

УДК 621.357

**Світлана ПІДГАЙЧУК**

*кандидат технічних наук, доцент*

*Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

**Катерина ДЕМ'ЯНЮК**

*кандидат психологічних наук, доцент*

*Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький*

**Наталія ЯВОРСЬКА**

*кандидат технічних наук,*

*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький*

## **ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН З ВИКОРИСТАННЯМ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ПОКРИТТІВ З ВКЛЮЧЕННЯМИ НАНОПОРОШКІВ**

*Для відновлення деталей машин та вдосконалення гальванічних покриттів на основі заліза авторами запропонована технологія отримання композиційних електролітичних покриттів (КЕП) на основі заліза, що містять добавки нанопорошку нітриду бору та суміші нанопорошків на основі нітрیدів титану і силіцію. Розроблені склади для отримання композиційних електролітичних покриттів, досліджено їх експлуатаційні характеристики.*

© Підгайчук С., Дем'янюк К., Яворська Н.

**Ключові слова:** композиційні електролітичні покриття, нанопорошки, нітрид бору, нітрид титану, нітрид силіцію, електроліт, лінійний знос.

**Постановка проблеми в загальному вигляді.** Технічний прогрес в машинобудуванні характеризується не лише покращенням конструкцій машин, але і вдосконаленням матеріалів та технологій виробництва. У сучасних умовах важливо якісно, при мінімальних витратах і в задані терміни виконати замовлення, застосувавши сучасні матеріали, високопродуктивне обладнання, інструмент, технологічне оснащення, засоби механізації і автоматизації виробничих процесів. Від застосованих матеріалів, прийнятої технології виробництва багато в чому залежать довговічність і надійність машин, які випускаються, а також витрати при їх експлуатації.

У роботі розглянуті деякі особливості відновлення деталей машин способом гальванічного нарощування з використанням нанопорошків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори.** З врахуванням наявних в Україні виробничих потужностей з нанесення електролітичних покриттів привертає увагу спосіб гальванічного нарощування зношених деталей. Проблеми з підвищення ресурсу дизельних двигунів відновленням зношених плунжерних пар піднімались провідними матеріалознавцями України: Ю. О. Гуслієнко, Я. П. Заморою, М. В. Лучком, М. В. Кіндрачуком. Застосування композиційних електролітичних покриттів дозволяє не тільки відновити поверхню деталі, а й надає можливість отримати зносостійку робочу поверхню [1; 2]. Питання використання електролітичних покриттів для ремонту військової техніки розглядаються у виданнях навчальних посібників під редакцією А. Н. Леонт'єва [3].

Осадження металу на катоді є процесом кристалізації. Метали, отримані шляхом електролізу, мають дрібнокристалічну структуру зі спотвореною кристалічною ґраткою. Такий метал відрізняється твердістю, опором відриву і зносостійкістю. Так, електролітичний хром

має високу твердість (400–1200 НВ), низький коефіцієнт тертя і високу зносостійкість. Хром погано змочується рідинами, має низький коефіцієнт лінійного розширення, теплопровідність хрому вища за теплопровідність чорних металів.

Для відновлення розмірів зношених поверхонь використовують молочний і твердий хром. Гальванічний хром осаджують з електроліту хромового ангідриду та сірчаної кислоти при різних режимах електролізу. Тверде зносостійке хромування має перевагу: підвищену твердість покриття. Однак електроліти для одержання твердого і молочного хрому мають низький вихід за струмом, також обов'язковим є підігрів до 60–70 °С. Для процесу хромування використовують свинцевий анод, при цьому на катоді осідає металевий хром і виділяється водень.

Риски і задирки на поверхні поршневих кілець, гільз і циліндрів усуваються пористим хромом. На поверхні штучно створюються пори, поглиблення або канавки. Пористі покриття отримують механічним, хімічним або електрохімічним способами. Механічний спосіб полягає в нанесенні найдрібніших заглиблень або пор піщаноструменевою обробкою. Хімічним способом пористість отримують травленням у соляній кислоті. Електрохімічний спосіб полягає в додатковій анодній обробці. Для точкового пористого хромового покриття поршневих кілець застосовують режим з дрібною сіткою каналів. Для покриття гільз застосовується пористий хром з середньою сіткою каналів. Деталі з точковою пористістю притирають [3].

Хромування без ванн застосовується при хромуванні масивних деталей (валів, циліндрів двигунів та ін.).

Електролітичне залізо за своїм складом схоже на маловуглецеву сталь. За механічними властивостям нагадує загартовану сталь. Тому процес нанесення покриття називається остальюванням. Розчинні аноди виготовляють з низьковуглецевої сталі. При цьому технологічному процесі деталь нагрівається до 60–80 °С. При нанесенні покриттів на циліндричні деталі по зовнішній поверхні застосовують стержневі аноди з круглої або смужової сталі. При нанесенні покриттів на внутрішні поверхні застосовують внутрішні аноди. Поверхні, на які наносяться покриття, розташовують похило або вертикально.

**Метою статті** є опис розробленої технології відновлення деталей машин, дослідження експлуатаційних характеристик запропонованих композиційних електролітичних покриттів (КЕП).

**Виклад основного матеріалу дослідження.** З вищенаведеного пропонуємо відновлювати сталеві деталі нанесенням гальванічних покриттів на основі заліза, оскільки електроліти для нанесення хромових покриттів мають низький вихід за струмом та є достатньо токсичними. Для нанесення гальванічних покриттів на основі заліза пропонуємо електроліт на основі флюорборату заліза – 225 мг, хлориду натрію – 10 мг, борної кислоти – 22,5 мг, запропонований склад електроліту не є токсичним [4].

Для отримання необхідних експлуатаційних характеристик відновлених деталей пропонуємо застосувати КЕП на основі гальванічного заліза.

Композиційні електролітичні покриття – це електролітичні покриття, в яких є нанорозмірні елементи, присутність яких змінює властивості покриттів, надаючи їм різні властивості залежно від складу наповнювачів.

Виявляється, що характерний розмір часточки чи елемента структури суттєво може впливати на властивості матеріалів. Так, зменшення характерних розмірів  $R$  морфологічних одиниць (окремих частинок, зерен полікристалів, порожнин, включень інших фаз тощо) в область  $R < 100$  нм спричиняє суттєву зміну фізичних властивостей речовини. Слід відмітити, що зменшення  $R$  на порядок: від 100 до 10 нм, потім від 10 до 1 нм і, нарешті, до окремих атомів (0,1 нм) – кожний раз створює нову ситуацію і тягне за собою нові причини майбутнього зростання відмінностей з макроскопічним зразком цієї самої речовини.

Нанотехнології можуть запропонувати низку перспективних рішень: об'ємне та поверхневе зміцнення із-за переведення традиційних матеріалів у наноструктурний стан, розробка нових наноконструкційних матеріалів і покриттів. Випробовування свідчать про те, що введення нанотрубок (5 % від масової долі) збільшують міцність деяких алюмінієвих сплавів вдвічі, а спеціальні антикорозійні зносостійкі покриття та мастильні засоби – опір корозії та зносу в декілька разів.

Розробляються спеціальні покриття: для зменшення тертя в газоподібних та рідких середовищах; коефіцієнта теплопередачі; льодоутворення. У фізичному матеріалознавстві частинки з розмірами 1 нм і менше часто називають кластерами, а матеріали з такими морфологічними одиницями – кластерними.

У роботі прагнули використати саме такі резерви модифікації покриттів на основі електролітичного заліза.

Задача отримання зносостійких КЕП на основі заліза була вирішена за рахунок введення до електроліту залізнення нанопорошку нітриду бору та суміші нанопорошків нітридів титану і нітриду силіцію.

Суміш нанопорошків  $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$  мала таке тупне співвідношення компонентів: нітрид титану – 40 % з розмірами частинок до 0,01 мкм; нітрид титану – 30 % з розмірами частинок до 1 мкм; нітрид силіцію – 25 % з розмірами частинок до 1 мкм; оксиду ітрію – 5 % з розмірами частинок до 1 мкм.

Композиційні електролітичні покриття на основі заліза з добавкою нанопорошку нітриду бору отримано з флюорборатного електроліту залізнення вказаного складу при таких режимах електролізу: катодна густина струму 0,4 кА/м<sup>2</sup>, температура електроліту 65–70 °С, час осадження - 8 годин, товщина покриття 333 мкм, вихід за струмом 98 %.

Композиційні електролітичні покриття на основі заліза з добавкою суміші нанопорошків нітридів титану і силіцію отримано з флюорборатного електроліту залізнення вказаного складу при таких режимах електролізу: катодна густина струму 0,1–0,2 кА/м<sup>2</sup>, температура електроліту 65–70 °С, час осадження – 2 годин, товщина покриття 108 мкм, вихід за струмом 85 %.

Композиційні електролітичні покриття з добавками нанопорошків, на відміну від відомих аналогів [2], отримані з електролітів з рівномірно розподіленими включеннями нітридів. Поверхневий шар КЕП з добавками нанопорошків рівномірний та однорідний, що не потребує фінішної обробки.

Наявність нанорозмірних нітридних включень у металеву матрицю КЕП не тільки підвищують мікротвердість КЕП (для КЕП з добавкою нанопорошку VN до 3700–3980 МПа, для КЕП з добавкою суміші

нанопорошків  $\text{TiN}+\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Y}_2\text{O}_3$  до 5550–6500 МПа), а й забезпечують високу зносостійкість покриттів як в умовах змащування, так і при терті без мастила при температурах до 800 °С (лінійний знос при навантаженні  $P = 0,6$  МПа, в умовах змащування для КЕП з добавкою нанопорошку BN 10–18 мкм/км, для КЕП з добавкою суміші нанопорошків  $\text{TiN}+\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Y}_2\text{O}_3$  – 8–12 мкм/км). Запропоновані склади КЕП забезпечують високу зносостійкість покриттів без подальшої термічної обробки.

Композиційні електролітичні покриття на основі заліза з добавкою нанорозмірного нітриду бору зберігають самомастильні властивості. Проведені дослідження свідчать про те, що при збільшенні шляху тертя для зразків з КЕП з добавкою нанопорошку нітриду бору лінійний знос практично не збільшується, див. таблицю. Композиційні електролітичні покриття на основі заліза з добавкою суміші нанопорошків нітриду титану та нітриду силіцію на стадії припрацювання мають менший лінійний знос, ніж КЕП з добавкою нітриду бору, але є відсутність самозмащення та більш інтенсивний знос при збільшенні шляху тертя.

#### Дослідження лінійного зносу КЕП

Назва покриття	Лінійний знос ( $P = 0,6$ МПа, масло И-20 залежно від шляху тертя), мкм/км			
	0,05 км	0,1 км	0,15 км	0,2 км
КЕП на основі заліза з добавкою BN	10	10	11	12
КЕП на основі заліза з добавкою $\text{TiN}+\text{Si}_3\text{N}_4+\text{Y}_2\text{O}_3$	8	9	11	14

**Висновки.** У роботі розглядається технологія отримання композиційних електролітичних покриттів на основі заліза, що містять добавки нанопорошку нітриду бору та суміші нанопорошків на основі нітридів титану і силіцію і може бути використана для вдосконалення гальванічних покриттів на основі заліза, підвищуючи їх експлуатаційні характеристики при збереженні основних переваг електролітичного залізнення. У роботі запропоновано склад для отримання

композиційних електролітичних покриттів на основі заліза, отриманий з фтороборатного електроліту залізнення, який вміщує нанодисперсний порошок нітридів бору, або нітридів титану і силіцію при такому співвідношенні компонентів: фтороборат заліза – 225 г/л, хлорид натрію – 10 г/л, борна кислота – 22,5 г/л, нанопорошок BN – 10 г/л, або суміш нанопорошків  $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$  – 10 г/л. Суміш нанопорошків  $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$  має таке співвідношення компонентів: нітрид титану – 40 % з розмірами частинок до 0,01 мкм; нітрид титану – 30 % з розмірами частинок до 1 мкм; нітрид силіцію – 25 % з розмірами частинок до 1 мкм; оксиду ітрію – 5 % з розмірами частинок до 1 мкм. У роботі застосовано більш стабільний сульфатний електроліт, порівняно з хлоридним.

Наявність нанорозмірних нітридних включень у металеву матрицю КЕП не тільки підвищують мікротвердість КЕП (для КЕП з добавкою нанопорошку BN до 3700–3980 МПа, для КЕП з добавкою суміші нанопорошків  $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$  до 5550–6500 МПа), а й забезпечують високу зносостійкість покриттів як в умовах змащування, так і при терті без мастила при температурах до 800 °С. Запропоновані склади КЕП забезпечують високу зносостійкість покриттів без подальшої термічної обробки

Композиційні електролітичні покриття на основі заліза з добавкою нанорозмірного нітриду бору зберігають самомастильні властивості. У КЕП на основі заліза з добавкою суміші нанопорошків нітриду титану та нітриду силіцію має місце відсутність самозмащення та більш інтенсивний знос при збільшенні шляху тертя.

**Перспективою подальших наукових досліджень** є розробка нових складів композиційних покриттів з використанням відходів з порошкової металургії, стружки кольорових металів з використанням і вдосконаленням технологій подрібнення цих матеріалів.

### Список використаної літератури

1. Підвищення ресурсу дизельних двигунів відновленням зношених плунжерних пар ППВТ / Ю. О. Гуслієнко, Я. П. Замора, М. В. Лучка, М. В. Кіндрачук // Динаміка, міцність і надійність сільськогосподарських ма-

шин : Пр. I-ї Міжнародно-технічної конференції (DSR AM – 1), 4–7 жовтня 2004 р., Тернопіль / Відп. ред. В. Т. Трощенко. – Тернопіль: Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, 2004. – С. 436–445.

2. Склад для отримання композиційних електролітичних покриттів на основі металів групи заліза / Ю. О. Гуслієнко, А. В. Лучка, Г. І. Саввакін, М. Й. Бурда. UA128332 C25 D 15/00

3. Основы надежности и ремонта транспортных средств специального назначения : учебное пособие / А. Н. Леонтьев, А. А. Соловьёв, В. П. Расщупкин, М. С. Корытов. – Омск : СиБАДИ, 2010. – 135 с.

4. Склад для отримання композиційних електролітичних покриттів на основі заліза з добавками нанорозмірних нітридів : патент на корисну модель № 55833 МПК C25D 15/00 27.12.2010. бюл. № 24, 2010 р. / Н. М. Яворська, О. С. Дробот, С. Я. Підгайчук, Г. А. Покришко. – ХНУ.

*Рецензент – доктор технічних наук, професор Сорокатиий Р. В.*

*Подгайчук С., Демьянюк Е., Яворская Н. Возобновление деталей машин с использованием композиционных электрохимических покрытий с включениями нанопорошков*

В работе рассматривается технология получения композиционных электролитических покрытий (КЕП) на основе железа, которые содержат добавки нанопорошка нитрида бора и смеси нанопорошков на основе нитридов титана и силиция. Она может быть использована для совершенствования гальванических покрытий на основе железа. Это повысит их эксплуатационные характеристики при сохранении основных преимуществ электролитического железнения.

**Ключевые слова:** *композиционные электролитические покрытия, нанопорошки, нитрид бора, нитрид титана, нитрид силиция, электролит, линейный износ.*

*Pidgaychuk S., Demjanjuk K., Yavorska N. The Restoration of machine parts using the compositional electrochemical coverages with inclusions nanopowders*

In the article the reasons of scientific the technical task of creation of compositional electrochemical coverages (CEC) on the basis of ferrum with the addition of the nanosize nitrides boron BN and the compound of ni-



trides  $\text{TiN} + \text{Si}_3\text{N}_4$ . It can be used to improve electroplating of ferrum-based. This will improve their performance while maintaining the basic advantages of electrolytic coverages on the basis of ferrum.

This article presents the composition of for electrolytic coating composition on the basis of ferrum. It is received from  $\text{Fe}(\text{BF}_4)_2$  of electrolyte that contains a nanoparticle powder of boron nitrides or titanium nitrides and silicium. The mixing ratio:  $\text{Fe}(\text{BF}_4)_2$  - 225 g / l, the sodium chloride - 10 g / l, the boric acid - 22.5 g / l, the nanopowder BN - 10 g / l, or the compound of nanopowders  $\text{TiN} + \text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$  - 10 g / l.

The mixture of nanopowders  $\text{TiN} + \text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$  has the following components: titanium nitride – 40% the particle size to 0.01 micron; titanium nitride - 30% the particle size to 1 micron; silicon nitride – 25% the particle size to 1 micron; yttrium oxide – 5% the particle size to 1 micron.

Here we use a sulfate electrolyte which is more stable compared to the chloride.

The presence of nanosized nitride inclusions led to increased micro-hardness of matrix of metal CEC (CEC for nanopowder with addition of BN to 3700-3980 MPa, for CEC with the addition of a mixture of nanopowders  $\text{TiN} + \text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$  to 5550-6500 MPa).

They provide high durability coatings with lubrication and friction without lubrication at temperatures up to 800 °C.

The proposed formulations CEC provides high wear resistance of coverages without further heat treatment.

CEC on the basis of ferrum with the addition of the nanosize nitrides boron retain self-greased properties.

For the CEC on the basis of ferrum with the addition of the nanosize the compound of nitrides  $\text{TiN} + \text{Si}_3\text{N}_4$  not are available self-lubricating properties and more intense wear at increasing way friction.

**Keywords:** *compositional electrochemical coverages, nanopowders, boron nitrides, titanium nitrides, silicium nitrides, electrolyte, linear wear.*