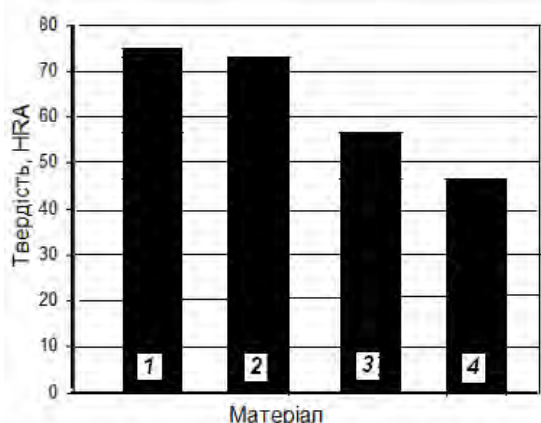


(рис. 3, 1). Зі зменшенням розміру гранул твердість композицій зменшується. Така ж залежність спостерігається для композицій NbC – СФС. Абсолютні значення твердості для обох композицій з вмістом гранул одного розміру сумірні.



- 1 – реліт (-063+04);
- 2 – карбід ніобію (-063+04);
- 3 – реліт (-04+0315);
- 4 – реліт (-0315+02)

Рис. 3. Залежність твердості композиційних матеріалів від складу та розміру гранул твердої складової

Таким чином встановлено, що змінюючи якісний склад вихідних матеріалів, можна регулювати структуру і, як наслідок, властивості КМ. Карбід ніобію, поряд з карбідами вольфраму, є перспективним матеріалом для створення зносостійких матеріалів.

#### Література:

1. Степанчук А.М. Використання самофлюсівних сплавів при створенні композиційних матеріалів та покриттів [Електор. ресурс] / А.М. Степанчук, О.А. Демиденко, Л.О. Бірюкович, М.Б.Шевчук // Матеріали міжнародної конференції “Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра”. – Київ: НТУУ”КПІ”, 2013. – С. 454–465.
2. Bao J. Wear-Resistant WC Composite Hard Coatings by Brazing / J. Bao, J.W. Newkirk, S. Bao // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2004. – 13, № 4. – P. 385 – 388.
3. Aiguo L. Microstructures and wear resistance of large WC particles reinforced surface metal matrix composites produced by plasma melt injection / L. Aiguo, G. Mianhuan, Z. Minhai, W. Changbai // Surface & Coatings Technology. – 2007. – 201. – P. 7978 – 7982.
4. Woydt M. Potentials of niobium carbide (NbC) as cutting tools and for wear protection / M. Woydt, S. Huang, J. Vleugels at al. // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2018. – Vol. 72. – P. 380 – 387.
5. Степанчук А.М. Отримання та властивості гранул з тугоплавких сполук для створення композиційних матеріалів. / А.М. Степанчук, М.Б. Шевчук, С.В. Мазаев // Наукові вісті НТУУ ”КПІ”. – 2010. – №6. – С. 111 – 119.

**Титаренко В.В., Заблудовський В.О.**  
(ДНУЗТ, м. Дніпро)

### **МЕХАНІЧНІ ТА ЗАХИСНІ ВЛАСТИВОСТІ ВУГЛЕЦЕВМІСНИХ НІКЕЛЕВИХ ПОКРИТТІВ**

E-mail: dudkina2@ukr.net

На даний час активно досліджуються композиційні електролітичні покриття (КЕП), модифіковані наночастинками різної природи. Ця тенденція пов'язана як з появою нових матеріалів (наноалмази, фулерени, вуглецеві нанотрубки, оніони та ін.), так і з можливістю істотного покращення функціональних властивостей покриттів при включенні в металеву матрицю різних наночастинок. Особливий інтерес представляють КЕП зі зміцнюючими частинками, що відносяться до класу надтвердих матеріалів, такими як ультрадисперсні алмази (УДА).

Результати мікрорентгеноспектрального аналізу показали, що композиційні нікелеві покриття, отримані за допомогою імпульсного струму з частотою ( $f$ ) 50 Гц, шпаруватістю ( $Q$ ) імпульсів 50 і середньою густиною струму ( $j$ ) 100 А/м<sup>2</sup>, характеризуються більш рівномірною, з високою щільністю розподілу часток УДА на поверхні. Це призводить до формування дрібнозернистих покриттів (рис. 1) з меншою кількістю пор (табл. 1), що перешкоджає виникненню осередків корозії.

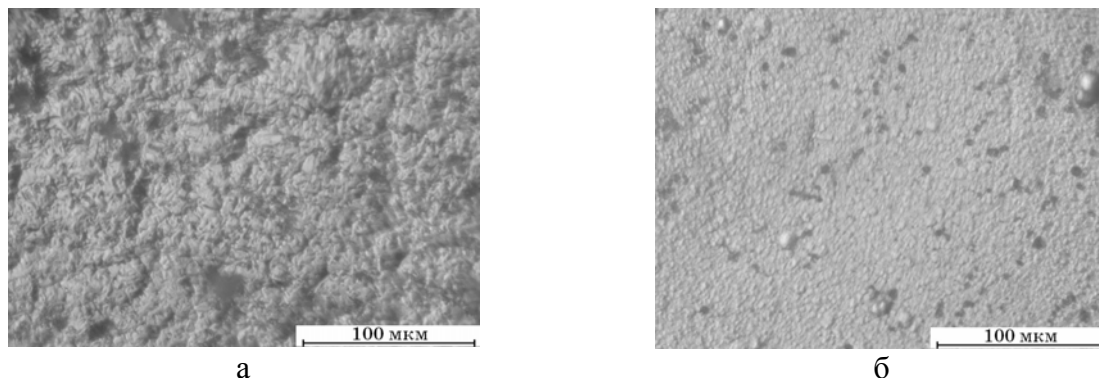
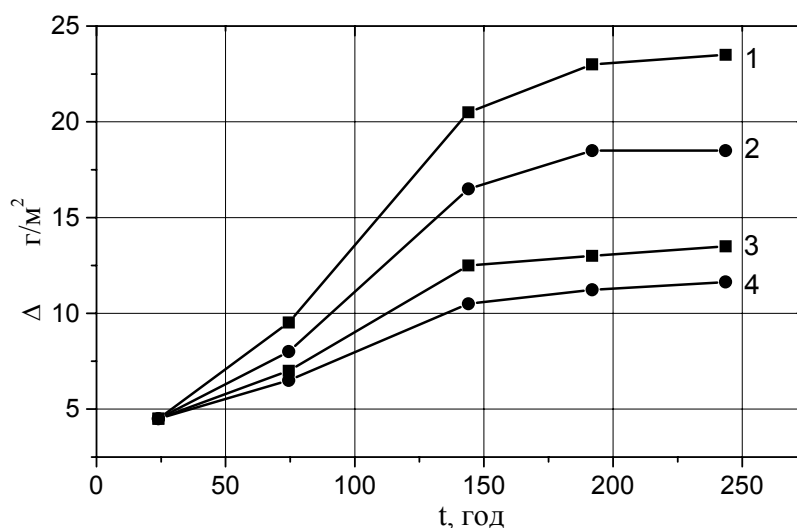


Рис. 1. Морфологія поверхні композиційних електролітичних нікелевих покриттів: а – постійний струм; б – імпульсний струм

Результати корозійних випробувань покриттів (рис. 2) показали, що покриття, осаджені за допомогою постійного струму, відносяться до групи "Стійкі" з балом 4, а застосування імпульсного режиму осадження сприяє отриманню нікелевих КЕП, які відносяться до групи "Дуже стійкі" з балом 3.

Таблиця 1 – Вплив режимів осадження на механічні та захисні властивості нікелевих і вуглецевмісних нікелевих покриттів

Режим осадження	$j$ , А/м <sup>2</sup>	$f$ , Гц	$Q$	$C_{УДА}$ , мас. %	$H_{ц}$ , МПа	Середній знос, мг/год	Середнє корозійне проникнення, мм/рік	Кількість пор на 1 см <sup>2</sup>
постійний струм	100	-	-	-	1800	1,8	0,011...0,014	24
		-	-	2,24	2100	1,6	0,008...0,013	22
імпульсний струм	100	50	50	-	2530	1,3	0,006...0,011	19
				4,45	3177	0,6	0,005...0,010	10



1, 3 – постійний струм; 2, 4 – імпульсний струм; 1, 2 – без включень наноалмазів; 3,4 – з включеннями наноалмазів

Рис. 2. Залежності зміни маси нікелевих електролітичних покриттів

Зміни структури позначаються на механічних властивостях композиційних нікелевих покриттів, наприклад, мікротвердості і зносостійкості (табл. 1). Так покриття нікелю, отримані за допомогою постійного струму, за 5 годин зносу втрачають 10% своєї маси. При переході до імпульсного режиму осадження мікротвердість збільшується на 75...77%, а знос зменшується до 3%.

**Тищенко С.А.<sup>1</sup>, Улещенко Д.В.<sup>1</sup>, Габ А.И.<sup>1</sup>, Малышев В.В.<sup>1,2</sup>**  
(<sup>1</sup>Університет «Україна»; <sup>2</sup>Институт общей и неорганической химии, г. Киев)

### **ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ТАНТАЛОВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ФТОРИДНЫХ РАСПЛАВОВ**

E-mail: viktor.malyshev.igic@gmail.com

Для осаждения танталовых покрытий применяли солевые расплавы эвтектического состава, % (масс.): 29 LiF – 12 NaF – 59 KF ( $t_{пл} = 727$  К) и 27,5 NaF – 72,5 NaCl (913 К) с добавками 7,5; 10,0; 15,0 и 25% (масс.)  $K_2TaF_7$ . Электролиз вели при катодных плотностях тока ( $i_k$ ) = 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 А/дм<sup>2</sup> и температурах 973, 823, 1073 и 1123 К. Продолжительность единичного электролиза изменяли в интервале от 30 мин до 3 ч. Количество пропущенного тока за опыт при однослойном осаждении тантала составляло  $q = 2,5; 5,0; 10,0$  А-ч/дм<sup>2</sup>. Толщина покрытия колебалась от 20 до 100 мкм.

Из зависимости выхода по току в расчете на компактный металл от условий осаждения следует, что увеличение концентрации тантала в электролите позволяет вести процесс электроосаждения при более высокой плотности тока; повышение катодной плотности тока снижает выход по току по причине усиления дендритообразования; оптимальная температура для работы во фторидном расплаве 1073 К, в хлоридно-фторидном – 1023 К.

Температура, как показали исследования, прежде всего влияет на характер электрокристаллизации металла. При относительно низкой температуре ( $\geq 973$  К) образуются плохо сцепленные с основой чешуйчатые и губчатые наросты из очень мелких кристаллов. Такие осадки, как правило, содержат повышенное количество солей электролита и потому требуют более тщательной гидрометаллургической обработки. Повышение температуры  $\geq 1023$  К ведет к росту и дальнейшему развитию форм и граней кристаллов, способствует укрупнению структуры и усилению дендритообразования. Дальнейшее повышение температуры до 1073 К приводит к чисто столбчатой структуре. При 1123 К зерно сильно укрупняется, а поверхность осадка становится очень шероховатой из-за образования пирамид, вершинки которых постепенно перерастают в дендриты. Все изученные осадки обладают аксиальной текстурой с осью <III>, перпендикулярной к основе. Направление роста дендритов часто совпадает с направлением оси текстуры сплошного осадка. Замечено, что повышение температуры смещает получение доброкачественных осадков в область более высоких плотностей тока.

Катодная плотность тока существенно влияет на качественные, количественные и внешние характеристики танталового осадка. Со снижением катодной плотности тока повышается выход по току и улучшается качество покрытия. Так, при  $i_k = 2,5...5,0$  А/дм<sup>2</sup> были осаждены компактные мелкокристаллические танталовые осадки. С увеличением плотности тока осадки становятся крупнокристаллическими, поверхность их быстро огрубляется, рост сплошного слоя замедляется из-за интенсивного развития дендритов.

Для получения танталовых покрытий большей толщины целесообразно вести процессы во фторидном электролите при катодной плотности тока 5,0 А/дм<sup>2</sup> в течение – 3 ч (15 А-ч/дм<sup>2</sup>) с соблюдением остальных оптимальных параметров электролиза. Толщина компактного слоя осажденного тантала достигает при этом 100 мкм.