

В.В. Дудкіна

## Дослідження структури і властивостей нікелевих покриттів, модифікованих ультрадисперсними алмазами

*Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту  
ім. ак. В. Лазаряна, Україна, 49010 Дніпропетровськ, вул. Лазаряна, 2, e-mail: [dudkina2@ukr.net](mailto:dudkina2@ukr.net)*

Досліджені композиційні електролітичні покриття, осаджені із нікелевого електроліту, що містить ультрадисперсні алмази. Використання сполучень наноалмазів із модифікованою поверхнею нікелю впливає на формування структури і підвищує мікротвердість покриттів.

**Ключові слова:** композиційні електролітичні покриття, ультрадисперсні алмази, структура, механічні властивості.

*Стаття постуила до редакції 24.04.2013; прийнята до друку 15.06.2013.*

### Вступ

Ресурс більшості механізмів і деталей в значній мірі визначається довговічністю збереження експлуатаційних властивостей поверхні. Одним з відомих способів покращення механічних властивостей поверхні – це її електролітична модифікація осадженням металеві плівки з необхідними експлуатаційними параметрами. Найбільш важливі з них – зносостійкість, корозійна стійкість, рівномірність покриття по товщині (забезпечується високою розсіюючою здатністю електроліту). Однак плівки металів і сплавів по своїх фізико-хімічних властивостях часто не відповідають підвищеним вимогам сучасної техніки. Вирішенням проблеми зміцнення поверхні є модифікація металеві матриці частинками дисперсної фази з отриманням композиційних електролітичних покриттів (КЕП). Відомо, що введення твердих дисперсних частинок (ультрадисперсних алмазів (УДА)) в електролітичні покриття підвищує їх мікротвердість і зносостійкість. Причини цього – зменшення розмірів кристалів металу, що осаджується, і наявність в покритті надтвердих частинок [1 - 4].

Мета даної роботи є дослідження структури і механічних властивостей електроосаджених композиційних нікелевих покриттів, що містять ультрадисперсні алмази.

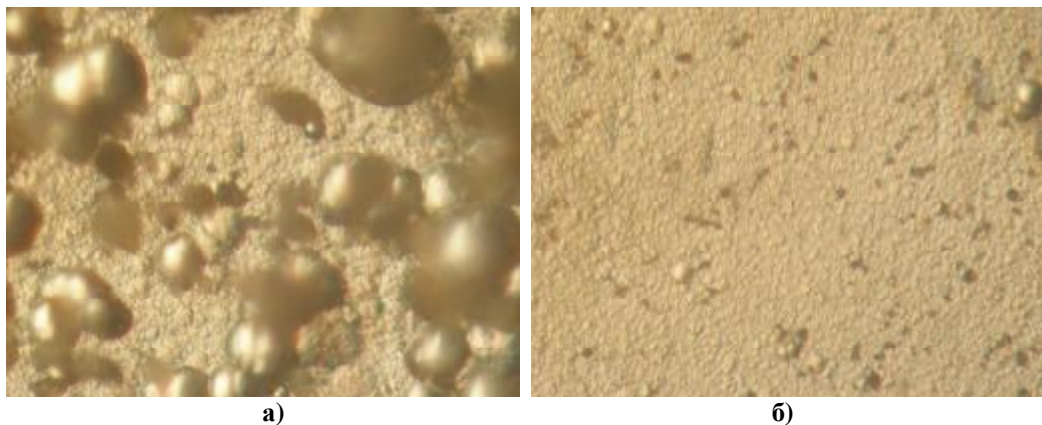
### I. Матеріали та методика

Для дослідження використовували стандартний сульфатний електроліт наступного складу:  $\text{Ni}_2\text{SO}_4$  –

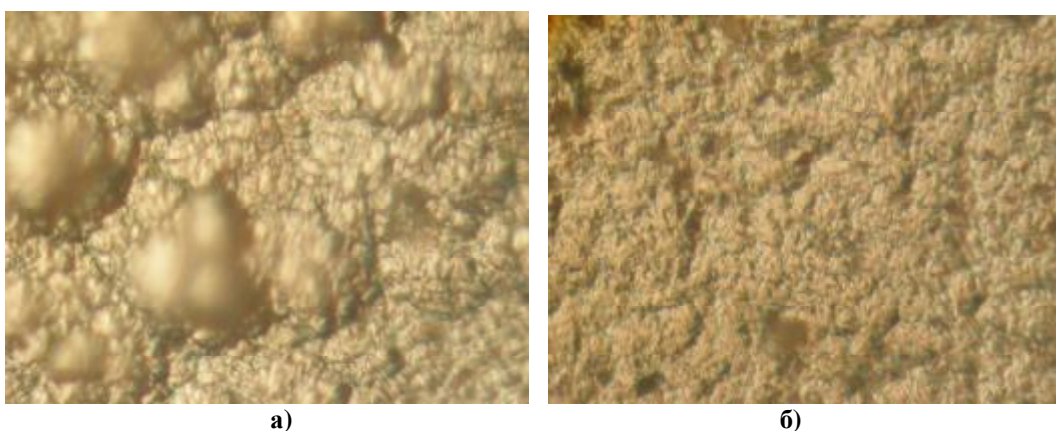
300 г/л,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 30 г/л,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  – 50 г/л, рН - 5. Концентрацію (n) УДА у водному розчині електроліту змінювали в діапазоні від 2 до 15 г/л. Осадження проводили постійним струмом густиною від 100 до 300 А/м<sup>2</sup>. Характерною властивістю водного розчину електроліту нікелювання є низька седиментаційна стійкість, що приводить до нерівномірного розподілу частинок наноалмазу в металеві матриці. Для вирішення цієї проблеми було застосовано механічне перемішування водного розчину електроліту в процесі електроосадження. Металографічні дослідження проводили за допомогою оптичного мікроскопа МІМ-8М. Мікротвердість покриття вимірювали на мікротвердомірі ПМТ-3. Елементний склад поверхні покриття визначали мікрорентгеноспектральним аналізом за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕММА-102-02 з роздільною здатністю 5 нм. Вміст і розподіл ультрадисперсного алмазу визначали по лініях вуглецю (С) характеристичного рентгенівського випромінювання. Для дослідження фазового складу і структури плівок нікелю використовували рентгенівське обладнання - дифрактометр ДРОН-2.0 із застосуванням скінтіляційною реєстрацією рентгенівських променів. Зйомка на фазовий склад нікелевих плівок здійснювалася у монохроматизованому  $\text{Cu K}_\alpha$ -випромінюванні.

### II. Результати та їх обговорення

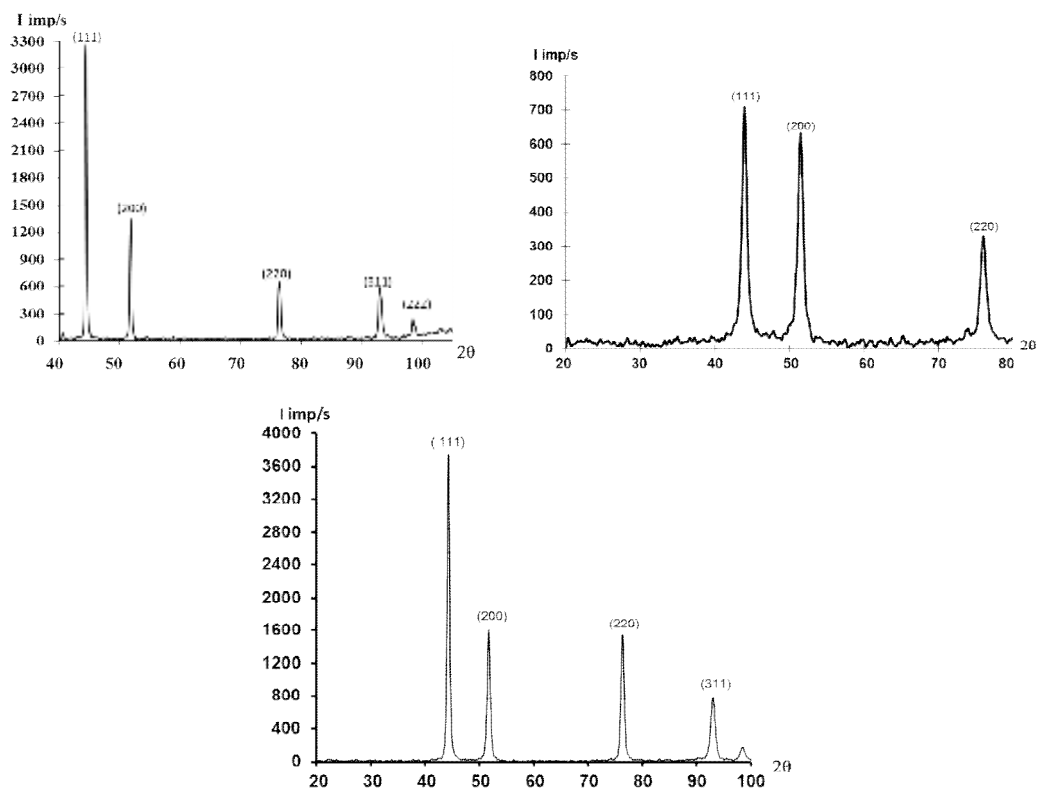
Дослідження зразків нікелевих покриттів, які містять алмази, показали залежність структури покриття, що осаджується, від складу електроліту і



**Рис. 1.** Морфологія поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів, осаджених при  $j = 100 \text{ A/m}^2$ ,  $n(\text{УДА}) = 2 \text{ г/л}$ : а) без перемішування розчину, б) з перемішуванням розчину ( $\times 900$ ).



**Рис. 2.** Морфологія поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів, осаджених при  $j = 300 \text{ A/m}^2$ ,  $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$ : а) без перемішування розчину, б) з перемішуванням розчину ( $\times 900$ ).



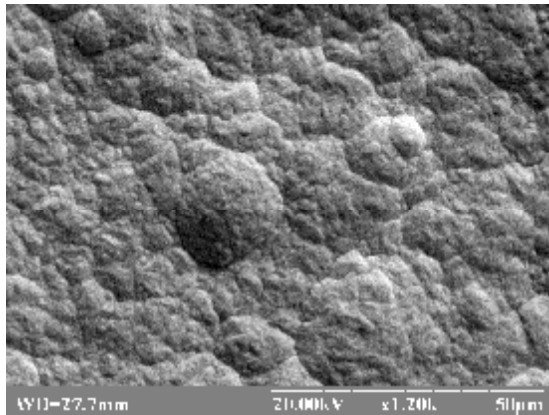
**Рис. 3.** Дифрактограми: а) Ni; б) Ni + УДА ( $n = 2 \text{ г/л}$ ); в) Ni + УДА ( $n = 15 \text{ г/л}$ ).

режиму електроосадження. При проведенні металографічних досліджень нікелевих покриттів з добавками УДА, осаджених за допомогою постійного струму без перемішування водного розчину електроліту, спостерігається утворення розвиненого рельєфу із слідами поверхневих дефектів (пітингу) (рис. 1, а, 2, а). Використання механічного перемішування водного розчину електроліту при незмінних режимах електроосадження і концентрації УДА дозволило отримати композиційні електролітичні нікелеві покриття з меншою кількістю поверхневих дефектів, для яких характерне утворення однорідної і рівномірної по всій поверхні зразка структури (рис. 1, б, 2, б).

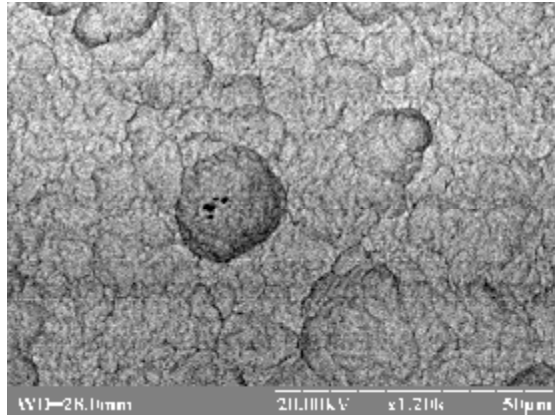
Аналіз рентгенограм композиційних електролітичних нікелевих покриттів показав відсутність алмазної фази вуглецю в нікелевій матриці (рис. 3), підтверджуючи висновок [1] про те, що частинки УДА не є центрами кристалізації. У покриттях чистого нікелю спостерігається переважна орієнтація кристалітів в напрямі (111) (рис. 3,а) і

формується аксіальна текстура росту із кристалографічними індексами [111]. Введення УДА не привело до зміни фазового складу КЕП (рис. 3, б, в), але на дифрактограмах спостерігається перерозподіл інтенсивності ліній, що свідчить про формування в покриттях, електроосаджених з водного розчину електроліту, подвійної аксіальної текстури: [111]+[100] при  $n(\text{УДА}) = 2 \text{ г/л}$  (рис. 3,б) і [111] + [110] при  $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$  (рис. 3,в).

Металографічні дослідження композиційних нікелевих електролітичних покриттів з добавкою УДА показали, що за відсутності руху частинок УДА, забезпечуваного перемішуванням розчину, структура покриття формується більш крупнокристалічною (рис. 4,а). При перемішуванні водного розчину електроліту розмір зерна зменшується, що пояснюється більш швидшим підведенням іонів до поверхні катода, що забезпечує більшу кількість центрів кристалізації (рис. 5,а). Основна кількість вуглецю реєструється у вигляді темних включень (рис. 4,б, 5,б).

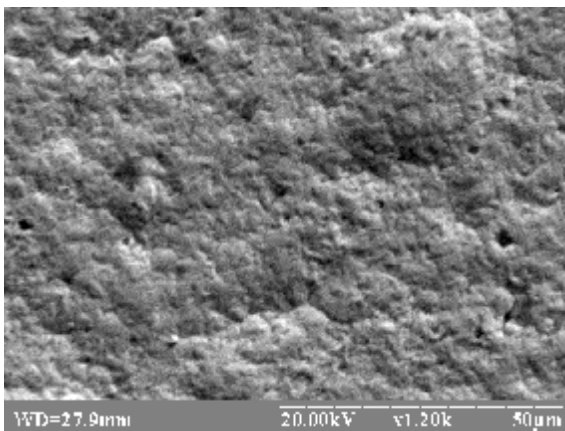


а)

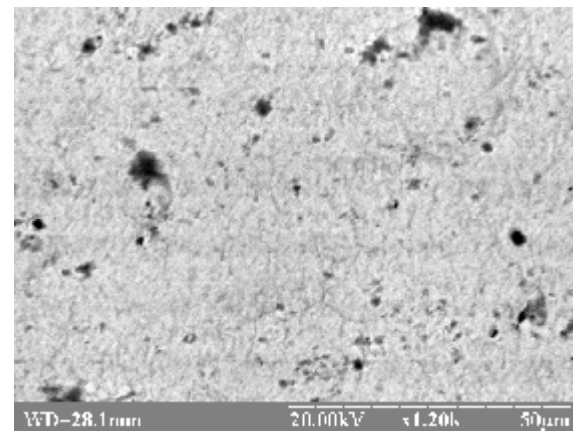


б)

**Рис. 4.** Композиційні електролітичні нікелеві покриття, осаджені при  $j = 300 \text{ А/м}^2$  з УДА ( $n = 2 \text{ г/л}$ ) без перемішування водного розчину електроліту: а) у вторинних електронах; б) у відбитому рентгенівському випромінюванні.

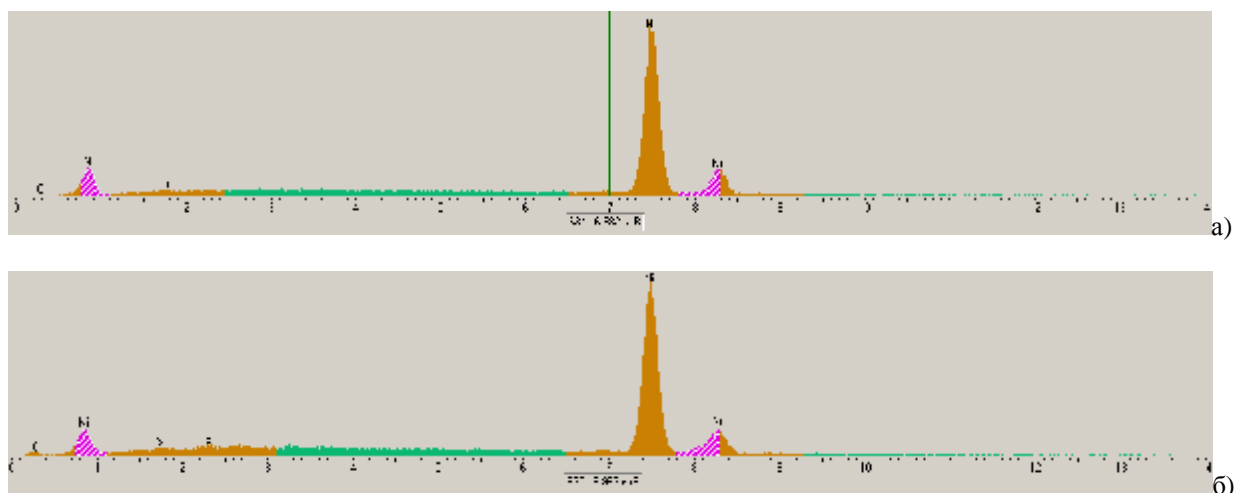


а)

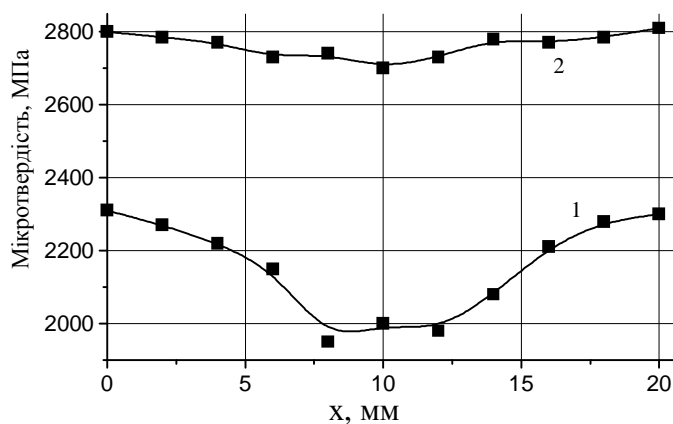


б)

**Рис. 5.** Композиційні електролітичні нікелеві покриття, осаджені при  $j = 300 \text{ А/м}^2$  з УДА ( $n = 15 \text{ г/л}$ ) з перемішуванням водного розчину електроліту: а) у вторинних електронах; б) у відбитому рентгенівському випромінюванні.



**Рис. 6.** Мікрорентгеноспектральний аналіз композиційних електролітичних нікелевих покриттів, осаджених при  $j = 300 \text{ A/m}^2$  а)  $n(\text{УДА}) = 2 \text{ г/л}$  без перемішування водного розчину електроліту; б)  $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$  з перемішуванням водного розчину електроліту.



**Рис. 7.** Залежності мікротвердості композиційних нікелевих електролітичних покриттів, осаджених при  $j = 300 \text{ A/m}^2$ ,  $n(\text{УДА}) = 15 \text{ г/л}$ : 1 - без перемішування розчину, 2 - з перемішуванням розчину.

**Таблиця**

Залежність елементного складу поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів від режимів осадження і концентрації УДА у водному розчині електроліту

Режим осадження			сост., ат.%			
$j, \text{ A/m}^2$	механічне перемішування	$n(\text{УДА}), \text{ г/л}$	Ni	C	Si	S
300	–	2	99,55	0,10	0,35	–
300	+	15	99,48	0,14	0,38	–
			98,08	0,31	0,79	0,82

Порівняння результатів мікрорентгеноспектрального аналізу (рис. 6,а, б) показало, що найбільший вміст вуглецю (наноалмазу) відмічений в зразках, електроосаджених при катодній густині струму  $300 \text{ A/m}^2$  з добавкою УДА концентрацією  $15 \text{ г/л}$  із застосуванням механічного перемішування водного розчину електроліту в процесі електроосадження (рис. 6,б). У цих зразках також

спостерігається більш однорідний по поверхні розподіл вуглецю, проте його кількісний вміст не перевищує  $0,14 \text{ ат.}\%$ , але спостерігаються окремі ділянки, які збагачені до  $0,31 \text{ ат.}\%$  вуглецем (табл.).

Збільшення концентрації у водному розчині електроліту частинок дисперсної фази і, відповідно, вміст вуглецю в покритті приводить до формування мілкокристалічних більш щільноупакованих

покриттів, що визначило підвищення механічних характеристик КЕП. При формуванні нікелевих покриттів, які містять алмази, при катодній густині струму  $100 \text{ A/m}^2$  із збільшенням концентрації УДА у водному розчині електроліту від 2 до 15 г/л мікротвердість покриттів зростає від 1800 МПа до 2200 МПа. Зростання густини струму від 100 до  $300 \text{ A/m}^2$  приводить до збільшення мікротвердості покриттів нікель-УДА від 2200 МПа до 2700 МПа. Необхідно відзначити, що більш однорідний розподіл вуглецю по поверхні зразків, електроосаджених при катодній густині струму  $300 \text{ A/m}^2$  з добавкою УДА концентрацією 15 г/л із застосуванням механічного перемішування водного розчину електроліту в процесі електроосадження, позначається на більш

постійному по поверхні зразків значенні мікротвердості покриття, про що свідчать результати залежності мікротвердості при скануванні поверхні композиційних нікелевих електролітичних покриттів з кроком 2 мм (рис. 7).

Таким чином, дослідження нікелевих покриттів, модифікованих ультрадисперсними алмазами, показали залежність структури і механічних властивостей КЕП, а також якісний і кількісний розподіли співосадженого наноалмазу, від способу електроосадження.

*Дудкіна В.В.* - кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики.

- [1] В.Ю. Долматов, Г.К. Буркат, Сверхтв. Материалы 1, 84 (2000).
- [2] В.Ю. Долматов. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза (СПб: Изд-во СПбГПУ, 2003).
- [3] Xiangzhu He, Yongxiu Wang, Xin Sun, and Liyong Huang, Nanosci. Nanotechnol. Lett. 4(1), 48 (2012).
- [4] Г.К. Буркат, В.Ю. Долматов, Физика твердого тела 46(4), 685 (2004).

V.V. Dudkina

## Research of Structure and Properties of Nickel Coatings, Modified Ultrafine Diamonds

*Dnepropetrovsk national university of railway transport, e-mail: [dudkina2@ukr.net](mailto:dudkina2@ukr.net)*

Researched composite electrolytic coatings deposited from nickel electrolyte containing ultrafine diamonds. Use of compounds of nanodiamonds surface modified nickel affects the structure and increases the microhardness of coatings.

**Keywords:** composition electrodeposits, ultrafine diamonds, structure, mechanical properties.