

В. М. АРТЕМЕНКО, А. О. МАЙЗЕЛІС

ЗАСТОСУВАННЯ СПЛАВУ ЦИНК-НІКЕЛЬ В ТЕХНОЛОГІЇ ЦИНКУВАННЯ

Вступ. Більш від'ємний потенціал цинкових покриттів забезпечує надійний захист сталеві основи від корозійного руйнування. Для підвищення хімічного опору корозійним процесам цинкові покриття обов'язково піддають завершальній обробці, наприклад, хроматуванню. Недоліками останнього є застосування токсичних сполук Cr (VI) і зняття значного шар цинкового покриття (до 2 мкм). **Мета досліджень** полягала в обґрунтуванні вибору електроліту цинкування, який найбільшою мірою відповідає сучасним вимогам, а також в заміні хроматної плівки на тонкий шар цинк-нікелевого сплаву. **Матеріали та методи дослідження.** Виміри проводили в триелектродній комірі за допомогою потенціостату ПІ-50.1 з насиченим хлорид срібним електродом порівняння. Значення потенціалів електродів на графіках наведені за цим електродом. Цинкові покриття наносили з хлоридного, аміакатного та лужних електролітів з двома варіантами органічних добавок. Покриття сплавом цинк-нікель отримували з аміакатно-гліцинатного електроліту. **Результати.** Хлоридний та аміакатний електроліти характеризуються високими виходами за струмом, близькими до 100%, майже у всьому діапазоні густин струму від 1 до 4 А/дм². В лужних електролітах зі зростанням густини струму вихід за струмом знижується, що сприяє більшій рівномірності металевих покриттів. Оцінку розсіювальної здатності в досліджуваних електролітах проводили за допомогою ячійки Хулла з розбірним катодом. Співвідношення максимальних і мінімальних приростів ваги на окремих секціях катоду в свідчить про більш високу розсіювальну здатність лужних електролітів. Завдяки високим захисним властивостям покриттів цинк-нікелевим сплавом пропонується в технологічному процесі цинкування осаджувати тонкий шар (0,5–0,7 мкм) цинк-нікелевого покриття з амонійно-гліцинатного електроліту замість хроматної пасивної плівки.

Ключові слова: покриття; пасивна плівка; сплав; цинк; нікель; електроліти цинкування; розсіювальна здатність.

В. М. АРТЕМЕНКО, А. А. МАЙЗЕЛІС

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАВА ЦИНК-НИКЕЛЬ В ТЕХНОЛОГИИ ЦИНКОВАНИЯ

Введение. Более отрицательный потенциал цинковых покрытий обеспечивает надежную защиту стальной основы от коррозионного разрушения. Для повышения химического сопротивления коррозионным процессам цинковые покрытия обязательно подвергают заключительной обработке, например, хроматированию. Недостатками последнего является применение токсичных соединений Cr (VI) и снятия значительного слоя цинкового покрытия (до 2 мкм). Цель исследований заключалась в обосновании выбора электролита цинкования, который в наибольшей степени отвечает современным требованиям, а также в замене хроматных пленки на тонкий слой цинк-никелевого сплава. **Материалы и методы исследования.** Измерения проводили в трехэлектродной ячейке с помощью потенциостата ПИ-50.1 с насыщенным хлорид серебряным электродом сравнения. Значения потенциалов электродов на графиках приведены по этим электродом. Цинковые покрытия наносили с хлоридного, аммиакатного и щелочных электролитов с двумя вариантами органических добавок. Покрытие сплавом цинк-никель получали из аммиакатно-глицинатного электролита. **Результаты.** Хлоридный и аммиакатный электролиты характеризуются высокими выходами по току, близким к 100%, почти во всем диапазоне плотностей тока от 1 до 4 А/дм². В щелочных электролитах с ростом плотности тока выход по току снижается, что способствует большей равномерности металлических покрытий. Оценку рассеивающей способности в исследуемых электролитах проводили с помощью ячейки Хулла с разборным катодом. Соотношение максимальных и минимальных прироста веса на отдельных секциях катода в свидетельствует о более высокой рассеивающей способности щелочных электролитов. Благодаря высоким защитным свойствам покрытий цинк-никелевым сплавом предлагается в технологическом процессе цинкования осадить тонкий слой (0,5–0,7 мкм) цинк-никелевого покрытия с аммонийно-глицинатного электролита вместо хроматной пассивной пленки.

Ключевые слова: покрытия; пассивная пленка; сплав; цинк; никель; электролиты цинкования; рассеивающая способность.

V. M. ARTEMENKO, A. A. MAIZELIS

USING ZINC-NICKEL ALLOY IN THE ZINC DEPOSITION TECHNOLOGY

Introduction. More negative potential of zinc coatings provides effective protection of the steel substrate from corrosion damage. To increase the chemical resistance to corrosion processes, zinc coatings are necessarily post-treated, i.e. by chromate treatment. The disadvantages of the latter are the use of toxic compounds of Cr (VI) and removing a significant layer of zinc coating (up to 2 μm). The aim of the study was to substantiate the choice of electrolyte for zinc electrodeposition mostly meeting modern requirements, and to replace the chromate film with a thin layer of zinc-nickel alloy. **Materials and research methods.** The measurements were carried out in a three-electrode cell using a PI-50.1 potentiostat with a saturated silver chloride reference electrode. The values of the electrode potentials in the graphs are shown by this electrode. Zinc coatings were deposited from chloride, ammonium and alkaline electrolytes with two versions of organic additives. Zinc-nickel alloy coating was prepared from an ammonium-glycinate electrolyte. **Results.** Chloride and ammonium electrolytes are characterized by high current outputs, close to 100%, in almost the entire range of current densities from 1 to 4 A/dm². The current efficiency decreases with current density increasing in alkaline electrolytes. It is due to the greater uniformity of metallic coatings. The throwing power in the studied electrolytes was estimated using Hull cell with a sectional cathode. The ratio of the maximum and minimum weight increments in individual sections of the cathode indicates a higher throwing power of alkaline electrolyte. Due to the high protective properties of zinc-nickel alloy coatings, it is proposed to obtain a thin layer (0.5–0.7 μm) of the zinc-nickel coating from the ammonium-glycinate electrolyte instead of chromate passive film during the process of zinc electrodeposition.

Keywords: coatings; passive film; alloy; zinc; nickel; galvanizing electrolytes; throwing power.

Вступ. Завдяки більш від'ємному потенціалу цинкові покриття забезпечують надійний захист сталеві основи від корозійного руйнування [1]. Для їх нанесення покриттів на постійному [1, 3] та імпульсному [4] струмі запропонована значна кількість електролітів, як на основі простих [1, 5] і

комплексних іонів цинку [2, 6], так й неводних електролітів [3, 7–9]. Серед електролітів цинкування, які добре зарекомендували себе на вітчизняних підприємствах, для досліджень були обрані три електроліти – один на основі простих гідратованих іонів і два на основі комплексних іонів цинку.

© В. М. Артеменко, А. О. Майзеліс, 2019

На підприємстві ПАТ «Харківський метизний завод» цинкування деталей на підвісках і в барабанах успішно здійснюється хлоридного електроліту на основі простих іонів цинку, який містить хлориди цинку та калію, борну кислоту і блискоутворювач – AZUR HT 4. На Крюківському вагонобудівному заводі цинкові покриття осаджують з електроліту на основі амікатних комплексів. Покращенню якості цинкових покриттів з даного електроліту і розширенню інтервалу густин струму сприяє композиція органічних добавок "Еколіпакс". На багатьох підприємствах України замість токсичних ціанідних розчинів використовують лужні електроліти, які містять два основних компоненти – оксид цинку і їдкий натр. Дослідженню впливу різних органічних добавок для отримання якісних покриттів з лужних електролітів присвячена значна кількість публікацій у світі [10, 11]. Найбільш перспективними добавками на ринку України на даний час є композиції органічних добавок «Grovision» та «Колцинк АЦФ-2».

Важливу роль в технології цинкування відіграє завершальна обробка цинкових покриттів. Це пояснюється тим, що при експлуатації в атмосфері підвищеної вологості і змінної температури цинк досить швидко піддається корозійному руйнуванню, покриваючись оксидами і солями цинку. Для підвищення хімічного опору корозійним процесам цинкові покриття обов'язково піддають обробці хімічними або електрохімічними способами з метою отримання на їх поверхні тонких пасивних плівок [12]. Найбільш поширеним способом завершальної обробки цинкових покриттів є хроматування – обробка покриттів в розчинах на основі сполук шестивалентного хрому. Недоліками даної технологічної операції є застосування токсичних сполук Cr (VI) і зняття значного шару (до 2 мкм) цинкового покриття.

Мета досліджень полягала в удосконаленні технології цинкування за рахунок обґрунтування вибору електроліту цинкування, який найбільшою мірою відповідає сучасним вимогам, а також в заміні хроматної плівки на тонкий шар цинк-нікелевого сплаву.

Методика досліджень. Кінетику катодних процесів в електролітах цинкування вивчали шляхом аналізу вольтамперограм, отриманих на електродах з цинку. Виміри проводили в триелектродній комірі за допомогою потенціостату ПІ-50.1. Робочими електродами служили цинкові зразки. Площа поверхні робочих електродів становила 1 см². Поверхню зразків перед кожним виміром обновлювали за допомогою зачищення карбід-сіліконовим папером № 500, 1000, 2000, 3000. Електрод порівняння – насичений хлоридсрібний. Значення потенціалів електродів на графіках наведені за цим електродом. Вольтамперограми отримували зі швидкістю розгортання потенціалу 50 мВ/с. Результати реєстрували в електронному вигляді з передачею даних на персональний комп'ютер за допомогою спеціально розроблених на кафедрі метрології НТУ «ХПІ» двоканального вольтметра і програми «TeleMax» зі швидкістю 20–100 сигналів в секунду.

Електролітичні покриття цинком наносили з використанням стабілізованого джерела живлення Б5-43.

Покриття наносили з електролітів:

1) хлоридний: 45–55 г/дм³ ZnCl₂, 200–250 г/дм³ KCl, 15–30 г/дм³ H₃BO₃, pH 4,5 – 5,5;

2) амікатний: 50–70 г/дм³ ZnSO₄, 150–200 г/дм³ NH₄Cl, 20–30 г/дм³ H₃BO₃, 30–40 мл/дм³ "Еколіпакс-БС-К", 1–2 мл/дм³ "Еколіпакс-БСК-Б", pH 5,0 – 5,5;

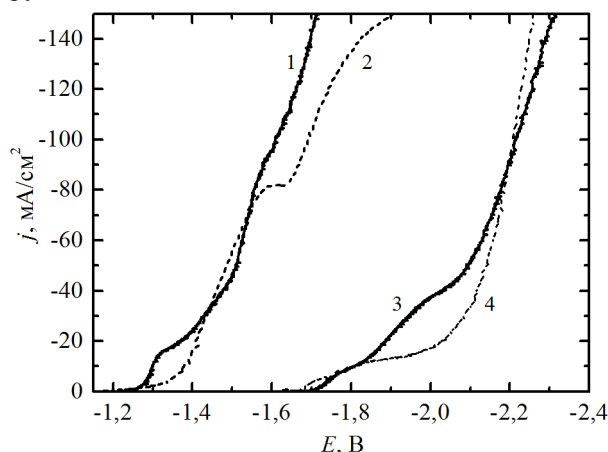
3) лужний з добавками Grovision Base і Grovision Britghtener: 15 г/дм³ ZnO, 150 г/дм³ NaOH, 10–12 мл/дм³ Grovision Base, мл/дм³, 1–2 мл/дм³ Grovision Brightner, мл/дм³;

4) лужний з добавкою Колцинк АЦФ, 15 г/дм³ ZnO, 150 г/дм³ NaOH, 25 мл/дм³, Колцинк АЦФ, мл/дм³.

Покриття сплавом цинк-нікель отримували з амікатно-гліцинатного електроліту.

Результати досліджень. На рис. 1 наведені катодні поляризаційні залежності, отримані в хлоридному (рис. 1, кр. 1), амікатному (рис. 1, кр. 2), та в лужних електролітах з композицією добавок Grovision Base і Grovision Britghtener (рис. 1, кр. 3), та з добавкою Колцинк АЦФ (рис. 1, кр. 4).

З представлених на рис. 1 даних видно, що з хлоридного електроліту цинк виділяється з незначною поляризацією, характерною для металів, які за величиною перенапруги їх відновлення з простих гідратованих іонів знаходяться у другій групі, тобто катодна перенапряга не перевищує 100 мВ, чого недостатньо для формування дрібнокристалічних покриттів. Тому у кислі електроліти обов'язково додаються ПАР для покращення структури покриттів. Порівняння поляризаційних залежностей, отриманих при різних швидкостях розгортки потенціалу, свідчить про дифузійний характер катодної перенапруги.



Електроліт: 1 – хлоридний, 2 – амікатний, 3 – лужний з добавками Grovision Base+Britghtener, 4 – лужний з добавкою Колцинк АЦФ

Рисунок 1 – Катодні поляризаційні залежності в досліджуваних електролітах цинкування

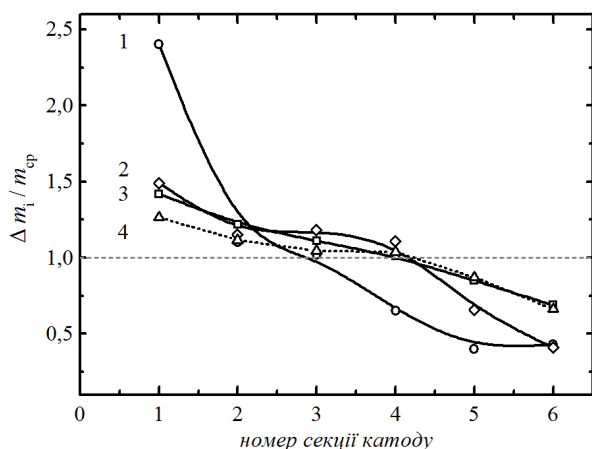
При зв'язуванні іонів цинку у амікатні комплекси Zn(NH₃)₄²⁺ (K_n = 2 · 10⁻⁹) рівноважний потенціал відповідно до рівняння Нернста має відхилитися у негативний бік, що спостерігається на рисунку. Недостат-

ня міцність амікатних комплексів та їх позитивний заряд зумовлюють приблизно таке ж значення катодної перенапруги, як й при виділенні цинку з хлоридного електроліту. Слід відзначити, що при введенні до складу електроліту ПАР дещо підвищуються поляризація та поляризованість, що дозволяє отримувати задовільні цинкові покриття з даного електроліту.

В лужних електролітах цинк знаходиться у вигляді досить міцних гідросокомплексів $Zn(OH)_4^{2-}$ ($K_n = 2,18 \cdot 10^{-15}$). До того ж, ці комплекси мають негативний заряд, що також сприяє збільшенню катодної перенапруги.

Як відомо, за відсутності спеціальних ПАР отримати якісні покриття з лужних електролітів цинкування неможливо. При додаванні до складу електроліту сучасних композицій добавок Grovision Base і Grovision Brightener відновлення цинку відбувається з достатньо високими значеннями поляризації і поляризованості (рис. 1, кр. 3), завдяки чому осаджуються дрібнокристалічні, рівномірні за товщиною покриття. Ще кращі результати спостерігаються в присутності добавки Колцинк АЦФ (рис. 1, кр. 4).

В роботі також визначалися найбільш важливі технологічні характеристики електролітів – діапазон робочих густин струму, виходи за струмом, розсіювальна здатність (РЗ) електролітів. Оцінку РЗ в досліджуваних електролітах проводили за допомогою ячійки Хулла при середній густині струму 2 А/дм^2 .



Електроліт: 1 – хлоридний, 2 – амікатний, 3 – лужний з добавками Grovision Base + Brightener, 4 – лужний з добавкою Колцинк АЦФ

Рисунок 2 – Розсіювальна здатність електролітів цинкування при густині струму – 2 А/дм^2 .

Катод використовувався розбірний, який складався з 6 окремих секцій. З представлених на рис. 2 кривих розподілу металу чітко видно, що співвідношення максимальних і мінімальних прирощень ваги на секціях катоду в лужних електролітах знижується в 3–4 рази (рис. 2, кр. 3, 4) у порівнянні з хлоридним і амікатним розчинами (рис. 2, кр. 1, 2), що свідчить про більш високу РЗ лужних електролітів.

Хлоридний та амікатний електроліти характеризуються високими виходами за струмом, близькими до 100% майже у всьому діапазоні густин струму від 1 до 4 А/дм^2 . В лужних електролітах зі зростанням густини струму вихід за струмом знижується, що сприяє більшій рівномірності металевих покриттів.

Таким чином, порівняння кінетичних закономірностей відновлення цинку з розглянутих електролітів та їх технологічних характеристик дає всі підстави рекомендувати лужні електроліти для нанесення базового шару цинкового покриття.

Для підвищення захисних властивостей цинкових покриттів застосовується їх легування нікелем, кобальтом та іншими металами. Найкращі результати показали цинк-нікелеві сплави отримані електролітичним способом. На кафедрі технічної електрохімії НТУ «ХП» проведені дослідження щодо отримання покриттів цинк-нікелевого сплаву з вмістом нікелю 14–17% з низькоконцентрованого комплексного амікатно-гліцинатного електроліту [13].

На підставі отриманих результатів щодо високих захисних властивостей покриттів цинк-нікелевим сплавом [14] нами пропонується в технологічному процесі цинкування замість нанесення хроматної пасивації осаджувати тонкий шар $0.5 - 0.7 \text{ мкм}$ цинк-нікелевого покриття з амонійно-гліцинатного електроліту.

Для осадження цинк-нікелевого покриття можна використовувати ванну уловлювання після цинкування, в яку вводяться у необхідній концентрації ліганди – аміак і гліцин, а також додається необхідна кількість сульфату нікелю. Іони цинку надходять до ванни осадження цинк-нікелевої плівки разом з деталями (винос електроліту з ванни цинкування). Використовуються комбінація анодів: нерозчинні (корозійно-стійка сталь) та нікелеві.

Висновки. На підставі дослідження кінетичних і технологічних характеристик досліджуваних електролітів запропоновано удосконалення технології цинкування шляхом нанесення двошарового покриття Zn/Zn-Ni. Основний шар складає цинкове покриття з лужного електроліту з добавками Grovision, поверх якого без проміжної промивки осаджується тонкий шар сплаву цинк-нікель, який виконує функцію пасивної плівки. Це дозволяє уникнути втрат цинку, що зазвичай мають місце як при формуванні хроматної плівки, так й зі стічною водою, а також покращити їх механічні характеристики та вирішити низку екологічних питань.

Список літератури

- Li Q., Lu H., Cui J., An M., Li D. Electrodeposition of nanocrystalline zinc on steel for enhanced resistance to corrosive wear. *Surface and Coatings Technology*. 2016. Т. 304. С. 567–573.
- Gu W., Liu C., Tang J., Liu R., Yang H., Hu J. Improving zinc electrodeposition in ammoniacal electrolytes with the saturated dissolved methyltriocetylammmonium chloride. *Hydrometallurgy*. 2018. Т. 175. С. 43–51. doi: 10.1016/j.hydromet.2017.10.030
- Panzeri G., Muller D., Accogli A., Gibertini E., Mauri E., Rossi F., Magagnin L. Zinc electrodeposition from a chloride-free non-aqueous solution based on ethylene glycol and acetate salts. *Electrochimica Acta*. 2019. Т. 296. С. 465–472. doi: 10.1016/j.electacta.2018.11.060

4. Zelger C., Laumen J., Laskos A., Gollas B. Rota-Hull cell study on pulse current zinc electrodeposition from alkaline electrolytes. *Electrochimica acta*. 2016. T. 213. C. 208–216. doi: 10.1016/j.electacta.2016.07.108
5. Amini K., Pritzker M. D. Electrodeposition and electrodisolution of zinc in mixed methanesulfonate-based electrolytes. *Electrochimica Acta*. 2018. T. 268. C. 448–461. doi: 10.1016/j.electacta.2018.02.087
6. Dundálek J., Šnajdr I., Libánský O., Vrána J., Povedič J., Mazúr P., Kosek J. Zinc electrodeposition from flowing alkaline zincate solutions: Role of hydrogen evolution reaction. *Journal of Power Sources*. 2017. T. 372. C. 221–226. doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.10.077
7. Bakkar A., Neubert V. Recycling of cupola furnace dust: Extraction and electrodeposition of zinc in deep eutectic solvents. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. T. 771. C. 424–432. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.08.246
8. Chen Y. H., Yeh H. W., Lo N. C., Chiu C. W., Sun I. W., Chen P. Y. Electrodeposition of compact zinc from the hydrophobic Brønsted acidic ionic liquid-based electrolytes and the study of zinc stability along with the acidity manipulation. *Electrochimica Acta*. 2017. T. 227. C. 185–193. doi: 10.1016/j.electacta.2017.01.013
9. Ibrahim S., Bakkar A., Ahmed E., Selim A. Effect of additives and current mode on zinc electrodeposition from deep eutectic ionic liquids. *Electrochimica Acta*. 2016. T. 191. C. 724–732. doi: 10.1016/j.electacta.2016.01.110
10. Liang Y. U. A. N., Ding Z. Y., Liu S. J., Shu W. F., He Y. N. Effects of additives on zinc electrodeposition from alkaline zincate solution. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2017. T. 27. C. 1656–1664. doi: 10.1016/S1003-6326(17)60188-2
11. Sorour, N., Zhang, W., Ghali, E., & Houlachi G. A review of organic additives in zinc electrodeposition process (performance and evaluation). *Hydrometallurgy*. 2017. T. 171. C. 320–332. doi: 10.1016/j.hydromet.2017.06.004
12. Zhang X., Liang J., Liu B., Peng Z. Preparation of superhydrophobic zinc coating for corrosion protection. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2014. T. 454. C. 113–118. doi: 10.1016/j.colsurfa.2014.04.029
13. Майзеліс А.О., Артеменко В.М., Пат. 123738, Україна. Спосіб електролітичного вилучення іонів цинку. 2018.
14. Майзеліс А. О. Артеменко В. М. Умови формування цинк-нікелевого сплаву з аміакатно-гліцинатного електроліту низької концентрації. *Вісник Нац. техн. ун-ту «Харк. політехн. ін-т»*. 2018. № 39. С. 19–22.
- Magagnin L. Zinc electrodeposition from a chloride-free non-aqueous solution based on ethylene glycol and acetate salts. *Electrochimica Acta*. 2019. Vol. 296. P. 465–472. doi: 10.1016/j.electacta.2018.11.060
4. Zelger C., Laumen J., Laskos A., Gollas B. Rota-Hull cell study on pulse current zinc electrodeposition from alkaline electrolytes. *Electrochimica acta*. 2016. Vol. 213. P. 208–216. doi: 10.1016/j.electacta.2016.07.108
5. Amini K., Pritzker M. D. Electrodeposition and electrodisolution of zinc in mixed methanesulfonate-based electrolytes. *Electrochimica Acta*. 2018. Vol. 268. P. 448–461. doi: 10.1016/j.electacta.2018.02.087
6. Dundálek J., Šnajdr I., Libánský O., Vrána J., Povedič J., Mazúr P., Kosek J. Zinc electrodeposition from flowing alkaline zincate solutions: Role of hydrogen evolution reaction. *Journal of Power Sources*. 2017. Vol. 372. P. 221–226. doi: 10.1016/j.jpowsour.2017.10.077
7. Bakkar A., Neubert V. Recycling of cupola furnace dust: Extraction and electrodeposition of zinc in deep eutectic solvents. *Journal of Alloys and Compounds*. 2019. Vol. 771. P. 424–432. doi: 10.1016/j.jallcom.2018.08.246
8. Chen Y. H., Yeh H. W., Lo N. C., Chiu C. W., Sun I. W., Chen P. Y. Electrodeposition of compact zinc from the hydrophobic Brønsted acidic ionic liquid-based electrolytes and the study of zinc stability along with the acidity manipulation. *Electrochimica Acta*. 2017. Vol. 227. P. 185–193. doi: 10.1016/j.electacta.2017.01.013
9. Ibrahim S., Bakkar A., Ahmed E., Selim A. Effect of additives and current mode on zinc electrodeposition from deep eutectic ionic liquids. *Electrochimica Acta*. 2016. Vol. 191. P. 724–732. doi: 10.1016/j.electacta.2016.01.110
10. Liang Y. U. A. N., Ding Z. Y., Liu S. J., Shu W. F., He Y. N. Effects of additives on zinc electrodeposition from alkaline zincate solution. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2017. Vol. 27. P. 1656–1664. doi: 10.1016/S1003-6326(17)60188-2
11. Sorour, N., Zhang, W., Ghali, E., & Houlachi G. A review of organic additives in zinc electrodeposition process (performance and evaluation). *Hydrometallurgy*. 2017. Vol. 171. P. 320–332. doi: 10.1016/j.hydromet.2017.06.004
12. Zhang X., Liang J., Liu B., Peng Z. Preparation of superhydrophobic zinc coating for corrosion protection. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2014. Vol. 454. P. 113–118. doi: 10.1016/j.colsurfa.2014.04.029
13. Maizelis A.O., Artemenko V.M. Sposib elektrolitychnogo vyluchennja ioniv cynku [Method of electrolytic extraction of zinc ions]. Patent UA, no. 123738, 2018.
14. Maizelis A. A., Artemenko V. M. Umovy formuvannja cynk-nikelevogo сплаву з аміакатно-гліцинатного електроліту низької концентрації [Conditions of formation of zinc-nickel alloy with low containment of amiacatic-glucoal electrolyte] / Visnyk NTU “KhPI” [Bulletin of the Kharkov Polytechnic Institute], Kharkov, NTU “KhPI” Publ., 2018, no. 39, pp. 19–22.

References (transliterated)

Надійшла (received) 29.03.19.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Майзеліс Антоніна Олександрівна (Maizelis Antonina Oleksandrivna) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри технічної електрохімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна, Тел. +38(057) 707-66-61, <http://orcid.org/0000-0002-5296-9636>; e-mail: a.maizelis@gmail.com.

Артеменко Валентина Мефодіївна (Artemenko Valentina Mefodivna) – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної електрохімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; тел.: (057) 707-66-61, <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>; e-mail: artemenko.postbox@gmail.com.