

В.О. Заблудовський, Д.І. Борошук

## Електрокристалізація мідних плівок у зовнішньому постійному магнітному полі

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В.Лазаряна,  
вул. Ак. В. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, 49010, Україна, e-mail: dmitrii\_boroshuk@mail.ru*

Одним із методів отримання тонких металевих плівок з певною структурою і властивостями, є накладання зовнішнього постійного магнітного поля в процесі електроосадження. Метою даної роботи є дослідження впливу постійного зовнішнього магнітного поля на процес електроосадження, структуру та деякі фізичні властивості мідних плівок.

При накладанні постійного магнітного поля в процесі електроосадження відбувається виникнення конвективних потоків (перемішування), що змінює кінетику протікання електродних процесів, при цьому спостерігається зміна морфології поверхні мідних покриттів, збільшується мікротвердість для всіх досліджених зразків.

**Ключові слова:** електроосадження, магнітне поле, морфологія поверхні, мікротвердість, потенціостатичний режим.

*Стаття постуила до редакції 04.07.2011; прийнята до друку 15.03.2012.*

### Вступ

Із-за великого інтересу до тонких металевих покриттів, які мають підвищені характеристики міцності, корозійні, захисно-декоративні властивості, необхідне впровадження нових методів їх отримання та контролю. Одним з таких методів отримання тонких металевих плівок з визначеною структурою, а отже і властивостями, є накладання зовнішнього постійного магнітного поля в процесі електроосадження.

У статтях [1, 2] повідомлялося про зміну кінетики протікання електродних процесів під дією постійних магнітних полів.

Метою даної роботи є дослідження впливу постійного зовнішнього магнітного поля на процес електроосадження, структуру та деякі фізичні властивості мідних плівок.

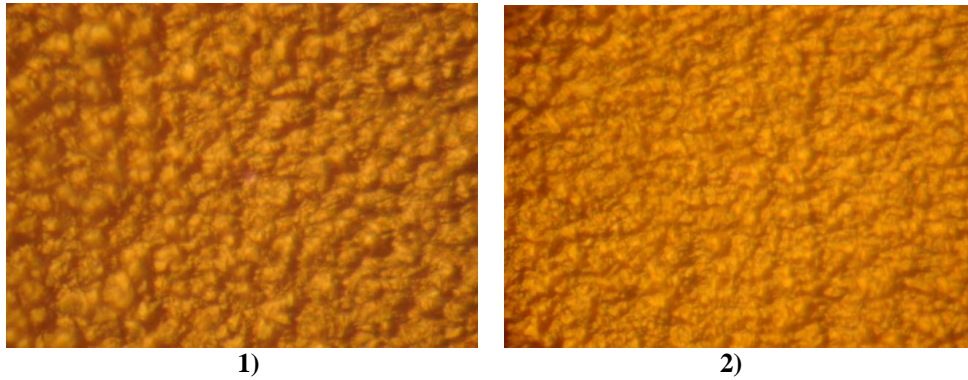
### I. Матеріали та методика експерименту

Експериментальну перевірку отриманих результатів проводили для процесу електроосадження міді. Мідні плівки отримували в потенціостатичних умовах при напругах  $1 \div 7$  В і при зовнішньому впливі постійного магнітного поля з індукцією (В)  $0 \div 0,52$  Тл. Експериментальна установка представляла собою кювету з розчином

для електрохімічного міднення. Катодом служила мідна підкладка ( $3,24 \times 10^{-4}$  м<sup>2</sup>), яка піддавалася механічній поліровці і знежиренню віденським вапном. У якості аноду використовували пластину чистої міді. З метою підтримання однорідності електричного поля, створюваного потоком заряджених іонів, електроди розташовували паралельно відносно один одного. Як джерело магнітного поля використовували електромагніт постійного струму. Електроди були орієнтовані паралельно силовим лініям магнітного поля, тобто перпендикулярно потоку іонів. Для електроосадження застосовували електроліт (у г/л):  $\text{Cu}_2\text{SO}_4 - 250$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4 - 75$ ; при  $\text{pH} = 0 \div 1$ . Мікроструктуру плівок міді досліджували за допомогою мікроскопа МІМ – 8. Мікротвердість вимірювали стандартним методом за допомогою мікротвердомера ПМТ – 3 при навантаженні на індентор 0,2 Н.

### II. Результати експерименту та їх обговорення

Для експериментальної перевірки особливостей впливу магнітогідродинамічних ефектів на кінетику протікання електродних процесів були зняті вольтамперні залежності. Різниця потенціалів на електродах змінювалася в межах від 0 до 3 В, при цьому щільність струму ( $j$ ) при максимальному



**Рис. 1.** Морфологія структури поверхні міді, отриманої на постійному струмі ( $\times 2700$ ): (1) без прикладеного магнітного поля; (2) з магнітним полем ( $B = 0,52$  Тл).

**Таблиця 1**

Залежність зміни мікротвердості ( $H_{\mu}$ ) від величини індукції прикладеного зовнішнього магнітного поля ( $B$ ) при осадженні у потенціостатичному режимі

$U = 1$ В		$U = 2$ В		$U = 3$ В	
В, Тл	$H_{\mu}, \times 10^6$ Па	В, Тл	$H_{\mu}, \times 10^6$ Па	В, Тл	$H_{\mu}, \times 10^6$ Па
0	$700 \pm 14$	0	$730 \pm 17$	0	$830 \pm 14$
0,24	$720 \pm 11$	0,24	$750 \pm 15$	0,24	$850 \pm 15$
0,52	$740 \pm 15$	0,52	$790 \pm 20$	0,52	$910 \pm 20$

значенні різниці потенціалів збільшилася від  $2930 \text{ А/м}^2$  при  $B = 0$  до  $3400 \text{ А/м}^2$  при  $B = 0,52$  Тл. Таким чином, з отриманих результатів видно, що зовнішнє магнітне поле дозволяє збільшити щільність електричного струму, при цьому швидкість нанесення покриття збільшується від  $1,08 \times 10^{-7} \text{ м/с}$  до  $1,27 \times 10^{-7} \text{ м/с}$ . Вольтамперна залежність в магнітному полі проходить вище, ніж у відсутності поля.

При накладанні постійного магнітного поля в процесі електроосадження відбувалося виникнення конвективних потоків (перемішування), що змінювало кінетику протікання електродних процесів [3]. Магнітогідродинамічні сили, що діють безпосередньо поблизу поверхні електроду, призводять до істотних змін в структурі пограничного дифузійного шару. Ефект зміни кінетики електродних процесів при осадженні металевих плівок в зовнішньому магнітному полі як правило пояснюється впливом сили Лоренца на магнітогідродинамічну конвекцію. Сила Лоренца залежить від заряду і швидкості руху іонів в розчині електроліту, від індукції магнітного поля, а також від розташування силових ліній магнітного поля відносно поверхні електроду. Магнітогідродинамічна конвекція збільшує масоперенос іонів, що у свою чергу приводить до зміни гідродинамічних умов на кордоні електрод/електроліт і збільшенню швидкості осадження. Магнітогідродинамічний ефект викликає зменшення товщини дифузійного шару, при цьому підтримується досить висока концентрація іонів  $\text{Cu}^{2+}$  поблизу поверхні катода. При однакових значеннях величини потенціалу робочого електроду, електроосадження в зовнішньому магнітному полі відбувається з більшою швидкістю, чим в разі

відсутності магнітного поля, за рахунок зменшення дифузійного шару, збільшення швидкості масопереносу, що у свою чергу збагачує приелектродну область іонами  $\text{Cu}^{2+}$ .

Дослідження структури поверхні отриманих плівок показали, що прикладене постійне магнітне поле впливає на зовнішній вигляд і морфологію поверхні покриттів.

Як видно з мікрофотографій поверхні міді (див. рис. 1), прикладання зовнішнього магнітного поля призводить до зміни морфології поверхні у порівнянні із зразками осаджених без магнітного поля. Для мідних покриттів, отриманих без накладання магнітного поля, характерний вихід більш крупних сфероїдальних кристалітів, в той час, як при накладанні зовнішнього магнітного поля утворювалися кристаліти меншого розміру і поверхня міді була більш згладжена.

Механічні випробування полягали у розрахунку мікротвердості (див. табл. 1). Загальна товщина плівок витримувалася постійною ( $2 \times 10^{-5} \text{ м}$ ).

Накладання зовнішнього постійного магнітного поля в процесі електроосадження супроводжувалось збільшенням мікротвердості зразків для всіх досліджених електродних потенціалів. Це можна пояснити зменшенням розмірів кристалітів при електроосадженні у зовнішньому магнітному полі.

## Висновки

При накладанні постійного магнітного поля в процесі електроосадження відбувалося виникнення конвективних потоків (перемішування), що змінювало кінетику протікання електродних

процесів, при цьому спостерігалася зміна морфології мікротвердості для всіх досліджених зразків.  
поверхні мідних покриттів, збільшення

- [1] E.Z. Gak, Je.H. Rohinson, N.F. Bondarenko. Jelektrohimiya 11(4), 528 (1975).
- [2] E.Z. Gak, Je.H. Rohinson. Jelektronnaja obrabotka metallov 4,75 (1973).
- [3] V.A. Zabłudovskij, D.I. Boroshhuk. Materialy 71 Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Problemy i perspektivy razvitija zheleznodorozhnogo transporta» (2011).

V. Zabłudovsky, D. Boroschuk

## **Electrocrystallization Copper Films in the External Constant Magnetic Field**

*Dnepropetrovsk national university of railway transport named academician V. Lazaryan,  
Dnepropetrovsk, street of akad. V. Lazaryan, 2. e-mail: [dmitrii\\_boroshuk@mail.ru](mailto:dmitrii_boroshuk@mail.ru)*

One of the methods of getting thin metal films that have definite structure and characteristics is using the external static magnetic field in the process of electrolytic deposition. The aim of the study is to analyze the influence of the external constant magnetic field on the process of electrolytic deposition, the structure and some physical characteristics of copper films.

Convective streams (mixing) appear when the static magnetic field is used in the process of electric deposition. This changes the kinetics of electrode processes and copper coating surface morphology, and the microhardness of all studied samples increases.