

УДК 539.2:669.24

Назаренко К.Д. студент гр. 113-22-1 ФПНТ

Науковий керівник: Титаренко В.В., к. ф.-м., доцент кафедри фізики

(Національний технічний університет "Дніпровська політехніка", м. Дніпро, Україна)

ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

До робочих поверхонь деталей і конструкцій залежно від умов експлуатації ставляться певні вимоги щодо різних властивостей (твердості, зносостійкості, тріщиностійкості, корозійної стійкості та ін.). Функціональні властивості поверхонь саме і визначають експлуатаційну надійність деталей і конструкцій. Унікальні властивості поверхні забезпечуються матеріалом покриття або нового структурного стану приповерхневих шарів матеріалу деталі. Ці задачі розв'язуються методами інженерії поверхні. Використання вуглецевих наноматеріалів в якості зміцнюючих добавок дозволяє отримувати композиційні покриття, які мають ряд експлуатаційних переваг, наприклад, таких як, покращена зносостійкість, підвищена твердість та корозійна стійкість [1, 2].

Високопродуктивні екологічно безпечні технологічні процеси нанесення композиційних покриттів затребувані для виробів машинобудування, автотранспортної галузі, наноелектроніки, електрохімічної енергетики. В даний час проводиться безліч досліджень вуглецевих нано-функціональних матеріалів, які можуть використовуватися як антикорозійні покриття; покриття, що проводять електричний струм; вогнетривкі покриття; покриття, що екранує електромагнітне випромінювання; звукопоглинальне покриття і т. д. Серед технологій осадження речовини на підкладку з розчинів особливо ефективно електролітичне осадження, що забезпечує широкі можливості управління формуванням структури і властивостей покриттів.

В даний час число робіт з дослідження кінетики процесу електрокристалізації металу у присутності дисперсної фази досить обмежена, відсутні відомості про механізм формування композиційних електролітичних покриттів (КЕП). Таким чином, розвиток робіт цього напрямку є актуальним завданням у зв'язку з їх високою практичною значимістю.

Відомо, що при створенні у розчині електроліту електричного поля напруженістю E , позитивні іони (катіони) рухаються по полю, створюючи катодний струм. На катіон діє сила, яка підвищує швидкість (v_+) спрямованого руху іонів вздовж поля:

$$F_{эл} = z_+ e E, \quad (1)$$

Унаслідок великого радіусу гідратної оболонки, на іон, що рухається у розчині, діє значна сила тертя $F_{тер}$. Розглядаючи іон разом із гідратною оболонкою як тверду кульку радіусу r_+ , що рухається у в'язкій рідині (водному розчині електроліту) з коефіцієнтом внутрішнього тертя (в'язкістю) η , можна визначити силу тертя за законом Стокса

$$F_{тер} = -6\pi\eta r_+ v_+. \quad (2)$$

Виходячи із рівності електричної сили і сили тертя можна визначити швидкість руху іону

$$v_+ = \frac{z_+ e}{6\pi\eta r_+} E = \kappa_+ E. \quad (3)$$

Коефіцієнт пропорційності (рухливість катіонів) залежить від в'язкості розчину

$$\kappa_+ = \frac{z_+ e}{6\pi\eta r_+}. \quad (4)$$

Запропонована Френкелем формула показує зв'язок в'язкості розчину (η) з температурою (T)

$$\eta = \text{const} \cdot e^{\frac{\omega}{kT}}, \quad (5)$$

де ω - енергія, яку необхідно надати молекулі рідини для того, щоб вона могла перескочити з одного положення рівноваги у сусіднє ($\omega = 2 \div 3 \cdot 10^{-20}$ Дж).

З підвищенням температури в'язкість розчину різко зменшується і рухливість іонів відповідно збільшується. Так при нагріванні водного розчину електроліту нікелювання на 10°C його в'язкість зменшується на 15-20 %. Густина електричного струму при спрямованому русі вільних іонів обох знаків у розчині електроліту

$$j = \gamma E = nze(\kappa_+ + \kappa_-)E, \quad (6)$$

де γ - електропровідність розчину електроліту. Електропровідність розчину електроліту, а звідси і густина струму, залежить від рухливості вільних іонів. Підвищення температури водного розчину електроліту дозволяє збільшити густина струму, а, отже, інтенсифікувати процес електроосадження металевої плівки на поверхні катоду.

Дослідження отриманих КЕП показали, що зі збільшенням температури електролізу у покритті переважають частинки дисперсної фази мілкої фракції [3]. Таким чином, зі збільшенням температури зменшується в'язкість водного розчину електроліту, у наслідок чого більш крупні частинки осідають у нижньому шарі електроліту, їх кількість у біякатодному просторі різко зменшується і у покриття включаються частинки менших розмірів. Отже, зменшується і загальна вага дисперсної фази у матеріалі. При більш низьких температурах електролізу ймовірність включення у покриття більш крупних частинок підвищується, особливо при високих густинах струму, за рахунок швидкості зарощування частинок. Можна отримати наступну залежність, яка підтверджує зроблені висновки

$$\frac{mv^2}{2} = 6\pi\eta rlv, \quad (7)$$

де m - маса дисперсної частинки; v - швидкість, з якою дисперсні частинки входять у нерухомий шар рідини; η - в'язкість рідини; r - еквівалентний радіус частинки; l - відстань, яку проходить частинка до повної зупинки. З урахуванням

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho, \quad (8)$$

де ρ - густина частинки дисперсної фази; отримаємо

$$l = \frac{r^2 v \rho}{9\eta}. \quad (9)$$

З формули (9) слідує, що відстань, що проходять у в'язкій рідині більше для частинок більшого діаметру, отже, частинки меншого діаметру краще включаються з підвищенням температури.

Перелік посилань

1. Meihua, L., Hongnan, L., Dongai, W., Bing, L., Yan, S., Feihui, L., Yunlan, G., Linan, L., Lianjin, L., Wengang, Z. Effect of Nanodiamond Concentration and the Current Density of the Electrolyte on the Texture and Mechanical Properties of Ni/Nanodiamond Composite Coatings Produced by Electrodeposition. *Materials*. 2019, 12 (7), pp. 1-19.

2. Xiangzhu He, Yongxiu Wang, Xin Sun, Liyong Huang. Preparation and Investigation of Ni-Diamond Composite Coatings by Electrodeposition. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*. 2012, 4 (1), pp. 48-52. <https://doi.org/10.1166/nnl.2012.1286>.

3. Tytarenko, V.V., Zabudovsky, V.A., Shtapenko, E.Ph., Tytarenko, I.V. Application of pulse current for producing a strengthening composite nickel coating. *Galvanotechnik*. 2019, 4, pp. 648–651.