MODIFICATION OF HIGH SPEED STEELS BY NANOSTRUCTURED MATERIALS FOR MANUFACTURE CUTTING INSERTS CUTTERS OF MINING MACHINES

The paper deals the influence of nanostructured materials on the structure and physico-mechanical properties of high speed steels for manufacture of cutting inserts cutters of mining machines.

***Key words**: alloy, modification, structure*

Литература

1. Чаус А. С., Рудницкий Ф. И., Мургаш М. Структурная наследственность и особенности разрушения быстрорежущих сталей // МиТОМ. – 1997. – № 2. – С. 9-11.
2. Рудницкий Ф. И. Особенности эксплуатации инструмента из литой быстрорежущей стали // Литьё и металлургия. – 2006. – № 2. – Ч. 2. – С. 173–177.
3. Гаврилин И. В. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2000.– 260 с.
4. Рудницкий Ф. И. Николайчик Ю. А., Ермак А. Н. О возможности избирательного модифицирования быстрорежущей стали // Литье и металлургия. – 2014. – № 1. – С. 50–55.

Поступила 01.09.16

УДК 621.357.6:621.9:537.811

Д. Ю. Ущаповський, канд. техн. наук[1], **О. В. Лінючева**, д-р техн. наук,[1], **Р. М. Редько**[1]; **В. І. Лавріненко** д-р техн. наук[2], **Ю. П. Ущаповський**[2]

[1]*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
[2]*Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ*

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА АЛМАЗНОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ МЕТАЛУ ПРИ ЕЛЕКТРОФОРМУВАННІ МЕТАЛ-КОМПОЗИЦІЙНИХ ШАРІВ

Змодельовано процес електроформування мідних осадів товщиною до 100 мкм. Показано можливість досягнення рівномірного профілю осаду з перепадом товщини до 1 мкм шляхом екранування у процесі електросадження виступаючого краю катоду дворівневим екраном. Отриманий результат можна використовувати при створенні високоточного правлячого алмазного інструменту.

***Ключові слова:** гальванопластика, правлячий алмазний інструмент, рівномірність розподілу металу.*

При виробництві правлячого алмазного інструменту, який застосовується для точної розмірної обробки деталей машин, виготовлених з високоміцних металевих сплавів, та різних конструктивних елементів з металокераміки використовують алмази з характерними розмірами n·100 мкм. Використання алмазів таких розмірів передбачає за гальванопластичного способу виробництва нарощування великих (кілька сотень мікрометрів) метал-композиційних шарів.

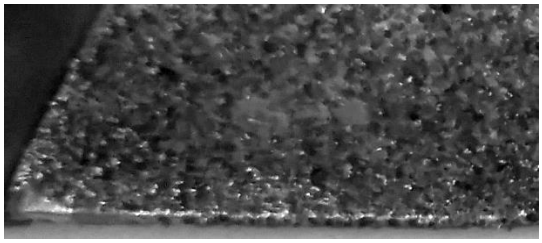
Гальванопластичне формування робочої поверхні інструментів здійснюється в електрохімічній комірці з розчином електроліту, що містить іони осадженого металу, катодом якої є відповідний алмазний інструмент, а анодом найчастіше пластина з

осаджуваного металу. Для створення композиційного металевого шару використовують електроосадження таких металів, як мідь, нікель, хром. Основна вимога до осаджуваного металу – міцність та здатність утримувати алмаз за механічного навантаження [1]. Ці властивості визначає як природа електроосаджуваного металу, так і режим та спосіб електроосадження.

Для правлячого алмазного інструменту (рис. 1, а, б) гостро постає проблема досягнення рівномірності товщини абразивного метал-композиційного шару через необхідність досягнення високої точності обробки деталей відповідним алмазним інструментом. Основна причина нерівномірності товщини композиційного металевого шару полягає в нерівномірності розподілу густини струму та металу по поверхні катода [2 – 4] (алмазного інструменту) у процесі електроформування (рис.1 в) [5].

а

б



в

Рис. 1. Загальний вигляд різновидів правлячого алмазного інструменту: а – алмазний круг; б – алмазні ролики; в – фрагмент електроосадженого алмазно-нікелевого композиційного шару з крайовим ефектом у вигляді потовщення шару металу на нижній частині (середня товщина шару ~100 мкм, алмаз марки АС 32-200/300)

Нерівномірне осадження металу при електроформуванні зумовлюється нерівномірністю розподілу та локальним згущенням силових ліній електричного поля. Останнє відбувається переважно на краях та виступаючих частинах оброблюваного електроду. Ці місця виконують роль так званих концентраторів силових ліній і в результаті саме на них відбувається локальне зростання густини струму. Це явище називають крайовим ефектом [6]. Особливо воно виявляється при електроосадженні товстих (від 100 до 1000 мкм) шарів металу.

Нерівномірність металкомпозиційного шару можливо виправити механічним доведенням, що є додатковою операцією, яка зумовлює збільшення непродуктивних витрат металу.

Отже, подолання нерівномірності розподілу металевого композиційного шару при електроформуванні – важливе науково-технічне завдання, вирішення якого сприятиме вдосконаленню технології отримання алмазного інструменту методом гальванопластики та зменшенню непродуктивних витрати металу.

Методика дослідження

На рівномірність розподілу струму та металу по поверхні оброблюваної деталі, з одного боку, впливають форма оброблюваного інструменту та геометричні параметри

електролізера, де здійснюється нарощування композиційного шару – співвідношення ширини катоду (оброблюваного інструменту) та аноду, міжелектродна відстань. З іншого боку, істотно впливають фізико-хімічні параметри електрохімічної системи – склад розчину електроліту, електропровідність розчину, поляризованість електродів, залежність катодного виходу за струмом від густини струму. Таким чином, саме вторинний розподіл густини струму визначає рівномірність розподілу металу по поверхні катоду.

У пропонованій роботі з метою дослідження впливу геометричних параметрів електролізера на рівномірність розподілу густини струму та металу по поверхні катода здійснювали математичне комп'ютерне моделювання вторинного розподілу густини струму в міжелектродному просторі з використання програмного середовища COMSOL MULTIPHYSICS 4.3. В основу використаного методу покладено розрахунок розподілу потенціалу і густини струму в міжелектродному просторі, що зводився до розв'язання диференційного рівняння Лапласа із заданими крайовими умовами [7]. Використовувана програма вирішує таке завдання методом кінцевих елементів. У загальному вигляді розв'язок описується функціональною залежністю

$$i_{lok} = f(KBa, KBk, \sum \frac{x_i}{y_i}), \quad (1)$$

де i_{lok} – локальна густина струму; KBa, KBk – анодний та катодний критерії Вагнера – емпіричні коефіцієнти, що включають вплив електропровідності розчину; $\sum \frac{x_i}{y_i}$ – сукупність співвідношень геометричних параметрів системи (ширини та довжини електродів, міжелектродні відстані, зазорів між краєм електроду та боковою стінкою комірки).

Зокрема, використано вбудовану в COMSOL MULTIPHYSICS 4.3 мультифізичну «модель тривалого росту осаду міді», що детально описано у [8; 9]. Моделювання вторинного розподілу густини струму здійснено, зокрема, для горизонтального перерізу комірки електроосадження міді з двома плоско паралельними електродами (рис. 2.).

Моделювання вторинного розподілу густини струму та профілю тривалого осаду міді здійснювали для фрагменту горизонтального перерізу електролізера, у якому здійснюється електроформування метал-композиційного шару на інструмент типу правлячого «ролика» (рис. 2, *г*).

В основу використаної моделі покладено сукупність фізико-хімічних процесів, що відбуваються в гальванічній комірці міднення із сульфатного електроліту.

На катоді відбувається електроосадження міді за реакцією

$$Cu^{2+} + 2e = Cu, \quad (2)$$

на мідному аноді – розчинення міді за реакцією

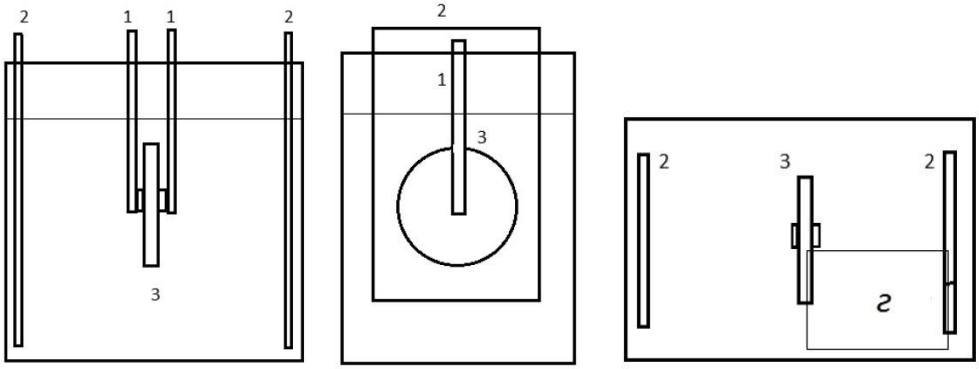
$$Cu = Cu^{2+} + 2e. \quad (3)$$

У процесі моделювання використовували параметри розчину електроліту, який містить 0,8 М $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ та 0,8 М H_2SO_4, електропровідність розчину становила 0,23 См/см.

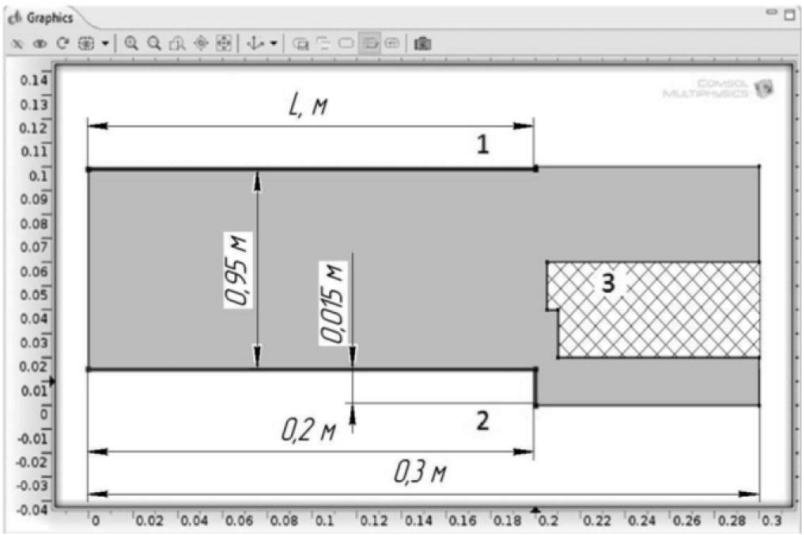
Для спрощення описе кінетичних закономірностей катодного та анодного процесів, які використовують при математичному моделюванні, прийняли лінійну залежність локальної густини струму від перенапруги електродів

$$i_{lok} = 0{,}3 \cdot 10^{-4} \cdot \eta \quad [A/(м^2 \cdot B)], \quad (4)$$

де η – перенапруга електродного процесу, В.



а *б* *в*



г

Рис. 2. Схематичне зображення гальванічної комірки (а – в): 1 – катодні тримачі; 2 – аноди; 3 – деталь «ролик»-катод. Координатне вікно COMSOL MULTIPHYSICS 4.3 зі схематичним зображенням половини горизонтального перерізу комірки (г): 1 – анод; 2 – катод; 3 – струмонепровідний екран; L – ширина катоду

Наведеною моделлю можна отримати усереднені профілі росту катодного осаду металу за 24 год і моделі розподілу густини струму та силових ліній електричного поля в міжелектродному просторі.

Результати моделювання та їх обговорення

З метою подолання нерівномірності розподілу металу по поверхні катоду можна використовувати кілька прийомів.

Розглянемо імпульсно-реверсний нестаціонарний струмовий режим електролізу [10]. Шляхом підбору амплітуди та тривалості катодних і анодних імпульсів можна досягти перерозподілу та вирівнювання товщини металу на поверхні катоду.

Подолати крайовий ефект можливо шляхом введення у розчин спеціальних поверхнево-активних добавок, що адсорбуватимуться на активних центрах – кутах і виступах катоду та сприятимуть перерозподілу густини струму та металу по поверхні катода [11].

Одним з перспективних способів досягнення рівномірності розподілу густини струму та металу при електроформуванні є оптимізація конструктивних параметрів електрохімічної комірки [12]. Цей спосіб не потребує використання високовартісних програмованих джерел постійного струму та введення у розчин додаткових поверхнево-активних речовин, що можуть негативно вплинути на фізико-механічні властивості осадів металу.

У процесі симулятивного дослідження впливу геометричних параметрів системи на рівномірність розподілу густини струму та товщини осаду по поверхні катоду встановили таке (рис. 3).

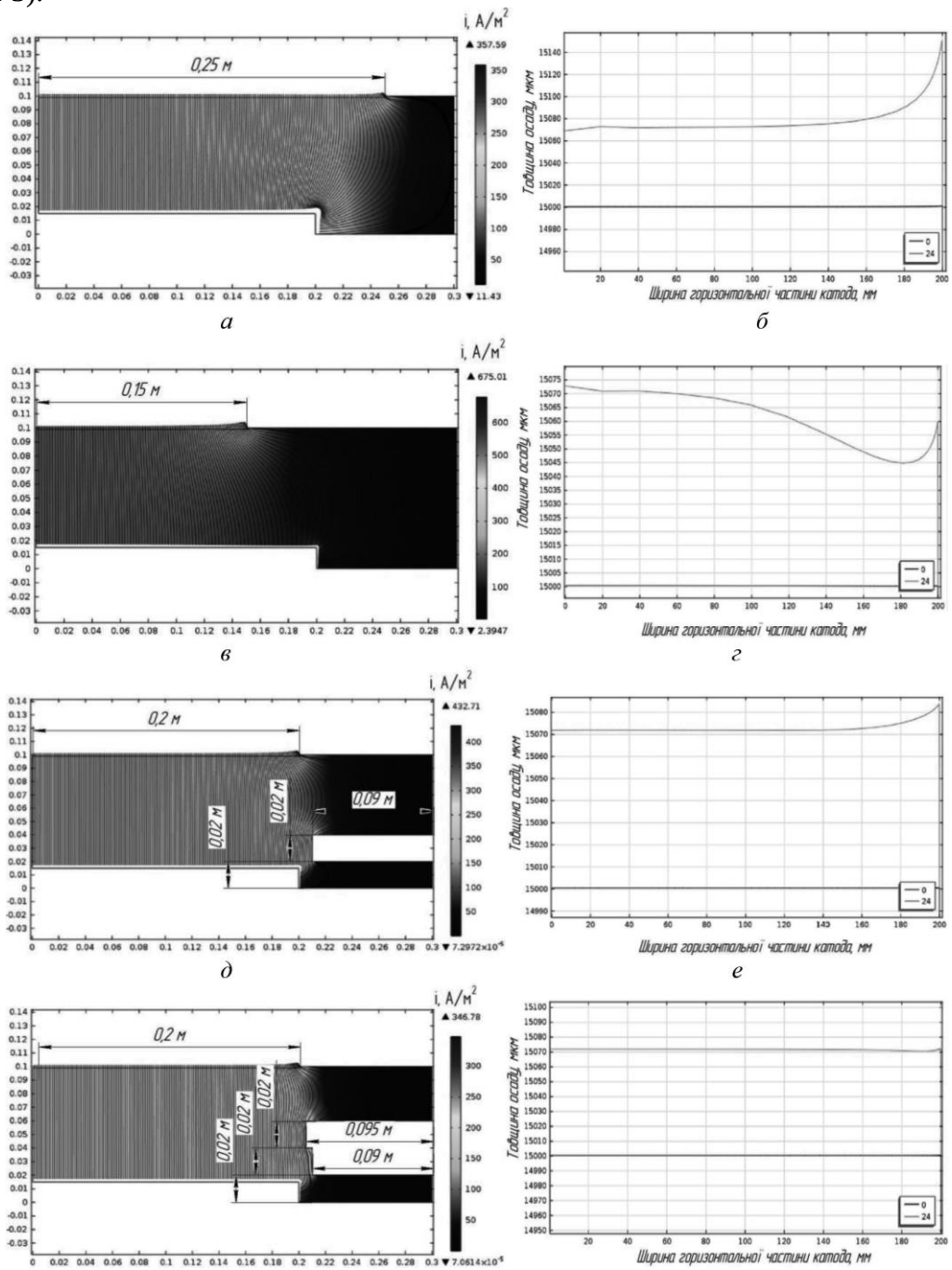


Рис. 3. 2D графіки розподілу густини струму в між електродному просторі (а, в, д, є) та профілі катодного осаду металу (б, г, е, ж) за 24 год електроформування

Якщо ширина аноду перевищує ширину катоду на 50 мм (рис. 3, *а*, *б*), на виступаючому краю катоду значно згущуються силові лінії. При цьому майже вдвічі підвищується густина струму та товщина осаду металу порівняно із середніми на його горизонтальній площині. Перепад товщини осаду металу становить 70 мкм.

Якщо анод на 50 мм вужчий від катоду (рис. 3 *в*, *г*) силові лінії щільніше перерозподіляються до центру катоду. Проте отриманий профіль осаду (рис. 3, *г*) стає ще нерівномірні ший, ніж у випадку, показаному на (рис. 3, *б*). Незважаючи на зменшення перепаду товщини осаду до 15–40 мкм, отриманий профіль осаду неприпустимий для функціонального шару правлячого алмазного інструменту. У цьому випадку через свою форму осад стає непридатним для механічного виправлення.

Рівномірність розподілу густини струму по поверхні катоду можна значного поліпшити досягти при використанні струмонепроникного екрану (рис. 3, *д*, *е*). Це зумовлюється поліпшенням рівномірності розподілу силових ліній електричного поля, особливо біля краю катоду, при використанні співрозмірних за шириною електродів та розміщенні біля краю катоду струмонепроникного екрану. Перепад товщини між краєм та центральною частиною осаду металу не перевищує 12 мкм.

Майже ідеально рівномірний профіль осаду з перепадом товщини до 1 мкм можна отримати при використанні дворівневого екрану (рис. 3, *є*, *ж*).

Таким чином, метод екранування виступаючих ділянок поверхні інструменту при електроформуванні металкомпозиційного шару справді ефективний для досягнення рівномірності його профілю.

Висновки

Шляхом підбирання оптимальних геометричних параметрів електрохімічної комірки та розмірів і форми струмонепроникних екранів при моделюванні процесу електроформування показано можливість отримання рівномірних з перепадом товщини до 1 мкм осадів металу. Практичне використання отриманих результатів сприятиме спрощенню та здешевленню виготовлення правлячого алмазного інструменту.

Використаний у роботі підхід можна застосовувати також для моделювання процесів електроформування нікелевих та хромових метал композиційних шарів, які широко використовують у виробництві алмазного інструменту.

Смоделирован процесс электроформования медных осадков толщиной до 100 мкм. Показана возможность достижения равномерности профиля осадка с перепадом толщины до 1 мкм путем экранирования в процессе электроосаждения выступающего края катода двухуровневым экраном. Полученный результат можно использовать при создании высокоточного правящего алмазного инструмента.

Ключевые слова: *гальванопластика, правящий алмазный инструмент, равномерность распределения металла.*

THE IMPROVEMENT OF DIAMOND TOOL PRODUCTION TECHNOLOGY ON THE BASIS OF MODELING OF METAL DISTRIBUTION DURING METAL-COMPOSITE LAYERS ELECTROFORMING PROCESS

The simulation of the copper deposits thickness up to 100 microns electroforming process was carried out. The possibility of achieving of an even profile of metal deposit with a thickness drop of up to 1 μm by shielding the protruding edge of the cathode with a two-level screen in duration of electroforming process was shown. The obtained results can be used to create a high-precision governing diamond tool.

Key words: *electroforming, governing diamond tool, uniform distribution of the metal.*

Література

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: моногр. в 6 т. Т. 3 / под общ. ред. Н. В. Новикова. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля, ИПЦ «Алкон» НАН Украины, 2005. – 280 с.
2. Каданер Л. И. Равномерность гальванических покрытий. – Х.: Гос. ун-т, 1961. – 414 с.
3. Popov K. I., Živković P. M., Nikolić N. D. A mathematical model of the current density distribution in electrochemical cells // J. Serb. Chem. Soc. –2011. – N 76 (6). – P. 805–822.
4. Popov K. I., Pešić S. M., Živković P. M. The current distribution in an electrochemical cell. Part VI. The quantitative treatment for cells with three plane parallel electrode arrangements // J. Serb. Chem. Soc. – 2001. – N 66(7). – P. 491–498.
5. Вячеславов П. М., Волянюк Г. А. Электролитическое формование. – Л: Машиностроение, 1979. – 197 с.
6. Popov K. I., Stevanovi R. M. A new current line division concept for the determination of the current distribution in electrochemical cells. Part I. Theoretical background of the “corner weakness” effect in electroforming // J. Serb. Chem. Soc. – 2000. – N 65(12). – P. 905–914.
7. Current Distribution at the Electrodes in Zinc Electrowinning Cells / K. Bouzek, et al. // J. Electrochem. Soc. – 1995. – N 142(1). – P. 64–69.
8. Deconinck J. Mathematical modelling of electrode growth // J. of appl. electrochem. – 1994. – N 24. – P. 212–218.
9. Electrode Growth Next to an Insulator. Application ID: 10212 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.comsol.com/model/electrode-growth-next-to-an-insulator-10212.
10. Гамбург Ю. Д. Какие формы импульсного тока целесообразно применять на практике // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2003. – № 4. – С. 60–65.
11. Распределение металла на сложнопрофильном катоде при электроосаждении меди в условиях принудительной конвекции / Т. И. Лежава и др. // Электрохимия. – 2007. – №43(3). – С. 319–324.
12. The intensification of compact copper electrowinning process by increasing vertical current density and distribution uniformity/ D. Yu. Ushchapovskyi, T. I. Motronyuk, O. V. Linyuicheva, A. S. Tsymbaliuk // Promising materials and processes in applied electrochemistry: Monogr. K.: KNUTD, 2017. – P. 81–88.

Поступила 07.07.17

УДК 666.11.01

С. А. Кухаренко, О. А. Дєвицький, І. В. Лєщук, кандидати технічних наук

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України, м. Київ

АБРАЗИВОВМІСНІ СКЛОКОМПОЗИТИ ЯК ЗВ’ЯЗУЮЧІ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ

Встановлено закономірності зв’язку фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей абразивовмісних композитів інструментального призначення на основі склоутворюючих систем з дисперсними тугоплавкими наповнювачами Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2 з його експлуатаційними характеристиками залежно від виду наповнювача.