger'а дослідження дозволили виявити сегрегацію атомів на поверхню тертя, яка відбувається при зношуванні розроблених евтектичних покриттів на основі системи Fe-Mn-C-B-Si легованих Cr. Виявлено різке збільшення C, B та Si на поверхні тертя (табл. 1, рис. 4).

Таблиця 1

Вміст елементів у порошковому сплаві і на поверхні тертя (мас. %)

Система	Fe	Mn	C	B	Si	Ni	Cr	O	S	P
	Порошковий сплав									
Fe-Mn-C-B-Si-Cr (PMI-12)	69,4	11,37	0,9	2,7	2,48	–	18,2	–	0,09	0,028
Fe-Mn-C-B-Si-Cr (PMI-12)	Поверхня тертя									
	51,1	10,7	1,2	5,3	12,7	–	17,9	1,1	–	–

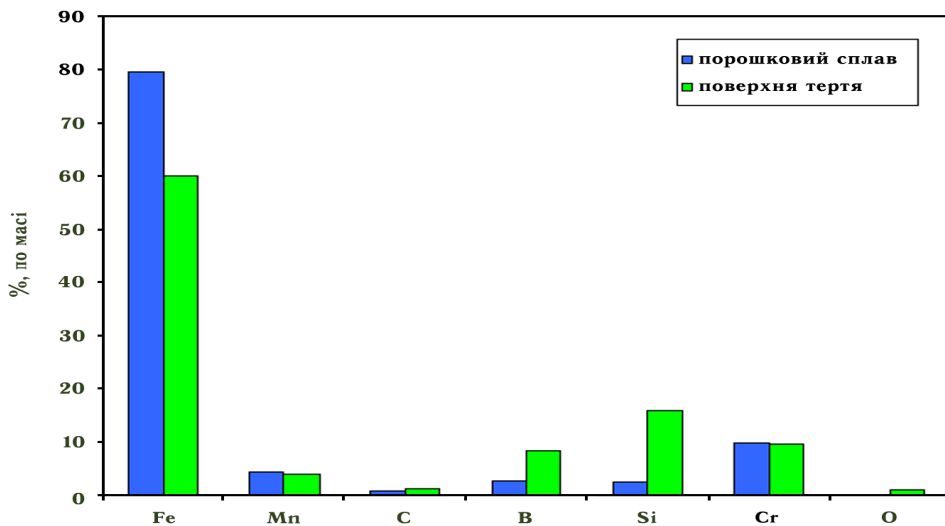


Рис. 4. Розподіл елементів на поверхні тертя та у порошковому сплаві системи Fe-Mn-C-B-Si легованого Cr

Зокрема у порівнянні із порошковим сплавом концентрація C, B та Si збільшується відповідно від 0,9 до 1,2; від 2,7 до 5,3; від 2,48 до 12,7 мас. %.

Форма піків спектра вуглецю дозволяє зробити висновок, що він знаходиться у вільному (аморфному) стані.

Головною відмінною ознакою процесу тертя є відсутність дифузії кисню із атмосфери повітря у глибину покриття. Максимальна локальна кількість кисню 1,1 ат. % свідчить про відсутність процесів фазоутворення великої кількості оксидів на поверхні тертя евтектичного покриття. Утворення оксидів можливе на фізичних плямах контакту.

Тобто однозначно можна стверджувати про неможливість утворення суцільної плівки оксидів на поверхні тертя та окиснення сплаву.

Особливо важким є експериментальне дослідження особливостей структурних змін в тонких поверхневих шарах із мікрокристалічною, або навіть нанокристалічною і аморфною структурою.

При хаотичному розміщенні атомів існує впорядкування близького порядку, в якому домінують відповідні просторові конфігурації, як наслідок появи відпо-

відних хімічних зв'язків.

На фізичних плямах контакту поверхні тертя можливе утворення оксидних фаз системи $B_2O_3 - SiO_2$, оксидів заліза та нестехіометричних на їхній основі. Температура плавлення системи $B_2O_3 - SiO_2$ збільшується від 450 (температура плавлення B_2O_3) до 1650 °C (температура плавлення SiO_2) (рис. 5).

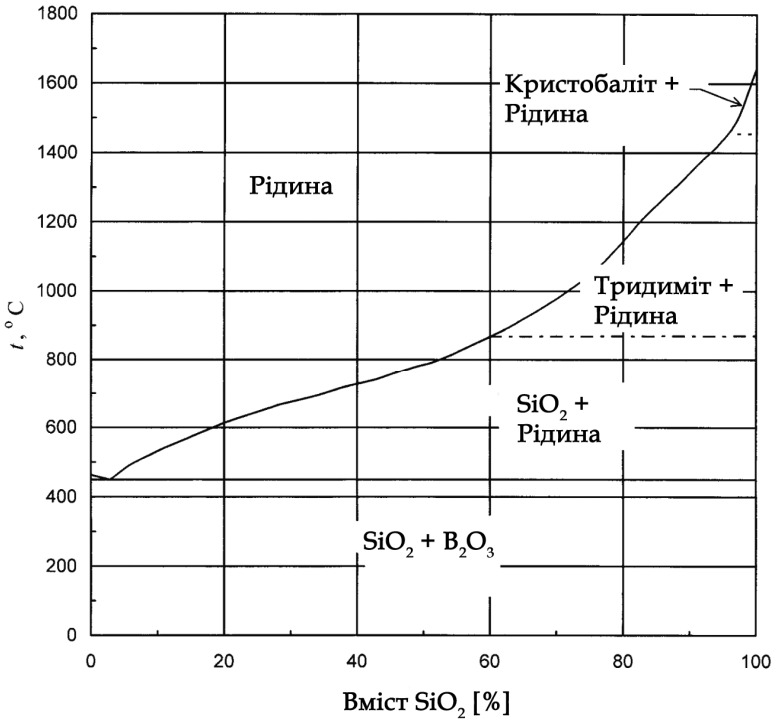


Рис. 5. Діаграма стану $B_2O_3 - SiO_2$

Таким чином можна стверджувати, що в процесі тертя в наслідок сегрегації атомів В та Si на поверхні композиту можливе утворення стехіометричних оксидів B_2O_3 , SiO_2 відповідно системи $B_2O_3 - SiO_2$, і нестехіометричних на їхній основі, які при відповідних режимах тертя розм'якшуються або переходять в рідкий стан. Це сприяє зменшенню коефіцієнта тертя до величини, яка відповідає коефіцієнту тертя у рідині [15].

Наявність вуглецю у формі графіту забезпечує відповідно мащення поверхні тертя та зменшення коефіцієнта тертя [13].

Беручи до уваги те, що температура плавлення B_2O_3 становить 450 °C, $B_2O_3 - SiO_2$ 450–1650 °C можна зробити висновок про те, що температура в зоні тертя перевищувала 450 °C. Розплавлена плівка B_2O_3 , або $B_2O_3 - SiO_2$, що утворилася при терті, слугує мастилом. Вона запобігає підвищенню температури на поверхні тертя вище температури плавлення B_2O_3 або композиції системи $B_2O_3 - SiO_2$.

Висновки. Таким чином, одержані результати дозволили виявити, що при зношуванні відбуваються інтенсивні дифузійні процеси, які призводять до сегрегації і відповідно зростання на поверхні тертя вмісту C, В та Si. В та Si найбільш ймовірно утворюють оксиди на фізичних плямах контакту. Вуглець перебуває у вільному стані. Це призводить до зменшення коефіцієнта тертя, а відповідно до підвищення зносостійкості евтектичних сплавів.

Доцільним є проведення подальших досліджень з метою встановлення механізму зношування поверхневих шарів із врахуванням сегрегації атомів С, В та Si в процесі тертя і самоорганізації поверхні.

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що цей матеріал можна використовувати для нанесення на робочі елементи пожежної техніки та обладнання, які працюють при великих навантаженнях з метою підвищення їх зносостійкості, а в результаті і збільшення ресурсу їх роботи та терміну експлуатації.

Список літератури

1. Поверхневе руйнування та зміцнення матеріалів / М. І.Пашечко, М. В. Чернець, М. Опеляк, Г. Комста. – Львів: Євросвіт, 2005. – 384 с.
2. Чернець М. В. Методи прогнозування та підвищення зносостійкості триботехнічних систем ковзання / М. В. Чернець, М. І. Пашечко, А. Невчас. – Дрогобич: Коло, 2001. – 512 с.
3. Пашечко М. И. Формирование и фрикционная стойкость эвтектических покрытий / М. И. Пашечко, В. М. Голубец, М. В. Чернец. – Київ: Наукова думка, 1993. – 344 с.
4. Голубец В. М. Износостойкие покрытия из эвтектики на основе системы Fe-Mn-C-B / В. М. Голубец, М. И. Пашечко. – Київ: Наукова думка, 1989. – 160 с.
5. Костецкий Б. И. Фундаментальные закономерности трения и износа / Б. И. Костецкий. – Київ: Наукова думка, 1981. – 30 с.
6. Расчет, испытание и подбор фрикционных пар / А. В.Чичинадзе, Е. Д. Браун, А. Г. Гинсбург, и др. – Москва: Наука, 1979. – 267 с.
7. Крагельский И. В. Основы расчета на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – Москва: Машиностроение, 1977. – 256 с.
8. Чичинадзе А. В. Трение и износ фрикционных материалов / А. В. Чичинадзе. – Москва: Наука, 1977. – 135 с.
9. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396 с.
10. Гаркунов Д. Н. Триботехника / Д. Н. Гаркунов. – Москва: Машиностроение, 1985. – 424 с.
11. Рыбакова Л. М. Структура и износостойкость металлов / Л. М. Рыбакова, Л. И. Куксенова. – Москва: Машиностроение, 1982. – 212 с.
12. Крагельский И. В. Трение и износ / И. В. Крагельский. – Москва: Машиностроение, 1968. – 480 с.
13. Бабей Ю. И. Физические основы импульсного упрочнения стали и чугуна / Ю. И. Бабей. – Київ: Наукова думка, 1988. – 240 с.
14. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии / Д. Бакли. – Москва: Машиностроение, 1986. – 360 с.
15. Pashechko M. Segregation of atoms of the eutectic alloys Fe-Mn-C-B at friction wear / M. Pashechko, K. Lenik. // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering. – 2006. – №18. – С. 467–470.

Стаття надійшла до редакції 12.06.2016

M. I. PASHECHKO, K. P. DZEDZIC, T. G. BEREZHANSKIY

EFFECT OF SURFACE ATOMS SEGREGATION ON PROPERTIES EUTECTIC ALLOYS OF Fe-Mn-C-B-Si DOPED Cr FOR USE ON WORK ITEMS FIRE EQUIPMENT

In work research segregation atoms friction eutectic alloys of Fe-Mn-C-B-Si alloy Cr. Coatings applied by plasma deposition using powdered alloys. Discovered segregation of atoms C, B and Si eutectic alloy surface. Application of eutectic coatings for cutting of fire equipment and parts for fire equipment units working in conditions of friction

at high specific loads and temperatures can increase their mechanical properties, durability, reliability and durability. With its low cost of eutectic materials based on iron coating is economically feasible.

Keywords: microhardness, Fire Appliances, eutectic coating, friction, wear resistance.

Пашечко Михайло Іванович – доктор технічних наук, професор. Професор кафедри основ техніки Люблінського політехнічного інституту.

Дзедзіц Кшиштоф – кандидат технічних наук, асистент кафедри основ техніки Люблінського політехнічного інституту.

Бережанський Тарас Григорович – ад'юнкт, викладач кафедри наглядово-профілактичної діяльності Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.