

Аналіз залежностей на рис. 1 показує, що зі збільшенням маси наважок води, маси гіпсу, силікату натрію та маси стрижневої суміші тривалість нагрівання та випаровування води з наважок неухильно монотонно зростає. При цьому з погляду технологічності ПМЗ-процесу структурування сумішей з використанням пари та мікрохвильового випромінювання низької потужності (до 1200 Вт) доцільно використовувати наважки водяного заряду з одиничною масою до 3 г.

Титаренко В.В., Заблудовський В.О., Титаренко І.В.

(УДУНТ, м. Дніпро)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СПІЛЬНОГО ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ОСАДЖЕННЯ ІОНІВ МЕТАЛУ ТА ЧАСТИНОК ДИСПЕРСНОЇ ФАЗИ

E-mail: tytarenko.valentina@gmail.com

Отримання композиційних електролітичних покриттів (КЕП) є найважливішим напрямком фізики твердого тіла. У процесі нанесення КЕП можна отримати покриття, які істотно відрізняються від класичних гальванічних покриттів за своїми експлуатаційними характеристиками. Процес спільного електролітичного осадження знаходить застосування в таких галузях промисловості, як автомобілебудування, будівництво, виробництво електроенергії, а також в аерокосмічній галузі та нафтогазовому секторі.

Унікальні фізико-хімічні властивості електроосаджених металевих покриттів значною мірою залежать від концентрації частинок вуглецевого наноматеріалу (ВНМ) у металевій матриці. Тому особливу увагу останнім часом викликає контроль та керування вмістом частинок ВНМ у композиційних металевих покриттях. Вирішення цієї задачі неможливе без вивчення механізму формування структури вуглецевмісних композиційних металевих покриттів. Проте процес спільного осадження на підкладці іонів металу та частинок ВНМ залишається до кінця не вивченим. Мета даної роботи полягає у розробці математичної моделі, що описує

перенесення частинок ультрадисперсного алмазу (УДА) та іонів металу в об'ємі електролітичної ванни та кінетику процесу співосадження іонів металу та частинок УДА на катоді.

Композиційні електролітичні покриття отримували з водного розчину електроліту нікелювання наступного складу: $\text{Ni}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 300 г/л, H_3BO_3 – 30 г/л, $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ – 50 г/л, при $\text{pH} = 5$, температурі 293 К і густині струму 100 А/м². У якості дисперсної фази використовували наночастинки УДА. При побудові моделі були зроблені такі припущення: за межами шару масоперенесення концентрації іонів металу та частинок дисперсної фази не змінюються і дорівнюють величинам концентрацій в об'ємі розчину електроліту; через мінімальний розмір часток дисперсної фази і вертикального розташування електродів можна знехтувати впливом сил Архімеда і гравітації.

Відповідно до рівняння Нернста-Планка перенесення іонів та вуглецевих наночастинок у водному розчині електроліту визначається двома факторами: нерівномірністю їхнього розподілу, тобто градієнтом концентрації, та впливом електричного поля:

$$J = -D \frac{dc}{dx} - \frac{D}{RT} ZFc \frac{d\phi}{dx} = -D \left(\frac{dc}{dx} + \frac{ZFc}{RT} \frac{d\phi}{dx} \right). \quad (1)$$

Розв'язок рівняння (1) має вигляд:

$$J = \frac{D\psi}{l} \frac{c_0 - e^\psi c_l}{e^\psi - 1}, \quad (2)$$

де D – коефіцієнт дифузії (м²/с), c_0 і c_l – концентрація іонів металу та частинок ВМ в об'ємі водного розчину електроліту та поблизу поверхні катоду відповідно.

Рівняння (2) встановлює зв'язок густини потоку іонів металу та частинок ВМ з двома величинами: 1) концентрацією іонів металу та частинок ВМ у водному розчині електроліту; 2) електричним полем.

З метою встановлення механізму перенесення та співосадження частинок ВНМ, проаналізуємо окремий випадок рівняння (2):

1) $\psi = 0$, що означає або $Z = 0$ (нейтральні частки), або відсутність електричного поля ($\Delta\varphi = 0$), або те й інше. Після математичних перетворень отримуємо:

$$J = \frac{D}{l}(c_0 - c_l), \quad (3)$$

Ця модель (модель 1) враховує лише дифузійний механізм процесу спільного електролітичного осадження іонів металу та частинок УДА;

2) однакова концентрація вуглецевих наночастинок в об'ємі водного розчину електроліту (c_0) і поблизу поверхні катоду (c_l), тобто за наявності електричного поля:

$$J = -\frac{D\psi}{l}c \quad \text{або} \quad J = -D\frac{ZF}{RT}\frac{\Delta\varphi}{l}c. \quad (4)$$

Модель 2 розглядає перенесення частинок ВНМ у водному розчині електроліту під дією електричного поля.

Аналіз результатів розрахунків математичних моделей процесу спільного електролітичного осадження іонів металу та частинок УДА показав, що основним фактором, який впливає на перенесення частинок ВНМ у водному розчині електроліту, є градієнт потенціалу. Внесок градієнту концентрації у густину потоку частинок є незначним. Експериментально отримане значення густини потоку частинок УДА для режиму осадження за допомогою постійного струму ($J = 5,8 \cdot 10^{-7}$ кг/м²·с) корелює з результатами розрахунків математичної моделі 2 для частинок розміром ~ 1 мкм.

Густина потоку частинок ДФ визначається зарядом адсорбованих на поверхні частинки катіонів металу, що у результаті отримання частинками позитивного заряду, сприяє електрофоретичному співосадженню. Заряд більше $+2e$ (e – заряд електрона) не утримується на частинці ВНМ, оскільки при послідовному приєднанні кількох іонів металу на частинці ВНМ, енергія зв'язку їх зменшується від 1,907 еВ до 0,240 еВ.