УДК 621.891 DOI: 10.18372/0370-2197.1(90).15250

М. В. КІНДРАЧУК[1], В. В. ХАРЧЕНКО[1], О. В. ТІСОВ[1], І. А. ГУМЕНЮК[2], Н. М. СТЕБЕЛЕЦЬКА[3], А. О. ЮРЧУК[1], Л. А. ГЛОВИН[3]

[1]***Національний авіаційний університет, Київ***
[2] ***ПАТ "Укртелеком", Київ***
[3]***ВП НУБіП України " Бережанський агротехнічний інститут"***

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПЛАЗМОВИХ ЕВТЕКТИЧНИХ ПОКРИТТІВ ТЕРМОЦИКЛЮВАННЯМ ЛАЗЕРОМ

У роботі проведено комплексне дослідження структури та властивостей плазмових евтектичних покриттів, після термоциклічної обробки (ТЦО). Показано, що така обробка суттєво підвищує адгезійно – когезійну міцність покриттів. За результатами проведених досліджень встановлено, що стійкість проти спрацювання двошарових покриттів у всьому діапазоні температур вища ніж для одношарових. Це в першу чергу зумовлене підвищенням адгезійних властивостей, зниженням градієнту твердості по глибині покриття, підвищенням термостабільності покриття завдяки бар'єрним властивостям легованого боридного прошарку. Керуючи величиною дисперсних кристалів фаз проникнення і одночасно станом металевої матриці, можна підібрати режими ТЦО, при яких покриття отримують оптимальні триботехнічні властивості.

Ключові слова: *плазмове покриття, зношування, зносостійкість, термоциклічна обробка, адгезійна міцність, евтектичні сплави, оплавлення лазером.*

Вступ і постановка завдань дослідження. Нанесення на робочі поверхні захисних газотермічних покриттів є одним із найбільш ефективних способів захисту деталей і механізмів від різного виду спрацювання. Серед матеріалів, що знаходять широке використання для напилення, особливий інтерес викликають евтектичні сплави на основі заліза. При газотермічному напиленні таких порошкових матеріалів, коли кристалізація протікає зі швидкостями 10^4 – 10^6 °С/с, утворюються покриття з евтектичною, мікрокристалічною або аморфною структурою [1]. Утворені при таких швидкостях охолодження фази і структури перебувають у метастабільному, незрівноваженому стані, що повинно сприяти їхній структурній самоорганізації при терті [2; 3].

Однак, стійкість таких покрить, особливо в умовах динамічних навантажень, а також роботи при високих температурах у режимі теплозмін, як правило, невисока в результаті їхньої крихкості, пористості, низької адгезійної міцності, великого градієнта властивостей, протікання дифузійних процесів на границі «покриття-підкладка».

Існує багато способів підвищення адгезійної міцності газотермічних покриттів. З метою підвищення міцності зчеплення плазмового покриття із основою широко використовують дифузійне відпалювання при 1000–1100ºС, що пов'язане із великими енерговитратами і небажаним перегрівом сталі. Ефективного підвищення адгезійних властивостей можна досягнути дифузійним відпалюванням плазмових покриттів у режимі термоциклювання [4–6]. Термоциклічна обробка (ТЦО) в інтервалі температур, що охоплюють поліморфні перетворення, призводить до інтенсифікації фазових перетворень. Ультразвукова обробка внаслідок протікання дифузійних процесів суттєво підвищує когезійну міцність покриттів [7]. У роботах [8–10] досліджували процеси, що протікають в газотермічних покриттях при високотемпературному відпалюванні, а також при оплавленні.

При цих способах підвищення адгезійної міцності покриттів, однак, втрачається сприятливий при терті неврівноважений стан структури (метастабільні фази, перенасичені тверді розчини фаз проникнення у матриці). В той же час відомо [11], якщо структура за даних умов навантаження нестабільна, тобто здатна перебудовуватися, то енергія деформації тертям розсіюється на сприятливі релаксаційні процеси, і стійкість проти спрацювання підвищується. Використання при ізотермічному, а також термоциклічному відпалі пічного об'ємного нагріву, якому властива інерційність нагріву та охолодження, не дозволяє одночасно забезпечувати підвищення адгезійної міцності зі збереженням певного рівня вихідного незрівноваженого стану плазмового покриття.

У зв'язку з цим в роботі використовували ТЦО покриттів з використанням лазера, а також попереднє перед напиленням нанесення бар'єрних боридних шарів, що обмежують взаємну дифузію елементів покриття і підкладки, і деградацію їх структури.

Методика досліджень. Для нанесення покриттів використовували порошки евтектичних сплавів систем 12Х18Н9Т–TiB_2–VC (ВТН) і 12Х18Н9Т–TiB_2–CrB_2 (ХТН), хімічний склад яких наведений в роботі [12].

Напилення здійснювали на підкладки із мало - і середньовуглецевих сталей і сталі 12Х18Н9Т. Захисні бар'єрні шари отримували лазерним легуванням з обмазок, що містили аморфний бор і карбід бору. Товщина покриття складала від 100 до 200 мкм.

Мікроструктуру покриттів вивчали металографічно, мікротвердість визначали на приладі М-400 фірми «Leco Corporation» з автоматичним навантаженням. Розподіл елементів у покритті досліджували за допомогою растрового електронного мікроскопу-аналізатора «Camscan-4DV» з програмно-математичним забезпеченням. Триботехнічні випробування проводили на машині торцевого тертя при навантаженнях 1–3 МПа, швидкостях ковзання 0,1–1,9 м/с, температурах 20–800ºС. За контртіло був обраний сплав ЖС6К.

Термоциклічну обробку у діапазоні температур 900↔500ºС проводили на лазерній установці «ЛАТУС-31». Температуру верхньої границі циклу обирали, виходячи із побудованих раніше діаграм фазових рівноваг, вона становила $0{,}75T_{пл}$. Така температура допускає відсутність морфологічних змін в евтектичних кристалах фаз проникнення, але може істотно вплинути на розпад металевої основи матриці, коагуляцію дисперсних кристалів фаз проникнення, що містяться у білих шарах, а також на дифузійні процеси в зоні покриття – сталь. Кількість термоциклів обирали з урахуванням отримання рівнів структурного стану, що наближується до зрівноваженого. Таким чином, вибраний температурний і кількісний режим ТЦО дозволяв впливати на дифузійні процеси на границі покриття з підкладкою, структурний стан і термодинамічну рівновагу білих шарів.

Результати дослідження та їх обговорення У напилених евтектичних покриттях спостерігаються слабко протравлені області, названі білими шарами, нерозплавлені або частково розплавлені порошинки, а також незначна кількість пор. Необхідно відзначити відносно невелику пористість покриттів (біля 10%). Білі шари, напевно, виникають внаслідок швидкої кристалізації рідких крапель на холодній підкладці. Такі шари мають високу хімічну стійкість, вони практично не взаємодіють із реактивом, який виявляє структуру сплаву до напилення, що й визначило їхню назву.

В обох системах евтектичних покриттів ВТН і ХТН, починаючи з трьох термоциклів, спостерігається помітне зменшення границь між білими шарами і їх розпад. В покритті ХТН після триразової ТЦО збільшується кількість сірих шарів, тобто білих шарів, що частково розпались. В результаті збільшення кількості термоциклів до п'яти має місце більш повний розпад білих шарів з виділенням в них дисперсних частинок фаз проникнення. Одночасно із цим відбуваються процеси коагуляції, коалесценції, що призводить до збільшення розмірів виділених частинок і появи твердого розчину із значно меншою кількістю фаз проникнення.

Кінетика зміни властивостей структурних складових покриттів в залежності від кількості термоциклів наведена в табл. 1. Спостерігається зменшення мікротвердості для всіх структурних складових, що пов'язано із розпадом перенасиченого твердого розчину основи, що пов'язано із розпадом перенасиченого твердого розчину основи. Необхідно відзначити, що мікротвердість евтектичних областей знижується тільки після чотирьох термоциклів. Можна припустити, що вказане зниження мікротвердості викликане розпадом металевої матриці, а протікання процесів коагуляції із збільшенням кількості термоциклів не призводить до суттєвого зниження мікротвердості. Для білих шарів характерним є постійне зниження мікротвердості із збільшенням кількості термоциклів. При цьому після шести циклів твердість білих шарів і евтектичних областей стає приблизно рівною. Мікротвердість покриття після такої обробки дещо нижча від напиленого без ТЦО, але вища, від оплавленого лазером.

Таблиця 1

Мікротвердість і об'ємний вміст структурних складових плазмового покриття порошком евтектичного сплаву ВТН

Структурна складова	Об'ємний вміст структурної складової, %	Мікротвердість H_{100}, МПа					
		до ТЦО	Кількість циклів ТЦО				
			2	4	6	8	10
Евтектичні області	12 – 14	9750	9100	8740	7800	7150	7175
Білі шари	70 – 80	1340	10250	9100	7750	6800	6780

Подальше збільшення кількості обробок призводить до зменшення мікротвердості білих шарів порівняно з евтектичними складовими. Це, напевно, обумовлено коагуляцією фаз проникнення в білих шарах, що призводить до зниження їхньої міцності.

Термоциклічна обробка супроводжується розвитком релаксаційних процесів, які підвищують пластичність напилених покриттів, що прямо підтверджується відсутністю тріщин на відбитках від замірювання мікротвердості і узгоджується з даними інших досліджень. Так, в роботі [8] показано, що відпал газотермічних покриттів підвищує модуль пружності білих шарів і пластичність як білих шарів, так і евтектичних складових. Виходячи з цього, має певний сенс дослідження пористості, міцності зчеплення із підкладкою, дифузійних процесів у плазмовому покритті після 2-6-разової ТЦО, коли зберігається відносно висока мікротвердість білих шарів і покриття в цілому.

Як видно із результатів, наведених в табл. 2, термоциклювання знижує пористість і підвищує міцність зчеплення плазмового покриття порівняно з вихідним без ТЦО. Підвищення адгезійно-когезійних властивостей напиленого покриття зумовлене інтенсифікацією дифузійних процесів при ТЦО. При дослі-

дженні мікроструктури, отриманої в режимі «фазовий контраст», була виявлена сіра зона товщиною 1,5–2 мкм, прилегла збоку підкладки до границі розділу з матрицею. Для виявлення стану, в якому знаходяться хімічні елементи в цій зоні, були проведені дослідження по програмі «Digimap-M». Встановлено, що покриття містять досить велику кількість ванадію. Він дифундує на границю «покриття – підкладка» і взаємодіє із залізом та залізом і хромом одночасно.

Таблиця 2

Залежність мікротвердості, пористості і міцності зчеплення з підкладкою 12Х18Н9Т від обробки плазмового покриття ВНТ

Обробка	Мікротвердість, H_{100}, МПа	Пористість, %	Міцність зчеплення з підкладкою, МПа
Плазмове напилення	12400	10 – 12	16 – 20
Плазмове напилення + 4ТЦО	10050	7 – 9	90 – 100
Плазмове напилення на бар'єрний прошарок	11750	7 – 9	30 – 40*
Плазмове напилення на бар'єрний прошарок +4 ТЦО	10200	5 – 7	120 – 150
Оплавлення лазером	8250	0,5 – 1	400 – 450

* Міцність зчеплення плазмового покриття з легованим боридним прошарком

Для визначення кількісного складу хімічних елементів у системі «покриття-підкладка» був проведений мікро рентгеноспектральний аналіз. Аналіз проводився в п'яти точках по довжині відрізка, перпендикулярного до зони розділу покриття з підкладкою; відстань між точками становила 20 мкм. Локальність зонду – діаметром 2,5 мкм, глибина h = 1,5 мкм. Для прицільного попадання зондом у досліджувані фази використовували режим SEM – фазовий контраст. Хімічний склад точок аналізу при цьому визначався за допомогою ЕОМ.

Згідно з даними кількісного аналізу побудовані гістограми розподілу елементів (рис. 1). Аналіз розподілу елементів на границі «покриття – підкладка» показує, що ТЦО викликає взаємне масопереносення ванадію, титану, хрому, бору в підкладку і заліза та марганцю з підкладки в покриття. Межа між покриттям і підкладкою стає розмитою і являє собою тверді розчини цих легуючих елементів у залізі, про що свідчать дані хімічного складу і мікротвердості.

Таким чином, обраний режим ТЦО (4-6 термоциклів) дозволяє підвищити адгезійні властивості та пластичність покриття, знизити його пористість і одночасно зберегти відносно високу мікротвердість.

Однак інтенсифікація дифузійних процесів ТЦО призводить до підвищення адгезії, а при тривалому її впливі – до деградації вихідної структури та фазового складу. В зв'язку з цим нами проведено дослідження властивостей двошарового покриття з бар'єрним дифузійним шаром, нанесеним лазерним легуванням.

Проведені дослідження показали, що бар'єрні прошарки являють собою структуру евтектичного тину на основі системи Fe-B-C. Характер цієї структури і ступінь її незрівноваженості залежить від режимів лазерної обробки. Мікротвердість такого шару – 6000-9000 МПа. Експериментально встановлено, що міцність зчеплення плазмового покриття із легованим шаром вища, ніж із стальною підкладкою (табл. 2). Напевно, низька температура плавлення легованого прошарку (легкоплавка евтектика Fe – Fe_2B) і його підплавлення при напиленні сприяють хімічній взає-

модії покриття з прошарком. Крім того, незрівноважений стан легованого лазером боридного шару сприяє підвищенню адгезії плазмового покриття.

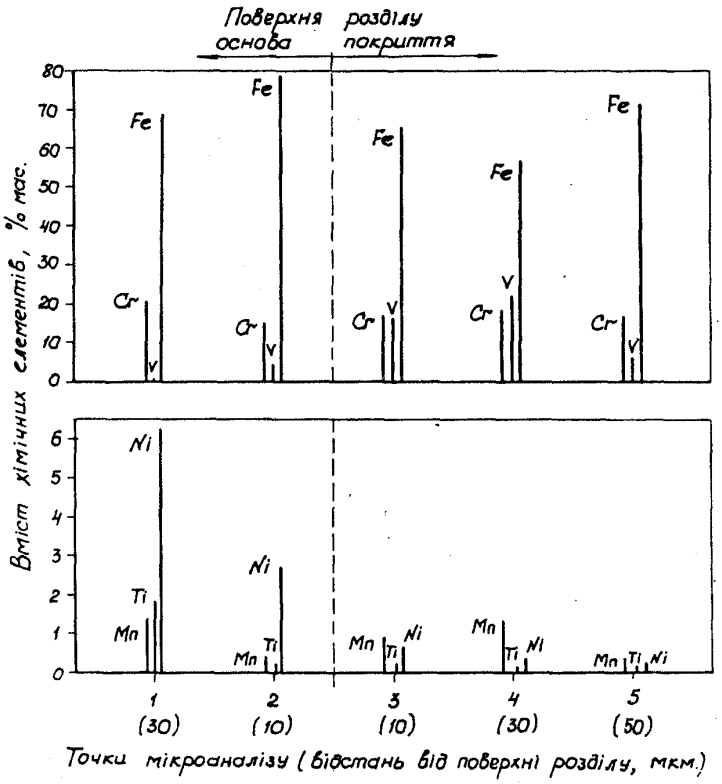

Рис. 1. Гістограми розподілу елементів у плазмовому покритті ВТН і підкладці 12Х18Н9Т після чотириразової ТЦО

Рентгеноспектральний аналіз зразків з двошаровим покриттям, підданих 50-кратній ТЦО, не виявив взаємної дифузії елементів евтектичного покриття з бар'єрним шаром. Спостерігали лише дифузію бору в плазмове покриття, а також у підкладку із бар'єрного шару і заліза в цей шар. Обмеженість процесів масопереносу у працюючому покритті і сприяє збереженню його високих експлуатаційних властивостей.

Мікроструктури покриття після високотемпературного випробування на тертя та зношування також підтверджують відсутність взаємодії бар'єрного шару з покриттям і свідчать про термостабільність двошарових покриттів. Випробування на тертя та зношування плазмових покриттів у вихідному стані і після ТЦО показало їхню різну стійкість до спрацювання (рис. 2). ТЦО дозволяє змінювати структурний стан і термодинамічну рівновагу білих шарів, підвищуючи при цьому кількість ділянок із більш пластичною евтектичною структурою. Така структура може сприймати значну долю енергії і в більшій мірі релаксувати напруження при терті. Зниження крихкості і підвищення пластичності покриття після ТЦО збільшує його здатність до утворення вторинних структур, що свідчить про його сприятливі реологічні властивості.

На поверхнях тертя покриттів після ТЦО утворюються суцільні оксидні плівки, в той час як на покриттях без ТЦО утворюються плівки у вигляді окремих ділянок. Передумовою цього може бути зниження корозійної стійкості бі-

лих шарів при їхньому розпаданні. Стійкість проти спрацювання покриття ХТН після ТЦО підвищується більш істотно у порівнянні з ВТН, спостерігається зниження коефіцієнта тертя.

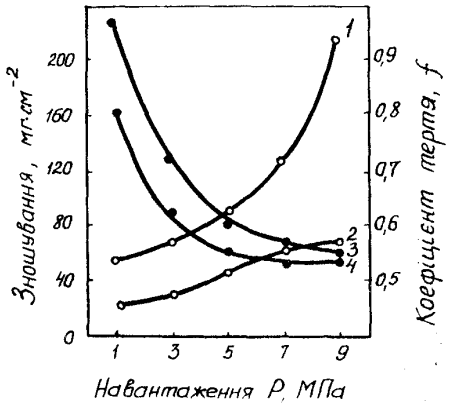

Рис. 2. Залежність триботехнічних властивостей плазмового покриття ВТН без ТЦО (*1*, *3*) та з ТЦО (*2*, *4*) від навантаження: *1*, *2* – приведене спрацювання за 10^3 м; *3*, *4* – коефіцієнт тертя

Висновки. У роботі проведено дослідження плазмових евтектичних покриттів після термоциклювання лазером.

У результаті проведених триботехнічних випробувань при високих температурах встановлено, що стійкість проти спрацювання вихідних плазмових покриттів і після термоциклювання приблизно однакова. Це пояснюється повним розпадом твердих метастабільних структур та інтенсивним окисленням покриттів через їхню пористість.

Результати випробування також свідчать, що стійкість проти спрацювання двошарових покриттів у всьому діапазоні температур вища ніж для одношарових. Це в першу чергу зумовлене підвищенням адгезійних властивостей, зниженням градієнту твердості по глибині покриття, підвищенням термостабільності покриття завдяки бар'єрним властивостям легованого боридного прошарку.

Таким чином, керуючи величиною дисперсних кристалів фаз проникнення і одночасно станом металевої матриці, можна підібрати параметри ТЦО, за яких плазмові покриття отримуватимуть високу адгезійно-когезійну міцність із одночасним підвищенням триботехнічних властивостей.

Список літератури

1. Таран Ю.Н. Структура эвтектических сплавов / Ю.Н. Таран, В.И. Мазур. – М., 1972. – 240с.

2. Костецкий Б.И. Структурно – энергетическая приспосабливаемость материалов при трении / Б.И. Костецький // Трение и знос. – 1985. т.6. – № 2. – С. 850–857.

3. Бершадский Л.И. О самоорганизиции и компетенции износостойкости трибосистем // Трение и износ.–1992. –Т.13.– № 6.–С.1077–1094.

4. Борисов Ю.С. Влияние термоциклирования на гидрообразивную стойкость пламенных покрытий / Ю.С. Борисов, Г.А. Гриневич, В.Ф. Гольник, С.Л. Рева // Нанесение, упрочнение и свойства защитных покрытий на металлах: Тез. докл. XXIII семинара по диффузионному насыщению и защитным покрытиям. – Ивано-Франковск –14–21 сентября. – 1990. – 35с.

5. Микитюк Р.Ю. Повышение адгезии плазменных покритий на сталях путем диффузионного отжига / Р.Ю. Микитюк, Н.П. Михайлов, В.Н. Сухоребрый, П.В. Коваль // // Нанесение, упрочнение и свойства защитных покрытий на металлах: Тез. докл. XXIII се-

минара по диффузионному насыщению и защитным покрытиям. – Ивано-Франковск –14–21 сентября. – 1990. – 24 с.

6. Мельник П.И. К вопросу о роли фазовых превращений при диффузионномнасыщении железа / П.И. Мельник, В.М. Крамарь, Р.Ю. Микитюк // Нанесение, упрочнение и свойства защитных покрытий на металлах: Тез. докл. XXIII семинара по диффузионному насыщению и защитным покрытиям. – Ивано-Франковск –14–21 сентября. – 1990. – С. 172 – 173.

7. Борисов Ю.С. Повышение износостойкости газотермических покрытий ультразвуковой обработкой / Ю.С. Борисов, А.Г. Ильенко // Нанесение, упрочнение и свойства защитных покрытий на металлах: Тез. докл. XXIII семинара по диффузионному насыщению и защитным покрытиям. – Ивано-Франковск –14–21 сентября. – 1990. – 26с.

8. Панарин В.Е. Газотермические покрытия из звтектических сплавов на основе железа с ультрадисперсной структурой / В.Е.Панарин, О.В.Микуляк, М.В. Киндрачук и др. // Защитные покрытия на металлах 1988. – Вып. 22. – 2630с.

9. Панарин В.Е Возможности управлення триботехничеекими свойствами звтектических газотермических покритий на основе железа с фазами внедрения / В.Е. Панарин, О.В. Микуляк, М.В. Киндрачук // Трение и износ.–1985.–Т.6.–С. 932 – 936.

10. Киндрачук М.В. Использование высококонцентрированных источнnков знергии для повышення триботехнических свойств эвтектических покритий // М.В. Киндрачук, В.Е. Панарин, О.В. Микуляк. Защитные покрытия на металлах. – К.: Наукова думка, 1993. –Вып 27.–С. 50–54.

11. Шевеля В.В. О природе пиков стойкости инструментов при обработке металлов резанием / В.В. Шевеля, А.Н. Гладченко, Н.В. Шевеля // Трение и износ. –1990 –Т.11. – № 1. –С.136–142.

12. Шурин А.К. Износостойкость нержавеющих эвтектических сплавов с фазами внедрения / А.К. Шурин, В.Е. Панарин, М.В. Киндрачук // Проблемы трения и изнашивания. –1981. – № 19. –С. 17–28.

Стаття надійшла до редакції 26.02.2021.

Кіндрачук Мирослав Васильович – д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства стандартизації та сертифікації Національного авіаційного університету, kindrachuk@ukr.net

Харченко Володимир Володимирович – молодший науковий співробітник, завідувач лабораторії кафедри машинознавства, стандартизації та сертифікації Національного авіаційного університету, проспект Любомира Гузара,1, м. Київ, Україна, 03058, +38(044)4067773, mail: nau12@ukr.net

Тісов Олександр Вікторович — канд. техн. наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри машинознавства, докторант кафедри машинознавства, стандартизації та сертифікації Національного авіаційного університету. tisov@nau.edu.ua.

Гуменюк Ігор Анатолійович – канд. техн. наук, ПАТ Укртелеком, mail: nau12@ukr.net

Стебелецька Наталія Миронівна – канд. техн. наук, доцент кафедри загальноінженерної підготовки ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут» Тернопільська область, м. Бережани, вул. Академічна, 20, 47501, E-mail: kafedra.zd.bati@gmail.com

Юрчук Аліна Олександрівна – канд. техн. наук, доцент кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем і технологій, старший науковий співробітник наукової групи кафедри машинознавства, стандартизації та сертифікації Національного авіаційного університету, проспект Любомира Гузара,1, м. Київ, Україна, 03058, +38(044)4067842, mail: nau12@ukr.net

Гловин Андрій Леонідович – старший викладач кафедри загальної інженерної підготовки, ВП НУБІПУ «Бережанський агротехнічний інститут», вул. Академічна, 20, м. Бережани, Україна, 47501, тел. 0974766893.

M. V. KINDRACUK, V. V. KHARCHENKO, O. V. TISOV, I. A. HUMENIUK, N. M. STEBELETSKA, A. O. YURCHUK, A. L. GLOVIN

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF PLASMA EUTECTIC COATINGS BY LASER THERMAL CYCLING

This work is a comprehensive study of the structure and properties of plasma eutectic coatings after thermal cyclization. This kind of treatment significantly increases the adhesive-cohesive strength of coatings. According to the results of the conducted research, the resistance against the operation of two-layer coatings in the whole temperature range is higher than for single-layer ones. This effect is achieved by the increase in adhesion properties, a decrease in the hardness gradient along the depth of the coating, and the increase in the coating's thermal stability due to the barrier properties of the doped boride layer. By controlling the size of the dispersed crystals of the penetration phases and at the same time the state of the metal matrix, it is possible to select the TCO modes in which the coatings receive optimal tribotechnical properties.

Keywords: plasma coating, wear, wear resistance, thermal cycling, adhesive strength, eutectic alloys, laser melting.

References

1. Taran Yu.N. Struktura evtektycheskykh splavov / Yu.N. Taran, V.Y. Mazur. – M., 1972. – 240s.

2. Kostetskyi B.Y. Strukturno – enerhetycheskaia prysposablyvaemost materyalov pry trenyy / B.Y. Kostetskyi // Trenye y znos. – 1985. t.6. – № 2. – S. 850–857.

3. Bershadskyi L.Y. O samoorhanyzytsyy y kompetentsyy yznosostoikosty trybosy-stem // Trenye y yznos.–1992. –T.13.– № 6.–S.1077–1094.

4. Borysov Yu.S. Vlyianye termotsyklyrovanyia na hydroobrazyvnuiu stoikost plamennykh pokrytyi / Yu.S. Borysov, H.A. Hrynevych, V.F. Holnyk, S.L. Reva // Nanesenye, uprochnenye y svoistva zashchytnykh pokrytyi na metallakh: Tez. dokl. XXIII semynara po dyffuzyonnomu nasyshchenyiu y zashchytnym pokrytyiam. – Yvano-Frankovsk –14–21 sentiabria. – 1990. – 35s.

5. Mykytiuk R.Iu. Povyshenye adhezyy plazmennykh pokrytyi na staliakh putem dyffuzyonnoho otzhyha / R.Iu. Mykytiuk, N.P. Mykhailov, V.N. Sukhorebrьi, P.V. Koval // // Nanesenye, uprochnenye y svoistva zashchytnykh pokrytyi na metallakh: Tez. dokl. XXIII semynara po dyffuzyonnomu nasyshchenyiu y zashchytnym pokrytyiam. – Yvano-Frankovsk – 14–21 sentiabria. – 1990. – 24 s.

6. Melnyk P.Y. K voprosu o roly fazovykh prevrashchenyi pry dyffuzyonnomnasы-shchenyy zheleza / P.Y. Melnyk, V.M. Kramar, R.Iu. Mykytiuk // Nanesenye, uprochnenye y svoistva zashchytnykh pokrytyi na metallakh: Tez. dokl. XXIII semynara po dyffuzyonnomu nasыshchenyiu y zashchytnым pokrыtyiam. – Yvano-Frankovsk –14–21 sentiabria. – 1990. – S. 172 – 173.

7. Borysov Yu.S. Povyshenye yznosostoikosty hazotermycheskykh pokrytyi ultra-zvukovoi obrabotkoi / Yu.S. Borysov, A.H. Ylenko // Nanesenye, uprochnenye y svoistva zashchytnykh pokrytyi na metallakh: Tez. dokl. XXIII semynara po dyffuzyonnomu nasyshchenyiu y zashchytnym pokrytyiam. – Yvano-Frankovsk –14–21 sentiabria. – 1990. – 26s.

8. Panaryn V.E. Hazotermycheskye pokrhtyia yz zvtektycheskykh splavov na osnove zhelieza s ultradyspersnoi strukturoi / V.E.Panaryn, O.V.Mykuliak, M.V. Kyndrachuk y dr. // Zashchytnye pokrytyia na metallakh 1988. – Vyp. 22. – 2630s.

9. Panaryn V.E Vozmozhnosty upravlennia trybotekhnycheskymy svoistvamy zvtektycheskykh hazotermycheskykh pokrytyi na osnove zheleza s fazamy vnedrenyia / V.E. Panaryn, O.V. Mykuliak, M.V. Kyndrachuk // Trenye y yznos.–1985.–T.6.–S. 932 – 936.

10. Kyndrachuk M.V. Yspolzovanye vysokokontsentryrovannykh ystochnnkov znerhyy dlia povyshennia trybotekhnycheskykh svoistv evtektycheskykh pokrytyi // M.V. Kyndrachuk, V.E. Panaryn, O.V. Mykuliak. Zashchytnye pokrytyia na metallakh. – K.: Naukova dumka, 1993. –Vyp 27.–S. 50–54.

11. Shevelia V.V. O pryrode pykov stoikosty ynstrumentov pry obrabotke metallov rezanyem / V.V. Shevelia, A.N. Hladchenko, N.V. Shevelia // Trenye y yznos. –1990 –T.11. – № 1. –S.136–142.

12. Shuryn A.K. Yznosostoikost nerzhaveiushchykh evtektycheskykh splavov s fazamy vnedrenyia / A.K. Shuryn, V.E. Panaryn, M.V. Kyndrachuk // Problemy trenyia y yznashyvanyia. –1981. – № 19. –S. 17–28.