

УДК 621.891

А. О. КОРНІЄНКО, І. А. ГУМЕНЮК, С. В. ФЕДОРЧУК, Ю. В. ПИЩЕНКО

*Національний авіаційний університет України***ТРИБОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМООБРОБЛЕНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ
З НАПОВНЮВАЧАМИ ЕВТЕКТИЧНОГО СПЛАВУ**

Проведено триботехнічні дослідження композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю в яких як наповнювач використано зносостійкий евтектичний сплав, частинки якого переведені шляхом високотемпературного відпаду з вихідного стану в більш рівноважний. Досліджувались наповнювачі евтектичного сплаву з різним рівнем нерівноважного структурного стану. Показано, що керуючи величиною дисперсних кристалів фаз проникнення евтектичних наповнювачів КЕП, можна підібрати параметри відпаду, за яких покриття будуть володіти оптимальними фізико-механічними і триботехнічними властивостями.

Ключеві слова: композиційні електролітичні покриття, евтектичний сплав, відпал, термічна обробка, зносостійкість, плівки.

Сутність проблеми. Досвід експлуатації і результати численних досліджень свідчать про те, що в більшості випадків функціональні властивості і ресурс різних видів машин і обладнання визначається інтенсивним зношуванням важконавантажених деталей вузлів тертя і робочих органів. Водночас традиційні методи нанесення покриттів не задовольняють постійно зростаючі вимоги до них при експлуатації відповідальних вузлів тертя механізмів в умовах динамічних навантажень, температур, активного впливу корозійних середовищ і наявності абразивних потоків.

Ефективним виходом із ситуації, що склалася, є формування на поверхні виробів із конструкційних матеріалів зносостійких композиційних нашарувань із гетерогенним складом, шаруватою або дискретною структурою матрично-наповненого або скелетного типу.

Особливість композиційних покриттів полягає в тому, що саме покриття є порошковою формовкою або для його отримання використовуються порошкові середовища – джерело елементів чи сполук, які утворюють покриття. Так, газотермічні покриття є порошковим псевдосплавом частинок порошку, який напильюється; композиційні електролітичні покриття (КЕП) – механічною сумішшю, яка складається з металевої матриці і порошкового наповнювача; евтектичні покриття – порошковою формовкою скелетного типу у вигляді оплавленого в результаті термічної обробки зміцнюючого або відновлювального порошкового шару на поверхні, яку захищають.

Незважаючи на велику кількість відомостей, що стосуються окремих проблем одержаних КЕП, на сьогодні відсутні систематизовані відомості щодо впливу природи наповнювача, їх розмірів, об'ємного вмісту на триботехнічні характеристики.

Представляло інтерес дослідити процеси тертя та зношування КЕП з наповнювачем евтектичного сплаву. В працях [1; 2] було показано, що евтектичні сплави на основі заліза, що містять в якості зміцнювача фази проникнення, володіють високою зносостійкістю при терті ковзання незмазаних поверхонь в широкому діапазоні умов досліджень (тиску, швидкості, температури) в різних

середовищах. Абсолютні значення зносостійкості таких сплавів визначаються об'ємною часткою зміцнювача, розміром і розташуванням його кристалів, величиною міцності і в значній мірі здатністю до утворення поверхневих плівок, що виконують роль твердого мастила і, таким чином, знижують зношення евтектичного сплаву і контртіла. Відомо [3], що взаємодія твердих тіл, що труться і середовища локалізується у вторинних структурах, які екранують початковий матеріал від механічної і фізико-хімічної деструкції. Тому питанням дослідження поверхневих плівок, що утворюються при терті, приділяється велика увага.

Процес утворення захисних вторинних структур на поверхні тертя пористих матеріалів, до яких відносяться і КЕП, має деякі особливості, які пов'язані зі структурною неоднорідністю і нерівноважним структурно-фазовим станом порошкового евтектичного сплаву.

У відповідності з існуючими теоретичними уявленнями про кристалізацію евтектичних систем зі швидкостями 10^4 – 10^6 К/хв для цілого ряду евтектичних сплавів відбувається зміна механізму кристалізації. При цьому утворюється так звана структура тонкого конгломерату фаз, яка характеризується ще більшою дисперсністю будови, чим литі колоніальні структури, і зберігає той самий фазовий склад, але має інший механізм зміцнення. При таких швидкостях охолодження фази і структури, які утворюються, як правило, знаходяться в нерівноважному стані. Можливе також значне збільшення області твердого розчину фаз проникнення в литій матриці, поява нових метастабільних фаз високої дисперсності.

У зв'язку з цим від таких нерівноважних ультрадисперсних станів можна очікувати особливих триботехнічних властивостей, які визначаються їх структурою і здатністю до окислення [4; 5].

Вихідні порошки містять тонкодисперсні кристали фаз проникнення, до того ж розміри цих кристалів залежать від швидкості охолодження порошку в процесі його виготовлення, тобто від діаметра (табл. 1).

Таблиця 1

Залежність швидкості кристалізації евтектичного порошку ВТН і розмірів евтектичних кристалів від діаметру порошинок

Діаметр порошинок, мкм	Товщина кристалів, мкм	Швидкість кристалізації, V , К/хв	$\lg V$	Примітка
–	3,5	20	1,3	Литий сплав
240	2,0	5×10^4	4,7	–
150	1,2	8×10^4	4,9	–
58	0,3	3×10^5	5,48	–
35	–	6×10^5	5,78	Кристали відсутні

Тут необхідно зазначити дуже важливий момент. Змістити покриття, що знаходиться в нерівноважному стані, в сторону термодинамічної рівноваги можна двома шляхами. Перший шлях – це цілеспрямований зовнішній енергетичний вплив (наприклад, дифузний відпал, зовнішня деформація, лазерний переплав, ультразвукова обробка і т. д.). Другий шлях – це мимовільний зовнішній енергетичний вплив, який виникає безпосередньо в процесі роботи покриття (наприклад, в умовах тертя, корозійної дії, циклічного взаємодії з іншим тілом). У другому випадку можна говорити про самоорганізацію системи і оптимальну її пристосованість до умов зовнішнього руйнівного впливу. Рушійною силою такого процесу є зниження внутрішньої енергії системи при її підводі ззовні за рахунок дисипації будь-яким способом.

У даній роботі поставлено завдання: дослідити триботехнічні властивості одержаних покриттів, евтектичні наповнювачі яких переведені шляхом високо-температурного відпалу з вихідного стану в більш рівноважний. Досліджувались наповнювачі евтектичного сплаву з різним рівнем нерівноважного структурного стану. Зокрема наповнювачі діаметром 250/210 мкм з товщиною кристалів 2,0 мкм і діаметром 28/20 мкм, в якому кристали відсутні, що свідчить про їх більш нерівноважний стан.

Методика досліджень. КЕП одержували зарощуванням електролітичним нікелем порошоків зміцнюючої фази евтектичних гранул різної дисперсності [6] на підкладці зі сталі 12Х18Н10Т. Покриття наносили на призматичні зразки розміром 10х10х5 мм. Нашарування, що містять частинки (фракції 250/210, 28/20 мкм) осаджували на горизонтальному катоді при імпульсному переміщенні електроліту і густині струму від 5 до 10 А/дм², рН 3-4, при температурі електроліту 25 і 40°С.

Для порівняння ефективності впливу на триботехнічні характеристики різних термодинамічних нерівноважних станів випробувалися як вихідні (свіжо напилені), так і відпалені за двома режимами покриття. Відпал проводився у вакуумній печі СШВЛ при тиску залишкової атмосфери 55×10^{-3} мм. рт. ст. і температурі 900 °С (0,75Тпл) протягом 15 і 45 хв. Охолоджувалися зразки з піччю.

Випробування на тертя і знос проводилися на установці М22-П при наступних умовах: схема сполучення – вал – частковий вкладиш; контртіло – Ст.45 (HRC 45); тертя – без змащення; швидкість ковзання – 0,5 м/с; питоме навантаження – 0,3 МПа; площа зразка – 1 см²; шлях тертя – 1000 м.

Дослідження мікроструктури покриттів і поверхні тертя проводилися на металографічному мікроскопі «Neophot-2» і растровому електронному мікроскопі Jeol-45 з використанням аналізатора з мікрорентгеноспектральною приставкою МХР. При цьому з метою отримання загальних закономірностей формування поверхневих плівок аналізувалися різні ділянки зношеної поверхні.

Результати і обговорення. Дослідження тертя та зношування термооброблених КЕП з евтектичними наповнювачами двох фракцій показало різну їх зносостійкість в залежності від часу відпалювання (рис. 1).

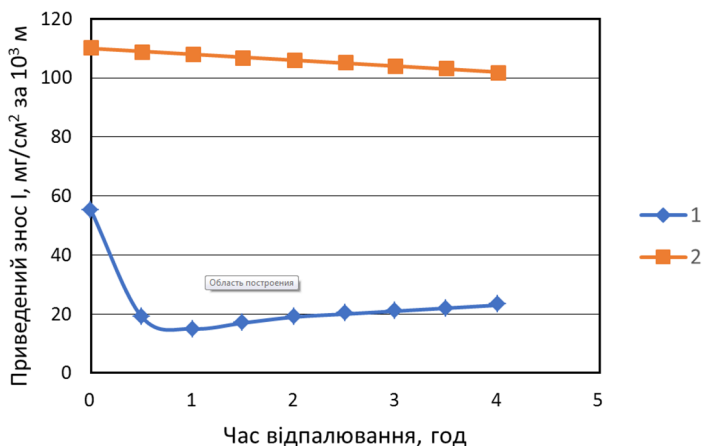


Рис. 1. Зносостійкість відпалених КЕП з евтектичними включеннями 28 мкм (1) і 250 мкм (2)

Встановлено підвищення зносостійкості КЕП з евтектичним наповнювачем фракції 28/20 мкм вже після відпалювання протягом 0,5 год. В той час як відпалювання покриття з евтектичним наповнювачем фракції 250/210 мкм не суттєво впливає на його зносостійкість. Це пов'язано з різним ступенем нерівноважного стану евтектичних складових покриттів і зміною їх властивостей під час відпалювання.

Суттєві зміни відбуваються в евтектичних включеннях фракції 28/20 мкм, які знаходяться в більш нерівноважному стані.

Високотемпературний відпал покриття призводить до часткового розпаду пересиченої металевої матриці евтектичних включень, зниження мікротвердості і коагуляції спочатку високодисперсних кристалів боридів [7; 8]. Зі збільшенням часу відпалу ступінь розпаду твердого розчину на основі заліза і ступінь коагуляції кристалів боридів зростають, що призводить до зміни мікромеханічних властивостей структурних складових покриття. Зокрема знижується їх мікротвердість та крихкість (табл. 2).

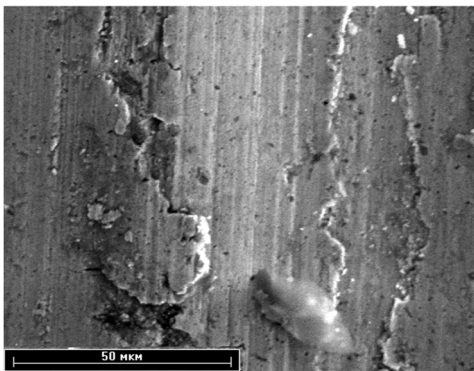
Таблиця 2

**Мікротвердість евтектичних включень КЕП
в залежності від часу відпалювання**

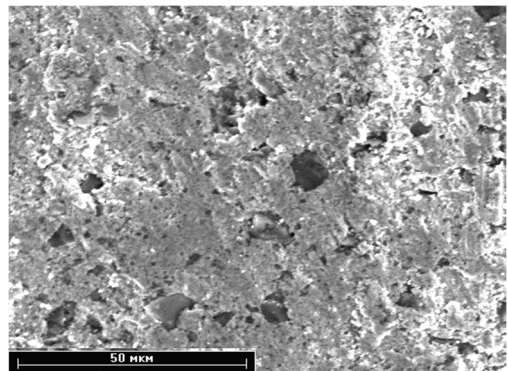
Розмір евтектичних включень, мкм	Мікротвердість до відпалювання H_v , МПа	Мікротвердість H_v , МПа		
		Тривалість відпалювання, хв		
		30	60	90
250	9700	8400	8100	8050
28	11200	7800	6400	6300

Це, в свою чергу, відбивається на триботехнічних характеристиках покриття в цілому (рис. 1).

Наведене пояснення підтверджується дослідженням поверхні тертя відпалених покриттів. Якщо на поверхні тертя покриття з крупними включеннями видно сліди абразивного зношування вільними частинками наповнювача, або закріпленими (шаржированими в поверхню контртіла) (рис. 2, а), то для композицій з розмірами частинок 28 мкм відсутні процеси схоплювання, абразивного і крихкого руйнування, має місце нормальний механо-окислювальний процес зношування (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Топографії поверхонь тертя КЕП з включеннями: а – 250 мкм; б – 28 мкм

За результатами дослідження хімічного складу, утворені в процесі тертя плівок були встановлені наступні закономірності. В основі всіх окисних плівок, як вихідного, так і відпаленого станів, лежать з'єднання заліза з киснем, іноді

леговані хромом і нікелем в кількості (в атомних частках, %) 18,6 – 1,8 і 4,9 – 0,17 відповідно. Склад цих сполук відповідає формулам Fe_3O_4 і Fe_2O_3 . Інші метали, присутні в покритті, незважаючи на їх велику, в порівнянні з залізом активність, самостійних окислів не утворюють. Збільшення часу відпалу сприяє зниженню корозійної стійкості вихідного покриття і, як наслідок, призводить до збільшення кількості окисних плівок (якісна оцінка проводилася за інтенсивністю піків елементів) (табл. 3).

Таблиця 3

**Склад плівок на поверхні тертя КЕП
з евтектичними включеннями 28 мкм сплавів (вміст елементів, мас. %)**

Елемент	Відпалений стан покриття, хв	
	30	60
Титан	0,2392	0,0998 / 0,0994
Ванадій	1,1559	0,3849 / 0,3818
Хром	2,6633	2,1995 / 1,4869
Залізо	67,3930	66,9356 / 69,7064
Нікель	0,6771	0,3760 / 0,3764
Кисень	27,8725	30,0112 / 27,9491
Склад оксиду	Me_3O_4	Me_2O_3 / Me_3O_4

Висновки

Таким чином, керуючи величиною дисперсних кристалів фаз проникнення евтектичних наповнювачів КЕП, можна підібрати параметри відпалу, за яких покриття будуть володіти оптимальними фізико-механічними і триботехнічними властивостями.

Список літератури

1. Шурин А. К., Панарин В. Е., Киндрачук М. В. Износостойкость нержавеющей эвтектических сплавов с фазами внедрения. – В кн.: Проблемы трения и изнашивания. Киев: Техніка, 1981, вып. 19, с. 17-28.
2. Назаренко П. В., Макаркин А. Н., Шурин А. К. и др. Исследование износостойкости композиционных сплавов на основе железа в среде газообразного водорода. – Трение и износ, 1982, т. 3, № 3, с. 495-500.
3. Костецкий Б. И., Натансон М. Э., Бершадский Л. И. Механохимические процессы при граничном трении. – М.: Наука, 1976. – 170с.
4. Влияние метастабильного состояния поверхностных слоев твердых тел на трение и износ / В. Н. Дубняков, С. П. Козырев, Н. В. Мальшева, С. Ф. Пулим // Трение и износ. – 1983. – 4, № 5. – С. 925-929.
5. Панарин В. Е., Микуляк О. В., Грипачевский А. Н. Исследование поверхностных пленок при трении газотермических эвтектических покрытий // Там же. – 1984. – 5, № 4. – С. 611-616.
6. Пат. 102244 України. Зносостійкий евтектичний сплав на основі заліза / Кіндрачук М.В., Лабунець В.Ф., Загребельний В.В., Денисенко М.І., Гуменюк І.А., Ничепорук В.В., Добрянський С.С.; № у 201503259; Заявл.07.14.2015; опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20. – 3с.
7. Киндрачук М. В., Панарин В. Е., Москаленко Ю. Н. Влияние термоциклической обработки на структуру и свойства плазменных покрытий из эвтектических сплавов на основе железа // Металловедение и обработка металлов. – 1995. – №1. – С. 38 – 45.
8. Панарин В. Е., Микуляк О. В., Киндрачук М. В. Возможность управления триботехническими свойствами эвтектических газо-термических покрытий на основе железа с фазами внедрения // Трение и износ. – 1985. – Т.6. – №5. – С. 932 – 936.

A. O. KORNIENKO, I. A. HUMENIUK, S. V. FEDORCHUK, Y. V. PYCHENKO

TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE HEAT-TREATED COMPOSITE ELECTROLYTIC COATINGS WITH EUTECTIC FILLER

The tribotechnical investigations of composite nickel-based electrolytic coatings were carried out. As composite coating filler the wear-resistant eutectic alloy powder was used. The filler particles are transformed by high-temperature annealing of the initial state to equilibrium more. Fillers of eutectic alloy with different levels of nonequilibrium structural state were investigated. It is shown, that by controlling the dimensions of interstitial phases disperse crystals of the composite electrolytic coating eutectic fillers it is possible to select the annealing parameters, which allow the coatings will have optimal physical, mechanical and tribotechnical properties.

Key words: composition electrolytic coatings, eutectic alloy, annealing, heat treatment, wear-resistance, films.

Referenses

1. Shurin A. K., Panarin V. E., Kindrachuk M. V. Iznosostojkost' nerzhavjushchih jevtekticheskikh splavov s fazami vnedrenija. – V kn.: Problemy trenija i iznashivaniya. Kiev: Tehnika, 1981, vyp. 19, s. 17-28.
2. Nazarenko P. V., Makarkin A. N., Shurin A. K. i dr. Issledovanie iznosostojkosti kompozicionnyh splavov na osnove zheleza v srede gazoobraznogo vodoroda. – Trenie i iznos, 1982, t. 3, № 3, s. 495-500.
3. Kosteckij B. I., Natanson M. Je., Bershadskij L. I. Mehanohimicheskie processy pri granichnom trenii. – M.: Nauka, 1976. – 170s.
4. Vlijanie metastabil'nogo sostojanija poverhnostnyh sloev tverdyh tel na trenie i iznos / V. N. Dubnjakov, S. P. Kozyrev, N. V. Malysheva, S. F. Pulim // Trenie i znos. – 1983. – 4, № 5. – S. 925-929.
5. Panarin V. E., Mikuljak O. V., Gripachevskij A. N. Issledovanie poverhnostnyh plenok pri trenii gazotermicheskikh jevtekticheskikh pokrytij // Tam zhe. – 1984. – 5, № 4. – S. 611-616.
6. Pat. 102244 Ukrainy. Znosostiyky evtektichnyy splav na osnovi zaliza / Kindrachuk M.V., Labunets' V.F., Zahrebel'nyy.V.V., Denysenko M.I., Humenyuk I.A., Nycheporuk V.V., Dobryans'ky S.S.; # u 201503259; Zayavl.07.14.2015; opubl. 26.10.2015, Byul. # 20. – 3s.
7. Kindrachuk M. V., Panarin V. E., Moskalenko Ju. N. Vlijanie termociklicheskoj obrabotki na strukturu i svojstva plazmennyyh pokrytij iz jevtekticheskikh splavov na osnove zheleza // Metallovedenie i obrabotka metallov. – 1995. – №1. – S. 38 – 45.
8. Panarin V. E., Mikuljak O. V., Kindrachuk M. V. Vozmozhnosti upravlenija tribotekhnicheskimi svojstvami jevtekticheskikh gazo-termicheskikh pokrytij na osnove zheleza s fazami vnedrenija // Trenie i iznos. – 1985. – T.6. – №5. – S. 932 – 936.

Корнієнко Анатолій Олександрович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет.

Гуменюк Ігор Анатолійович – здобувач, Національний авіаційний університет.

Федорчук Світлана Володимирівна – старший викладач кафедри машинознавства, Національний авіаційний університет.

Пищенко Юлія Віталіївна – студентка 6 курсу НН Аерокосмічного інституту, Національний авіаційний університет.