

Титаренко В.В.¹, Заблудовський В.О.²
(¹НТУ «Дніпровська політехніка»; ²УДУНТ, м. Дніпро)
ЗНОСОСТІЙКІ КОМПОЗИЦІЙНІ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНІ ПОКРИТТЯ НА
ОСНОВІ НІКЕЛЮ
E-mail: tytarenko.valentina@gmail.com

Нанесення електролітичних нікелевих покриттів є одним з найбільш поширених способів захисту металевих виробів від корозії і абразивного зношування в процесі експлуатації. Одним з перспективних методів покращення захисних і функціональних властивостей електролітичного нікелю є створення композиційних електролітичних покриттів (КЕП), що полягає у співосажденні металевої основи і зміцнюючих дисперсних частинок другої фази. Міцність мікросхаруватих композиційних електролітичних нікелевих плівок залежить як від об'ємної частки більш міцного компонента (нановуглецевого матеріалу), так і від товщини складових шарів покриття. Так само важливу роль на формування структури, а отже і на механічні та захисні властивості плівок, мають умови їх кристалізації.

Для осадження композиційних нікелевих покриттів використовували програмований імпульсний струм з рівною тривалістю пачок імпульсів уніполярного струму 36 хв, частотою 50 Гц, середньою густиною струму 100 А/м² і послідовною від пачки до пачці зміною шаруватості імпульсів: пачка I – 2, пачка II – 12, пачка III – 25, пачка IV – 38, пачка V – 50; тривалість імпульсів змінювалась від 10 мс до 0,4 мс при постійному періоді рівному 20 мс. Концентрація частинок ультрадисперсного алмазу (УДА) у водному розчині електроліту складала 2 г/л. Випробування зразків на знос проводили на машині тертя із зворотно-поступальним рухом зразків в умовах сухого тертя під навантаженням 1,7 Н зі швидкістю 0,32 м/с. Пара тертя сталь 45 – покриття нікелю. Зносостійкість оцінювалась за втратою маси покриття. Елементний склад поверхні покриття визначали мікрорентгеноспектральним аналізом за допомогою растрового електронного мікроскопа JSM-64901LV (Японія) з енергодисперсійним спектрометром INCA PENTAx3 (OXFORD Instruments).

За час проходження пачок I-II імпульсів струму тривалістю 10-1,7 мс і амплітудою густини струму 2-12 А/дм² осаджуються мікрошари композиційного нікелевого покриття із вмістом частинок УДА в металевій матриці 2,2-2,4 мас. %, що підвищує міцність зчеплення металу з основою. За час проходження пачок III-V тривалістю імпульсів 0,8-0,4 мс і амплітудою густини струму 25-50 А/дм² осаджуються мікрошари композиційного нікелевого покриття з найбільшим вмістом частинок УДА (3,0-4,5 мас.%). Це визначає збільшення мікротвердості від 1800 МПа до 3490 МПа, зменшення зносу композиційних нікелевих покриттів від 10 % до 2,5 %.

Для виявлення закономірностей зношування та підвищення зносостійкості композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю розглянуто трибологічну взаємодію покриття та контртіла. До початку відшарування покриття сумарна поверхнева енергія системи контртіло-покриття з урахуванням наявності межі розділу покриття-підшар дорівнює:

$$W_1 = \gamma_{Fe} + \gamma_{УДА} + \gamma_{Ni-УДА} \quad (1)$$

де γ_{Fe} та γ_{Ni} – поверхневі енергії заліза та нікелю відповідно;

$\gamma_{Ni-УДА}$ – енергія межі розділу нікель-УДА.

Після відриву фрагментів покриття та його налипання на контртіло сумарна поверхнева енергія системи контртіло-покриття з урахуванням виникнення межі поділу між контртілом та фрагментом покриття, тобто Fe-Ni, дорівнює:

$$W_2 = \gamma_{Fe-Ni} + \gamma_{Ni} + \gamma_{УДА}, \quad (2)$$

де γ_{Fe-Ni} – енергія межі розділу залізо-нікель;

$\gamma_{УДА}$ – поверхнева енергія УДА.

Таким чином, зміна поверхневої енергії системи складає:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \gamma_{Fe-Ni} + \gamma_{Ni} + \gamma_{УДА} - \gamma_{Fe} - \gamma_{УДА} - \gamma_{Ni+УДА} = \gamma_{Fe-Ni} + \gamma_{Ni} - \gamma_{Fe} - \gamma_{Ni+УДА} \quad (3)$$

З врахуванням того, що $\gamma_{Fe}=2,36$ Дж/м², $\gamma_{Ni}=2,24$ Дж/м², $\gamma_{УДА}=5$ Дж/м²:

$$\gamma_{Fe-Ni} = 0,25 \cdot (\gamma_{Fe} + \gamma_{Ni}) = 0,25 \cdot (2,36 + 2,24) = 1,15 \text{ Дж/м}^2,$$

$$\gamma_{Ni-УДА} = 0,25 \cdot (\gamma_{Ni} + \gamma_{УДА}) = 0,25 \cdot (2,24 + 5) = 1,81 \text{ Дж/м}^2,$$

$$\Delta W = 1,15 + 2,24 - 2,36 - 1,81 = -0,78 \text{ Дж/м}^2.$$

Так як сумарна зміна енергії в результаті відриву покриття від підшару негативна, то вона призводить до зменшення повної енергії системи. У той же час у разі утворення когезійних тріщин усередині покриття та відриву його більш тонких фрагментів, сумарні поверхневі енергії системи контртіло-покриття до та після руйнування записуються таким чином:

$$W_1 = \gamma_{Fe} + \gamma_{Ni}, \quad (4)$$

$$W_2 = \gamma_{Fe-Ni} + \gamma_{Ni} + \gamma_{Ni}. \quad (5)$$

Відповідно зміна поверхневої енергії системи дорівнює:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = \gamma_{Fe-Ni} + \gamma_{Ni} + \gamma_{Ni} - \gamma_{Fe} - \gamma_{Ni} = \gamma_{Fe-Ni} + \gamma_{Ni} - \gamma_{Fe}. \quad (6)$$

Використовуючи наведені вище значення поверхневих енергій матеріалів, отримуємо, що у цьому випадку $\Delta W = 1,15 + 2,24 - 2,36 = 1,03 \text{ Дж/м}^2$. Отже когезійний відрив фрагментів покриття в процесі трибологічних випробувань вимагає додаткових витрат енергії, тобто є енергетично не вигідним.

Пошарове нанесення композиційних гальванічних покриттів за допомогою програмованого імпульсного струму дає змогу пошарово наносити композиційні нікелеві покриття товщиною 15-20 мкм, що складаються з шарів товщиною 3-4 мкм з найменшою концентрацією частинок УДА до наступних шарів товщиною 1-2 мкм зі зростаючою концентрацією наноалмазів частинок, що покращує адгезійні властивості і підвищує зносостійкість покриттів.