

4. Мартынова И.Ф., Штерн М.Б. Уравнение пластичности пористого тела, учитывающее истинные деформации материала основы // Порошковая металлургия. – 1978. – № 1. – С. 23–28.
5. Green R.J. A plasticity theory for porous solids // International Journal of Mechanical Sciences. – 1972. – **14**. – P. 215–224.
6. Shima S., Oyane M. Plasticity theory for porous metals // International Journal of Mechanical Sciences. – 1976. – **18**. – P. 285–291.
7. Gurson A.L. Continuum Theory of Ductile Rupture by Void Nucleation and Growth: Part I. Yield Criteria and Flow Rules for Porous Ductile Materials // Journal of Engineering Materials and Technology. – 1977. – **99**. – P. 2–15.
8. Tvergaard V. Influence of Voids on Shear Band Instabilities under Plane Strain Condition // International Journal of Fracture Mechanics. – 1981. – **17**. – P. 389–407.
9. Kushch V.I., Podoba Ya.O., Shtern M.B. Effect of micro-structure on yield strength of porous solid: A comparative study of two simple cell models // Computational Materials Science. – 2008. – **42**. – P. 113–121.
10. Механика композитов. (В 12 т.) Т. 1. В.Т. Головчан, А.Н. Гузь, Ю.В. Коханенко, В.И. Куц. Статика материалов – Киев: Наук. думка, 1993. – 456 с.
11. Механические свойства кобальта при разных температурах и скоростях деформации. Л.Д. Соколов, А.Н. Гладких, В.А. Скуднов и др. // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1969. – № 8. – С. 37–39.
12. Куц В.И., Иванов С.А. Экспериментально-теоретическая методика определения локальной пористости // Сверхтвердые материалы. – 2007. – № 1. – С. 51–59.

*Поступила 27.05.09*

УДК.541.12.012.5

**Н. А. Щур, А. Е. Шило**, д-р техн. наук

*Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев*

### **ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ НИКЕЛЯ НА АСИММЕТРИЧНОМ ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ**

*This paper is described same aspects and results of influencing of the magnetic fields and altering asymmetric current on the nickel electroplating. It was found, what magnetic fields with altering current can be used during electrodepositing of nickel coatings with aim of forming controlling programmed properties.*

#### **Актуальность**

Важнейшей задачей при получении специальных функциональных покрытий и материалов является разработка новых прогрессивных технологических способов, позволяющих обеспечить предъявляемые к ним повышенные требования. Эта задача актуальна для всех электролитических композиционных покрытий и, в частности, для гальванических никелевых, содержащих включения частиц синтетических алмазов.

Цель настоящей работы – совершенствовать технологию нанесения алмазно-гальванических никелевых покрытий путем возможного улучшения физико-механических

свойств никеля, осаждаемого электрохимическим способом на асимметричном переменном токе промышленной частотой в переменном магнитном поле.

Потребность развивающихся отраслей промышленности в новых технологиях стремительно возрастает. В настоящее время исследования направлены на разработку методов получения уникальных композиционных материалов по всем существующим направлениям. Наряду с другими электрохимическая промышленность требует развития технологий, позволяющих создать покрытия с комплексом заданных регулированных свойств, и в этой области ведутся интенсивные поиски с целью создания новых материалов. К наиболее известным способам нанесения композиционных покрытий относится электрохимический. С помощью этого метода осаждают композиционные электрохимические покрытия (КЭП), содержащие в своей структуре инородные частицы различной природы [1; 2]. Достоинства данного метода экономичность и сравнительная легкость нанесения гальванических покрытий, в том числе на поверхности сложных геометрических форм. Возможность включения частиц в формирующийся электролитический слой обеспечивает существенное изменение полезных свойств покрытий. Требования к таким физико-механическим характеристикам КЭП как твердость, прочность, износ- и коррозионностойкость, постоянно повышаются, однако известные промышленные способы их получения не обеспечивают необходимых свойств. Следует отметить, что в процессе электроосаждения композиционных покрытий рост кристаллизующегося металла подчиняется тем же законам, что и при электрохимическом формовании простых металлов. Следовательно, им могут быть присущи следующие недостатки: неравномерность осаждения, рост дендритов, особенно при длительном электролизе, высокие внутренние напряжения, слабая адгезия к поверхности основного металла, содержание инородных вредных включений, в том числе водорода, что, в свою очередь влияет на свойства металла-связки и, как следствие, ухудшает технические характеристики композита на ее основе. Традиционные методы – разработка электролитов новых составов, подбор режимов температуры и перемешивания раствора, введение поверхностно-активных веществ – частично устраняют указанные недостатки, однако в полной мере не способствуют достижению требуемых качеств покрытия [3; 4].

Результаты анализа зарубежной и отечественной литературы выявили, что интенсивно исследуется воздействие на процессы электролиза ультразвука, лазерной стимуляции, магнитных полей заданной интенсивности и направленности, переменных токов различной формы и частоты. Вследствие этого открываются новые пути повышения контроля и управления толщиной, составом, магнитными свойствами гальванических осадков, позволяющие влиять на морфологию, структуру покрытия, размер, плотность упаковки и направление роста кристаллов, изменять внутренние напряжения, количество включаемых в осадок примесей, подавлять рост дендритов и пр. [5].

Существенно усилить потенциальный ресурс использования алмазно-гальванических никелевых покрытий удастся путем улучшения свойств материала-связки.

В последнее время перспективным направлением считается наложение магнитных полей, обеспечивающее возможность влияния на процесс формирования растущего осадка, а использование нестационарных режимов электролиза позволяет регулировать свойства наносимого осадка [6; 7].

### **Результаты**

В целях обеспечения требований, предъявляемых к никелевым электролитическим покрытиям, которые используются в качестве материала-связки при получении алмазно-никелевых КЭП, в ИСМ НАН Украины осуществлено их формирование электрохимическим способом из электролита типа Уоттса на асимметричном переменном токе частотой 50 Гц в переменном магнитном поле.

Выявлены оптимальные технологические параметры формирования электролитического никеля при ведении процесса на асимметричном переменном токе и при воздействии МП в условиях нестационарного процесса осаждения. Путем варьирования заданными вели-

чинами как анодной, так и катодной силы тока, удалось получить менее пористые, более равномерные осадки никеля с улучшенной адгезией к стальной подложке. Установлено существенное влияние анодной поляризации, как при ведении процесса отдельно на асимметричном переменном токе, так и при электроосаждении в магнитном поле. Было замечено, что магнитное поле интенсифицирует процесс осаждения. Рассчитаны значения выхода по току никеля для каждого процесса осаждения по среднему значению плотности тока.

Определены физико-механические свойства полученных покрытий, а так же их морфология и структура. С помощью метода сканирующей электронной микроскопии (СЕМ), и измерений проведенных на микротвердомере ПМТЗ установлено, что в магнитном поле на асимметричном переменном токе с коэффициентом асимметрии  $\beta = 3-12$  можно сформировать слой металлического осадка с улучшенной адгезией и микротвердостью, которая в 1,7 раза превышает микротвердость никеля, осаждаемого на постоянном токе. Анализ результатов показал, что размер наименьших зерен никеля составляет 0,075-0,16 мкм с увеличением среднего значения плотности тока и образуется более мелкозернистая структура по всему объему покрытия. Выявлено, что при осаждении в магнитном поле на изменение морфологии и твердости покрытий, существенно влияет задаваемая величина силы тока в анодный полупериод. С повышением анодной силы тока, в случае осаждения в магнитном поле при изменении коэффициента  $\beta = 2,5 - 4,5$ , достигается размер наименьших зерен 0,25-0,42 мкм. Следует отметить, что в исследованном диапазоне заданных значений плотностей тока удалось получить как мягкие, так и твердые покрытия, в процессе электроосаждения и в МП, и просто на асимметричном переменном токе.

### **Выводы**

Установлено воздействие задаваемых значений катодного и анодного тока на морфологию, структуру, физико-механические характеристики электролитического никеля, осаждаемого на асимметричном переменном токе промышленной частотой, как в условиях наложения магнитного поля, так и без его воздействия. Показано, что на формирование никеля влияет амплитуда анодной силы тока. Путем варьирования силой тока в положительный полупериод достигается изменение размера кристаллических зерен, при этом можно получить как твердые, так и мягкие электролитические никелевые осадки.

На основании полученных данных можно предположить, что способ электролитического осаждения никеля на асимметричном переменном токе в магнитном поле применим для формирования покрытий с заданными регулируемыми свойствами, а так же для получения алмазно-никелевых покрытий. В дальнейшем необходимо исследовать влияние этих параметров на процесс совместного осаждения электролитического металла и зерен синтетических алмазов.

### **Литература**

1. Антропов Л.И., Лебединский Ю.Н. Композиционные электрохимические покрытия и материалы. К.: Техника, 1986. – 200 с.
2. Овчинников Е.В., Лещик С.Д., Струк, В.А. и др. Триботехнические характеристики композиционных многослойных покрытий // Трение и износ. – 2000. – № 2. – С. 147–157.
3. Костин Н. А. Перспектива развития импульсного электролиза в гальванотехнике // Гальванотехника и обработка поверхности – 1992. – № 1 – 2. – С. 16–18.
4. Влияние поверхностно-активных веществ на электроосаждение композиционных антифрикционных покрытий / М. И. Быкова, И. В. Шкляная, Е. М. Чистяков, Л. И. Антропов: Тез. докл. к совещ. «Новая технология гальванических покрытий». – Киров, 1974. – С. 58–59.
5. Щур Н. А., Донченко М. И. О влиянии магнитного поля на процесс электроосаждения никеля // Вісн. нац. техн. ун-ту «ХПІ». – 2006. – № 44. – С. 60–66.

- Ganesh V., Vijayaraghavan D., Lakshminarayanan V. Fine grain growth of nickel electrodeposit effect of applied magnetic field during deposition // Appl. Surf. Sci., – 2005. – P. 285–295.
- Matushima H., Ispas A., Bund A., Bozzini B. Fine grain growth of nickel electrodeposit effect of applied magnetic field during deposition // Electroanal. Chem. – 2008. – № 615(2). – P. 191–196.

Поступила 28.05.2009

УДК 621.921.34–492.2:666.233:539.89

**К. А. Свирид, Г. А. Петасюк, Л. О. Романко, кандидаты технических наук,  
В. С. Гаврилова, О. О. Бочечка, д-р техн. наук**

*Институт надтвердых материалов им. В.М. Бакуля НАН Украины, м. Київ*

### **ЗМІНА ЕЛЕКТРООПОРУ АЛМАЗНИХ ПОРОШКІВ, СИНТЕЗОВАНИХ В СИСТЕМІ Mg–Zn–B–C, ПРИ ПРЕСУВАННІ**

*The electrical properties of the diamond powders synthesised in the Mg–Zn–B–C system have been studied. The pressure dependence of the electrical resistance of the powders has been measured.*

#### **Вступ**

Створення електропровідних матеріалів на основі алмазу відкриває перспективи їхнього застосування в електроніці та електрохімії. Як відомо, алмаз є широкозонним діелектриком. Набуття електричної провідності алмазом відбувається при введенні в його ґратку бору як домішки заміщення [1]. Ефективним способом такого введення є синтез алмазу в системі Mg–Zn–B–C [2].

Експериментальне вивчення електричної провідності синтезованих порошків полягає в вимірюванні вольт-амперних характеристик (ВАХ) стисненого порошку за допомогою спеціально розробленої комірки, яка є прес-формою з матрицею, виготовленою з непровідного матеріалу з високим питомим опором.

Метою нашої роботи є встановлення впливу тиску пресування на величину електричного опору брикетів, сформованих в сталій прес-формі з порошків, синтезованих в системі Mg–Zn–B–C.

#### **Методика дослідження**

Синтез алмазу в системі Mg–Zn–B–C здійснювали при тиску біля 8 ГПа і температурі порядку 1700°C в апараті високого тиску типу «тороїд» [3]. Шихта складалася з однорідної суміші порошку сплаву MgZn і спектрального графіту. Графіт в якості домішки містив близько 0,007 % (за масою) бору. В шихту також додатково вводили бор. Продукт синтезу піддавали термохімічній обробці для видалення металів та неалмазного вуглецю.

Пресування синтезованих порошків при тиску до 0,5 ГПа проводили в сталій прес-формі діаметром 9 мм при зусиллі преса до 30 МН.

Опір зразків визначали методом вимірювання ВАХ при постійній силі струму, з використанням спеціально розробленої вимірювальної комірки. Питомий опір розраховували з врахуванням геометричних розмірів вимірювальної комірки. Досліджуваний порошок засипали в комірку і на вимірювальному стенді проводили пресування порошку за допомогою