

**С. Г. ДЕРИБО, С. А. ЛЕЩЕНКО, В. П. ГОМОЗОВ, Ю. І. КОВАЛЕНКО**

### **ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОСАДЖЕННЯ СПЛАВУ ОЛОВО–ЦИНК З ЦИТРАТНО–АМІАКАТНОГО ЕЛЕКТРОЛІТУ**

Досліджено катодні процеси електрохімічного осадження сплаву олово–цинк в цитратно–аміакатних електролітах. Концентрації основних компонентів досліджуваного електроліту (г/дм<sup>3</sup>): олова хлорид (SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) – 44, цинку оксид (ZnO) – 4, амонію хлорид (NH<sub>4</sub>Cl) – 100, натрію цитрат (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) – 100. Столярний клей (1,5 г/дм<sup>3</sup>) та неонол (4 мл/дм<sup>3</sup>) додавали в електроліт як поверхнево–активні речовини. Встановлено, що якісні покриття без підігріву та перемішування осаджуються тільки в діапазоні рН від 6,0 до 7,0. Додавання до електроліту вказаних речовин очікувано призводило до гальмування відновлення металів, покращення кристалічної структури осаду, але зменшувало катодний вихід за струмом. Дослідження, проведені за допомогою комірки Хулла, показали, що електроліт, який містить неонол як поверхнево–активну речовину, продемонстрував найкращу розсіювальну здатність у порівнянні з іншими розчинами. Залежність виходу сплаву за струмом від катодної густини струму показала, що в діапазоні густин струму від 0,5 А/дм<sup>2</sup> до 4 А/дм<sup>2</sup> вихід за струмом нелінійно зменшується з 82 % до 52 %. Експериментально одержана залежність вмісту цинку в сплаві від катодної густини струму показала можливість одержання сплавів з вмістом цинку від 8 % до 33 %. Одержані результати дозволили визначити, що для осадження сплаву з вмістом цинку 20–25 %, який забезпечує найкращі антикорозійні властивості покриття, необхідно здійснювати процес при катодній густині струму 1,5–2,0 А/дм<sup>2</sup>, при цьому вихід за струмом складає близько 70 %, швидкість осадження сплаву – 0,44–0,54 мкм/хв. Одержані покриття мають напівблискучий вигляд, дрібнокристалічну структуру, світло–сірий колір, добре зчеплені з основою.

**Ключові слова:** гальванотехніка, сплав олово–цинк, цитратно–аміакатний електроліт, вихід за струмом, розсіювальна здатність, комірка Хулла

**С. Г. ДЕРИБО, С. А. ЛЕЩЕНКО, В. П. ГОМОЗОВ, Ю. І. КОВАЛЕНКО**

### **ЕЛЕКТРОХІМІЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ СПЛАВА ОЛОВО–ЦИНК ИЗ ЦИТРАТНО–АММИКАТНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА**

Исследованы катодные процессы электрохимического осаждения сплава олово–цинк в цитратно–аммикатных электролитах. Концентрации основных компонентов исследуемого электролита (г/дм<sup>3</sup>): олова хлорид (SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O) – 44, цинка оксид ZnO – 4, аммония хлорид (NH<sub>4</sub>Cl) – 100, натрий лимоннокислый (Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub>) – 100. Столярный клей (1,5 г/дм<sup>3</sup>) и неонол (4 мл/дм<sup>3</sup>) добавляли в электролит в качестве поверхностно–активных веществ. Установлено, что качественные покрытия без подогрева и перемешивания осаждаются только в диапазоне рН от 6,0 до 7,0. Добавление в электролит указанных веществ прогнозировано приводит к торможению восстановления металлов, улучшению кристаллической структуры осадка, но уменьшает катодный выход по току. Исследования, проведенные с помощью ячейки Хулла, показали, что электролит, содержащий неонол в качестве поверхностно–активного вещества, продемонстрировал лучшую рассеивающую способность по сравнению с другими растворами. Зависимость выхода сплава по току от катодной плотности тока показала, что в диапазоне плотностей тока от 0,5 А/дм<sup>2</sup> до 4 А/дм<sup>2</sup> выход по току нелінійно уменьшается с 82 % до 52 %. Экспериментально полученная зависимость содержания цинка в сплаве от катодной плотности тока показала возможность получения сплавов с содержанием цинка от 8 % до 33 %. Полученные результаты позволили определить, что для осаждения сплава с содержанием цинка 20–25 %, который обеспечивает лучшие антикоррозионные свойства покрытия, необходимо осуществлять процесс при катодной плотности тока 1,5–2,0 А/дм<sup>2</sup>, при этом выход по току составляет около 70 %, скорость осаждения сплава – 0,44–0,54 мкм/мин. Полученные покрытия имеют полублестящий вид, мелкокристаллическую структуру, светло–серый цвет, прочно сцеплены с основой.

**Ключевые слова:** гальванотехника, сплав олово–цинк, цитратно–аммикатный электролит, выход по току, рассеивающая способность, ячейка Хулла.

**S. G. DERIBO, S. A. LESHCHENKO, V. P. GOMOZOV, YU. I. KOVALENKO**

### **ELECTROCHEMICAL DEPOSITION OF TIN–ZINC ALLOY FROM CITRATE–AMMONIA ELECTROLYTE**

The cathodic processes of electrochemical deposition of a tin–zinc alloy in citrate–ammonia electrolytes have been investigated. The content of the main components of the investigated electrolyte (g/dm<sup>3</sup>): SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O – 44, ZnO – 4, NH<sub>4</sub>Cl – 100, Na<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sub>7</sub> – 100. Wood glue (1.5 g/dm<sup>3</sup>) and neonol (4 ml/dm<sup>3</sup>) were added to the electrolyte as surfactants. It was found that high–quality coatings are deposited without heating and stirring only in the pH range from 6,0 to 7,0. The addition of these substances to the electrolyte is predicted to lead to inhibition of the reduction of metals, an improvement in the crystal structure of the deposit, but decreases the cathodic current efficiency. Hull cell studies showed that an electrolyte containing neonol as a surfactant showed better throwing power compared to other solutions. The dependence of the current efficiency of the alloy on

© С. Г. Дерібо, С. А. Лещенко, В. П. Гомозов, Ю. І. Коваленко, 2021

the cathode current density showed that in the range of current densities from 0.5 A/dm<sup>2</sup> to 4 A/dm<sup>2</sup>, the current efficiency decreases nonlinearly from 82 % to 52 %. The experimentally obtained dependence of the zinc content in the alloy on the cathodic current density showed the possibility of obtaining alloys with a zinc content of 8 % to 33 %. The obtained results allowed us to determine that for the deposition of an alloy with a zinc content of 20–25 %, which provides the best anti-corrosion properties of the coating, it is necessary to carry out the process at a cathodic current density of 1.5–2.0 A/dm<sup>2</sup>, while the current efficiency is about 70 %, and the deposition rate alloy is 0.44–0.54 μm/min. The received coatings have a semi-bright appearance, a fine-grained structure, light gray color, they are strongly adhered to the substrate.

**Keywords:** electroplating, tin–zinc alloy, citrate–ammonia electrolyte, current efficiency, throwing power, Hull cell.

Сплав олово–цинк є одним з найбільш ефективних гальванічних покриттів, призначених для захисту сталеві основи в умовах морського та тропічного клімату. Олово та цинк мають стандартні потенціали відповідно:

$$E_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}}^0 = -0,136 \text{ В}, \quad E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0,76 \text{ В}$$

Стаціонарні потенціали сплавів Sn–Zn мають проміжні значення між потенціалами цинку і олова та є більш негативними відносно заліза при експлуатації в зазначених вище умовах, завдяки чому покриття сплавом Sn–Zn забезпечують електрохімічний захист сталеві основи.

Покриття сплавом олово–цинк мають кращі захисні властивості, ніж цинкові і кадмієві покриття, але при певному вмісті цинку в сплаві. Найкращі антикорозійні властивості притаманні сплавам, що містять 20–25 % цинку. Покриття сплавами, що містять менш, ніж 10 % цинку, є катодними по відношенню до сталі, тобто не забезпечують електрохімічного захисту сталі. При вмісті цинку понад 25 %, корозійна стійкість сплаву зменшується, а понад 50 % – наближається до чистого цинку [1].

Твердість покриттів сплавом Sn–Zn з вмістом цинку 20–30 % вдвічі перевищує твердість аналогічних ливарних сплавів. Такі покриття легко поліруються до дзеркального блиску, і завдяки високій корозійній стійкості блиск зберігається протягом тривалого часу. Олов'яно–цинкові покриття легко піддаються пайці, причому здатність їх до пайки, на відміну від покриттів з чистого олова, зберігається тривалий час.

Досягти сумісного осадження олова та цинку з розчинів простих солей складно внаслідок значної різниці потенціалів металів. Найбільш широко для осадження таких сплавів використовують лужно–ціанідні електроліти, основними компонентами яких є натрію станат, цинку ціанід, натрію гідроксид та натрію ціанід [2]. Але такі електроліти мають багато недоліків: вони токсичні, експлуатуються переважно при підвищених температурах (60–70 °C), потребують формування пасивної плівки на анодах.

Для покращення технологічної ефективності та екологічної безпеки процесу осадження покриття сплавом Sn–Zn доцільно задіяти більш безпечні

неціанідні електроліти. В останні роки велика увага приділяється осадженню сплавів олова з комплексних електролітів з додаванням як відомих поверхнево–активних речовин (ПАР), наприклад, столярного клею, декстрину, желатину, фенолу, синтанолів, резорцину та ін., так і з ПАР нового покоління [3–10].

Експлуатація електроліту на основі цитратно–аміакатних комплексів [11] має багато переваг у порівнянні з ціанідними електролітами, але осадження покриттів відбувається з відносно невисокою розсіювальною здатністю, тому для покриття деталей складної конфігурації він не може бути застосований. Розроблений нами електроліт [12] дозволяє одержувати більш рівномірні за товщиною покриття, але для визначення впливу складу електроліту та режиму електролізу на властивості покриттів слід провести додаткові дослідження.

Мета дослідження – визначення складу цитратно–аміакатного електроліту та умов електролізу для отримання якісного покриття сплавом Sn–Zn, що забезпечує високу продуктивність, розсіювальну здатність та антикорозійні властивості.

#### **Задачі дослідження:**

– визначити вплив столярного клею, неонолу та їх комбінації на катодну поляризацію при осадженні сплаву;

– дослідити та порівняти розсіювальну здатність електролітів з зазначеними поверхнево–активними речовинами та обрати електроліт з максимальною розсіювальною здатністю для подальших досліджень;

– встановити залежність вмісту цинку в сплаві від катодної густини струму для визначення діапазону густини струму, при якому осадженні покриття мають найкращі антикорозійні властивості;

– встановити залежність виходу за струмом сплаву від катодної густини струму для визначення швидкості осадження покриттів.

**Методика досліджень.** Дослідження катодних процесів здійснювали на мідному електроді в електролітах, склади яких наведені в таблиці 1.

Поляризаційні вимірювання проводились в потенціодинамічному режимі на потенціостаті Р–45Х, з швидкістю розгортки потенціалу 10 мВ/с, дослідження здійснювали в скляній комірці (об'єм

200 мл) з використанням трьохелектродної схеми та насиченого хлорид–срібного електрода як електрода порівняння. Як допоміжний електрод (анод) застосовувався платиновий електрод. Всі значення потенціалів перераховані відносно водневого електрода.

Таблиця 1 – Склади досліджуваних електролітів

Компоненти електроліту	Електроліт			
	1	2	3	4
	Концентрація, г/дм <sup>3</sup> (мл/дм <sup>3</sup> )			
SnCl <sub>2</sub> ·2H <sub>2</sub> O	44	44	44	44
ZnO	4	4	4	4
NH <sub>4</sub> Cl	100	100	100	100
Na <sub>3</sub> C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> O <sub>7</sub>	100	100	100	100
Клей столярний	—	1,5	—	1,5
Неонол	—	—	4	4

Для приготування електроліту використовували ZnO, SnCl<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O, амонію хлорид (NH<sub>4</sub>Cl) та натрію цитрат (Na<sub>3</sub>Cit) кваліфікації не нижче за «ч». Рівень рН підтримували в діапазоні 6–7 для забезпечення стабільності при експлуатації та зберіганні.

Визначення складу сплаву олово–цинк (відсоткового вмісту компонентів Zn та Sn), здійснювали відповідно до наступної методики. На підготовлені мідні зразки площею 0,03 дм<sup>2</sup> осаджували покриття Sn–Zn. Електроліз здійснювали при температурі електроліту 20 °С та густинах струму 1, 2 та 3 А/дм<sup>2</sup>. Аноди – пластини сплаву Sn–Zn з вмістом олова 80 %.

Після розчинення у концентрованій HCl отриманих сплавів в одержані розчини додавали по 50 мл. дистильованої води, 0,2 г бікарбонату натрію, декілька крапель 0,2 % розчину крохмалю. Титрували олово 0,1 Н розчином йоду до появи незникаючого синього забарвлення.

Кількість олова (г) у сплаві обчислювали за формулою:

$$P_{Sn} = K \cdot a \cdot 0,0059$$

де  $a$  – об'єм 0,1 Н розчину йоду, що пішов на титрування, мл.;  $K$  – поправочний коефіцієнт, що дорівнює 0,5; 0,00593 – титр 0,1 Н розчину йоду за оловом.

Вміст цинку в сплаві розраховували як різницю між масою сплаву і масою олова.

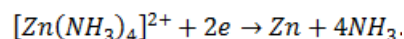
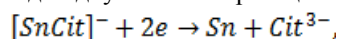
Розсіювальну здатність визначали за методом Хулла при середній густині струму 1,5 А/дм<sup>2</sup> з використанням катода, який складався з 6 пластин (секцій), визначаючи відношення приросту маси на

кожній з секцій до середнього арифметичного значення приросту маси  $\Delta m_i / m_{\text{ср}}$ .

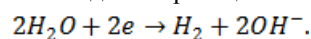
Вплив густини струму на катодний вихід за струмом визначали гравіметричним методом.

Результати досліджень.

В роботі досліджували цитратно–аміакатні електроліти для осадження сплаву Sn–Zn з двома добавками молекулярного типу – столярним клеєм та неонолом. В таких електролітах розряд олова та цинку на катоді відбувається за реакціями:



Також на катоді можливий перебіг побічної реакції виділення водню за реакцією:



Встановлено, що світлі дрібнокристалічні покриття осаджуються тільки у визначеному інтервалі рН від 6,0 до 7,0. При рН < 6,0 покриття втрачають привабливий зовнішній вигляд, зменшується вихід за струмом, звужується інтервал робочих густин струму. Підвищення значення рН > 7,0 негативно впливає як на зовнішній вигляд осадів, так і на стабільність електроліту.

Дослідження катодної поляризації при електролітичному осадженні сплаву олово–цинк здійснювалось в електролітах 1–4, представлених у табл. 1.

Аналіз поляризаційних залежностей катодного відновлення сплаву Sn–Zn з цитратно–аміакатного електроліту без добавок (рис. 1, крива 1) та в присутності поверхнево–активних речовин (рис.1, криві 2 та 3) підтверджує, що катодна поляризація в електролітах з добавками має електрохімічну природу, а поверхнево–активних речовин на кінетику катодних процесів полягає у гальмуванні електрохімічної реакції зі збільшенням поляризації внаслідок адсорбції.

На початку кривої 1 (електроліт без ПАР) в області потенціалів чітко спостерігаються невелика хвиля (при густині струму близько 0,15 А/дм<sup>2</sup>). Ми вважаємо, що ця хвиля у відсутності поверхнево–активних речовин може свідчити про процес відновлення простих гідратованих іонів Sn<sup>2+</sup>. При більш негативних потенціалах хід кривої плавно переходить в експоненціальну залежність, яка характерна для електрохімічної перенапруги. Слід відзначити, що якість покриття, отриманого з електроліту 1, є незадовільною: осаді мають темний колір, порошкоподібну структуру, погано зчеплені з основою.

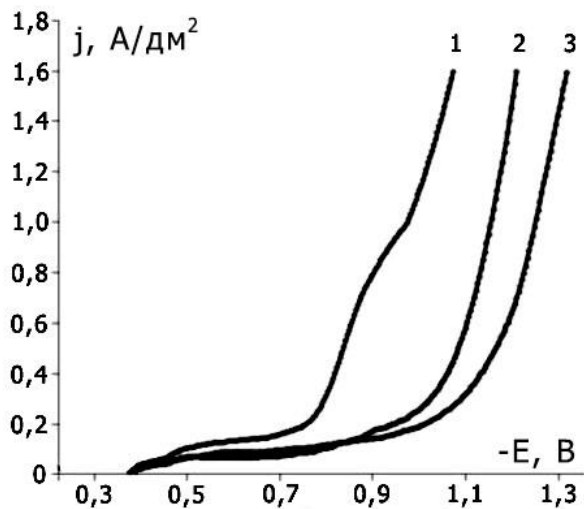


Рисунок 1 – Поляризаційні залежності катодного відновлення сплаву Sn–Zn в електролітах: 1 – без ПАА; 2 – з клеєм столярним; 3 – з неоломом.

На потенціодинамічній залежності, одержаній в присутності столярного клею, спостерігається гальмування катодного процесу – потенціал електроду під струмом при будь-якому значенні густини струму (рис.1, крива 2) є більш електронегативним, за потенціал на кривій 1. В електроліт, до складу якого введений неолол, катодний процес перебігає при ще більш електронегативних потенціалах (рис.1, крива 3). З такого перебігу поляризаційної залежності слід очікувати того, що покриття, одержані з електроліту з неололом, повинні мати більш дрібнокристалічну структуру порівняно з покриттями з інших електролітів. До того ж, як ми бачимо, тангенс куту нахилу поляризаційної кривої 3 в діапазоні густин струму від 0,5 А/дм<sup>2</sup> дещо менший, ніж на інших кривих, що свідчить про вірогідність кращої розсіювальної здатності електроліту з неололом.

Крім того, відсутність хвилі з горизонтальною площадкою на початку кривої 3, на відміну від кривих 1 та 2 (не плутати з гальмуванням, пов'язаним з адсорбцією поверхнево-активної добавки), може свідчити про те, що додавання до електроліту неололу призводить не тільки до гальмування катодної реакції в цілому, але й пригнічує безпосереднє відновлення простих гідратованих іонів Sn<sup>2+</sup>.

Візуальна оцінка зовнішнього вигляду покриттів показала, що покриття, одержані з електроліту в присутності столярного клею, мають світло-сірий колір, дещо грубу структуру, гарно зчеплені з основою. Добавка до електроліту неололу дійсно призводить до суттєвого покращення зовнішнього вигляду покриттів, які осаджуються напівблискучими та мають більш світлий колір, огляд під мікроскопом

свідчить й про покращення дрібнокристалічної структури.

Для одержання покриттів на деталях складної конфігурації та для забезпечення рівномірності товщини покриттів слід використовувати електроліти з високою розсіювальною здатністю. Були проведені дослідження впливу поверхнево-активних речовин на розсіювальну здатність цитратно-аміакатних електролітів в присутності різних ПАА (табл.1, електроліти 2, 3, 4).

Осадження покриття сплавом з використанням комірки Хулла на шести пластинах складаного катоду виявило, що в електроліті з неололом (рис.2, крива 2) розподіл маси осаду між катодними пластинами є суттєво більш рівномірним за масою, а, відповідно, й за товщиною, ніж в електроліті зі столярним клеєм (рис.2, крива 1). Такий результат був очікуваним на підставі результатів аналізу поляризаційних кривих, представлених на рис.1. Але виявилось, що розподіл осаджуваного сплаву між катодними пластинами в комірниці Хулла в електроліті з неололом є навіть дещо більш рівномірним, ніж в електроліті з неололом та столярним клеєм, введеними одночасно (рис.2, крива 3). Логічне пояснення цьому базується на припущенні, що неолол та столярний клей, введені в електроліт одночасно, сумісно упереміш адсорбуються на поверхні катоду, і в результаті цього столярний клей дещо погіршує ефект впливу неололу на катодний процес.

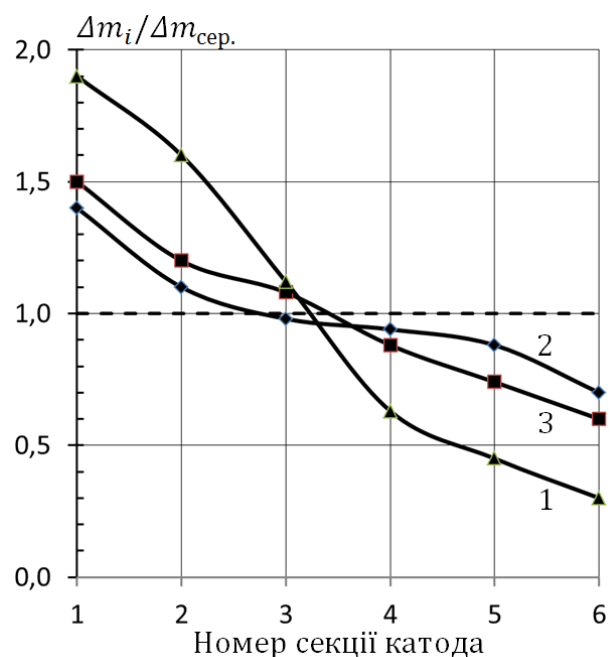


Рис. 2. Розсіювальна здатність електролітів з додаванням поверхнево-активних речовин: 1 – клей столярний; 2 – неолол, 3 – клей столярний + неолол

Все це у підсумку свідчить про більш високу розсіювальну здатність електроліту з неололом (електроліт 3, табл.1), на підставі чого подальші дослідження проводили тільки з використанням цього електроліту.

Важливою характеристикою електроліту є катодний вихід за струмом. В досліджуваних електролітах внаслідок адсорбції поверхнево-активних речовин на катоді відбувається гальмування процесу відновлення металів, зміщення потенціалу їхнього відновлення в електронегативний бік, через що створюються умови для того, щоб відбувався процес виділення водню. Завдяки високій катодній поляризації виникає позитивний ефект, пов'язаний з покращенням кристалічної структури (дрібнокристалічності) покриття, але, з іншого боку, виникають й негативні наслідки з точки зору продуктивності процесу, пов'язані зі зменшенням катодного виходу за струмом відновлення олов'яно-цинкового сплаву.

Для визначення оптимального режиму електролізу досліджували вплив густини струму на катодний вихід за струмом сплаву.

Збільшення робочої густини струму будь-якого електрохімічного процесу завжди є бажаним для покращення продуктивності. В досліджуваному процесі воно призводить ще й до покращення кристалічної структури покриття. Проте виявилось, що в досліджуваному електроліті (електроліт 3, табл.1) зі зростанням катодної густини струму від  $0,5 \text{ А/дм}^2$  до  $4 \text{ А/дм}^2$  вихід за струмом нелінійно зменшується з 82 % до 52 % (рис.3, крива 1), що дещо негативно відбивається на продуктивності. Але такий характер залежності виходу за струмом від катодної густини струму має й позитивні наслідки, що полягають у покращенні розсіювальної здатності електроліту.

Залежність складу сплаву від катодної густини струму характеризує здатність електроліту до осадження однорідних за вмістом компонентів покриття. Дослідженнями встановлено, що зі збільшенням катодної густини струму поступово зростає вміст цинку в сплаві з 8 % до 33 % (рис.3, крива 2). Оскільки найкращі антикорозійні властивості притаманні сплавам з вмістом цинку від 20 % до 25 %, за ходом кривої визначено, що саме такий склад сплаву може бути одержаний при катодній густині струму в межах  $1,5\text{--}2,0 \text{ А/дм}^2$ . Враховуючи нерівномірність розподілу струму по поверхні деталей в реальному виробництві, рекомендовано катодну густину струму приймати близькою до середньої ( $1,8 \text{ А/дм}^2$ ), при цьому вихід за струмом сплаву становитиме близько 70 %.

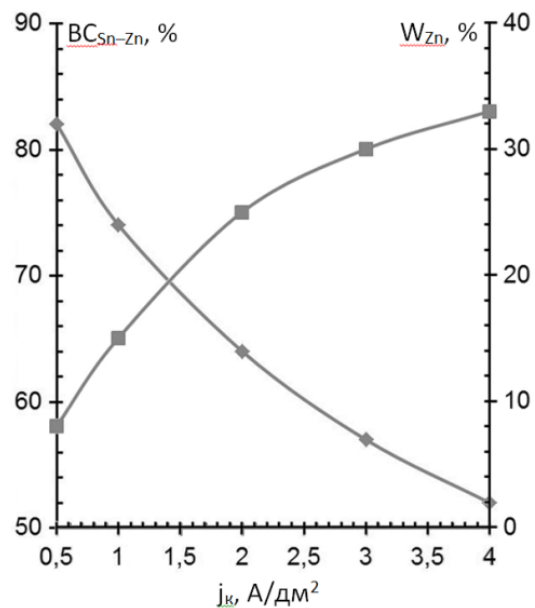


Рисунок 3 – Залежності катодного виходу за струмом сплаву (крива 1) і вмісту цинку в сплаві (крива 2) від катодної густини струму

Нескладні розрахунки за рівнянням Фарадея дають можливість визначити швидкість осадження покриття сплавом у досліджуваному електроліті на всьому діапазоні робочої густини струму від  $0,5 \text{ А/дм}^2$  до  $4 \text{ А/дм}^2$  (рис.4). З ходу цієї залежності можна зробити висновок, що при рекомендованій густині струму  $1,5\text{--}2,0 \text{ А/дм}^2$ , покриття сплавом осаджується зі швидкістю  $0,44\text{--}0,54 \text{ мкм/хв.}$ , що дорівнює швидкості осадження сплаву М-Ц(70) з ціанідного електроліту при  $3 \text{ А/дм}^2$ .

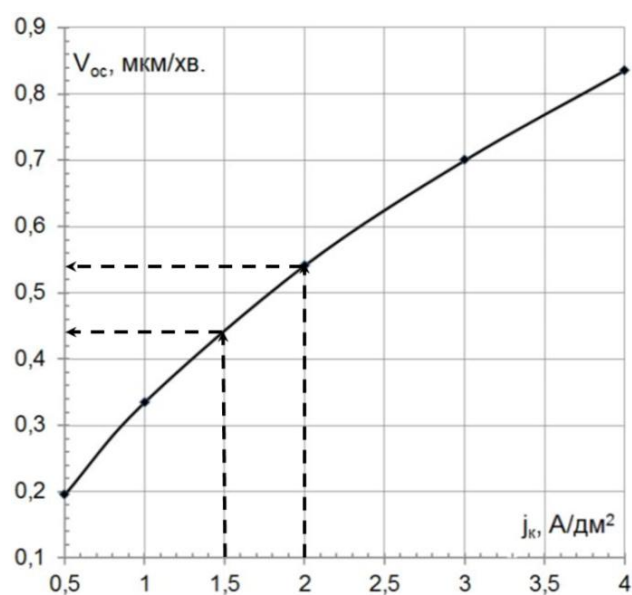


Рис. 4 – Залежність швидкості осадження покриття сплавом від катодної густини струму

**Висновки.** Для одержання якісних покриттів значення рН в цитратно-аміакатних електролітах слід підтримувати в межах від 6 до 7.

Введення в електроліт столярного клею та неонулу внаслідок адсорбції цих ПАР очікувано призводить до збільшення катодної поляризації відновлення металів, покращення структури осаду, але спричиняє зменшення виходу за струмом.

Електроліт, що в якості поверхнево-активної речовини містить неонол, має найкращу розсіювальну здатність, тому може бути рекомендований для нанесення покриття сплавом олово-цинк на сталеві деталі складної конфігурації.

В електроліті з неонолом зростання густини струму від 0,5 до 4 А/дм<sup>2</sup> призводить до зменшення катодного виходу за струмом сплаву з 82 % до 52 %, при цьому вміст цинку в сплаві збільшується з 8 % до 33 %.

Осадження покриттів, що містять від 20 % до 25 % цинку та забезпечують найкращий захист сталеві основи від корозії, рекомендовано здійснювати при катодній густині струму 1,5–2,0 А/дм<sup>2</sup>, при цьому катодний вихід за струмом осадження сплаву складає близько 70 %, а швидкість осадження покриття сплавом дорівнює 0,44–0,54 мкм/хв.

Наведені в таблиці 2 зведені дані про показники процесу осадження покриттів сплавом олово-цинк, одержаних з досліджуваного електроліту при різних густинах струму, можуть бути використані при підготовці до проектування відповідного процесу.

Таблиця 2 –Зведені дані

Катодна густина струму, А/дм <sup>2</sup>	0,5	1	2	3	4
Вихід сплаву за струмом, %	82	74	64	57	52
Вміст цинку в сплаві, %	8	15	25	30	33
Швидкість осадження покриття, мкм/хв.	0,19	0,33	0,54	0,7	0,84

#### Список літератури

1. Якименко Г. Я., Артеменко В. М. Гальванічні покриття. Аспекти вибору, функціональні властивості і технологія одержання: навч. посібник. Харків: НТУ «ХПІ». 2009. 148 с.
2. Якименко Г. Я., Артеменко В. М.. Технічна електрохімія. Ч. 3., Гальванічні виробництва: Підручник. За ред. Б. І. Байрачного. Харків: НТУ «ХПІ», 2006. 272 с.
3. Майзеліс А. А., Артеменко В. М. Электроосаждение сплава Zn–Sn из полилигандного электролита. Modern Electrochemical Technologies and Equipment–2019: материалы Междунар. науч.–техн. конф., 13–17 мая 2019 г. Минск: БГТУ, 2019. С. 74–78.
4. Майзеліс А. А., Артеменко В. М. Застосування полілігандної системи для електроосадження сплаву цинк-олово. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки,

Т. 31 (70), № 5, 2020.– С.167–172.

5. Перельгин Ю. П., Киреев С. Ю., Киреев А. Ю. Электролитическое осаждение сплава олово-цинк из кислого лактатного электролита. Гальванотехника и обработка поверхности. 2008. Т. 16. № 2. С. 12–13.
6. Kazimierzczak H., Ozga P., Jałowiec A., Kowalik R. Tin–zinc alloy electrodeposition from aqueous citrate baths. Surface and Coatings Technology. 2014. V. 240. P. 311–319.
7. Vitkova, St. Electrodeposition of low tin content zinc–tin alloys / St. Vitkova, V. Ivanova, G. Raichevsky // Surface and Coatings Technology. – 1996. – Т. 82. – №. 3. – С. 226–231.
8. Esfahani M., Zhang J., Wong Y. C., Durandet Y., Wang J. Electrodeposition of nanocrystalline zinc–tin alloy from aqueous electrolyte containing gluconate in the presence of polyethylene glycol and hexadecyltrimethylammonium bromide. 2018. Journal of Electroanalytical Chemistry. 2018. Vol. 813. P. 143–151.
9. Ashiru, O.A., Shirokoff, J. Electrodeposition and characterization of tin–zinc alloy coatings. Applied surface science. 2003. Vol. 103 (2). P. 159–169.
10. Salhi Y., Cherrouf S., Cherkaoui M., Abdelouahdi K. Electrodeposition of nanostructured Sn–Zn coatings. Applied Surface Science 2016. Vol. 367. P. 64–69.
11. Патент RU 2313621 МПК C25D 3/60, СІ. Денисенко Е.А., Селиванов В.Н., Токарева А.В. и др. Электролит низкоконтрированный для нанесения полублестящего покрытия сплавом олово-цинк / Заявка: 2006129477/02, 14.08.2006, опубл. 27.12.2007 Бюл. № 36.
12. Патент UA 140166 U МПК C25D 3/60. Дерібо С.Г., Гомозов В.П., Тульський Г.Г. Электроліт для осадження покриттів із сплаву олово-цинк / Заявка: u201907276, 01.07.2019, опубл. 10.02.2020 Бюл. № 3.

#### References (transliterated)

1. Yakymenko H. Ya., Artemenko V. M. Halvanichni pokryttia. Aspekty vyboru, funktsionalni vlastyvoosti i tekhnolohiia oderzhannia: navch. posibnyk. Kharkiv: NTU «KhPI». 2009. 148 s.
2. Yakymenko H. Ya., Artemenko V. M.. Tekhnichna elektrokhimiiia. Ch. 3., Halvanichni vyrobnytstva: Pidruchnyk. Za red. B. I. Bairachnoho. Kharkiv: NTU «KhPI», 2006. 272 s.
3. Mayzelis A. A., Artemenko V. M. Elektroosazhdenie splava Zn–Sn iz poliligandnogo elektrolita. Modern Electrochemical Technologies and Equipment–2019: materialy Mezhdunar. nauch.–tekhn. konf., 13–17 maya 2019 g. Minsk: BGTU, 2019. S. 74–78.
4. Maizelys A. A., Artemenko V. M. Zastosuvannia polilighandnoi systemy dlia elektroosazhennia splavu tsynk–olovo. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriia: tekhnichni nauky, T. 31 (70), № 5, 2020.– S.167–172.
5. Perelygin Yu. P., Kireev S. Yu., Kireev A. Yu. Elektroliticheskoe osazhdenie splava olovo–tsink iz kislogo laktatnogo elektrolita. Gal'vanotekhnika i obrabotka poverkhnosti. 2008. T. 16. № 2. S. 12–13.
6. Kazimierzczak H., Ozga P., Jałowiec A., Kowalik R. Tin–zinc alloy electrodeposition from aqueous citrate baths. Surface and Coatings Technology. 2014. V. 240. P. 311–319.
7. Vitkova, St. Electrodeposition of low tin content zinc–tin alloys / St. Vitkova, V. Ivanova, G. Raichevsky // Surface and Coatings Technology. – 1996. – Т. 82. – №. 3. – С. 226–231.
8. Esfahani M., Zhang J., Wong Y. C., Durandet Y., Wang J. Electrodeposition of nanocrystalline zinc–tin alloy from aqueous electrolyte containing gluconate in the presence of polyethylene glycol and hexadecyltrimethylammonium bromide. 2018. Journal of Electroanalytical Chemistry. 2018. Vol. 813. P. 143–151.

9. Ashiru, O.A., Shirokoff, J. Electrodeposition and characterization of tin–zinc alloy coatings. Applied surface science. 2003. Vol. 103 (2). P. 159–169.
10. Salhi Y., Cherrouf S., Cherkaoui M., Abdelouahdi K. Electrodeposition of nanostructured Sn–Zn coatings. Applied Surface Science 2016. Vol. 367. P. 64–69.
11. Patent RU 2313621 MPK C25D 3/60, SI. Denisenko E.A., Selivanov V.N., Tokareva A.V. i dr. Elektrolit nizkokontsentrivannyy dlya naneseniya polublestyashchego pokrytiya splavom olovo–tsink / Zayavka: 2006129477/02, 14.08.2006, opubl. 27.12.2007 Byul. № 36.
12. Patent UA 140166 U MPK C25D 3/60. Deribo S.H., Homozov V.P., Tulsnyi H.H. Elektrolit dlia osadzhennia pokryttiv iz splavu olovo–tsynk / Zaiavka: u201907276, 01.07.2019, opubl. 10.02.2020 Biul. № 3.

Надійшла (received) 15.03.2021

**Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors**

**Дерібо Світлана Германівна (Дерібо Светлана Германовна, Deribo Svitlana Hermanivna)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент; Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1790-9857>; e-mail: [sgd2408@gmail.com](mailto:sgd2408@gmail.com)

**Лещенко Сергій Анатолійович (Лещенко Сергей Анатольевич, Leshchenko Serhii Anatoliiovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор, Харків, Україна, ORCID: 0000-0003-2918-9575. e-mail: [tnr.khpi@gmail.com](mailto:tnr.khpi@gmail.com)

**Гомозов Валерій Павлович (Гомозов Валерий Павлович, Gomozov Valrii Pavlovych)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент, Харків, Україна, e-mail: [vp.gomozov@gmail.com](mailto:vp.gomozov@gmail.com)

**Коваленко Юлія Іванівна (Коваленко Юлия Ивановна, Kovalenko Yuliia Ivanivna)** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник, Харків, Україна, e-mail: [yuko\\_@ukr.net](mailto:yuko_@ukr.net).