

# Физическая химия и физика металлургических систем Physical chemistry and physics of metallurgical systems

Научная статья  
УДК 621.357.7  
DOI: 10.14529/met220401

## ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ ЦИНК-НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ СУЛЬФАТНО-ХЛОРИДНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ, СОДЕРЖАЩИХ БОРНУЮ И ЛИМОННУЮ КИСЛОТЫ

**С.В. Штин<sup>✉</sup>, Д.А. Полунин, А.С. Цикин**

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>✉</sup> shtinsv@susu.ru

**Аннотация.** В работе исследовали процесс электроосаждения цинк-никелевых покрытий на латунную и стальную подложки из кислых и слабокислых сульфатно-хлоридных электролитов. В качестве буферной добавки применяли борную и лимонную кислоты. Молярное соотношение ионов никеля и цинка в электролите Ni(II)/Zn(II) выбрано с большим превышением по ионам никеля ( $> 10$  раз). Химический состав электролита определяли методом комплексонометрического титрования с трилоном Б. Валовый состав и морфологические свойства покрытия определяли с помощью сканирующего электронного микроскопа JEOL JSM-6460LV с компьютерным контролем. Рабочую плотность тока подбирали с использованием электрохимической ячейки с угловым катодом – ячейки Хулла. Осаждение сплава проводили электрохимическим методом в гальванической ванне постоянного тока. В качестве анодов были использованы никелевые пластины. Установлено, что для электролитов с добавками борной кислоты предельное значение плотности тока составляет  $0,8 \text{ A/дм}^2$ , а при использовании в электролите в качестве буферной добавки лимонной кислоты предельное значение увеличивается до  $2,5 \text{ A/дм}^2$  без ухудшения качества покрытия. Сплавы, осажденные из электролита с лимонной кислотой, имеют, согласно исследованиям на электронном микроскопе, более мелкозернистую структуру, визуально выглядят более гладкими и блестящими. Расчеты показали, что осаждение из электролита с лимонной кислотой позволяет получить более высокий выход по току по сравнению с осаждением из электролита с борной кислотой. Скорость осаждения покрытий из электролитов с лимонной кислотой значительно выше во всем диапазоне плотностей тока независимо от природы подложки. Таким образом, добавки лимонной кислоты в электролит для осаждения цинк-никелевых покрытий дают значительные преимущества по сравнению с добавками борной кислоты, традиционно используемой для этих целей.

**Ключевые слова:** электролиз, электролит, цинк, никель, сплав, соосаждение, структура покрытия

**Для цитирования:** Штин С.В., Полунин Д.А., Цикин А.С. Электроосаждение цинк-никелевых покрытий из сульфатно-хлоридных электролитов, содержащих борную и лимонную кислоты // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2022. Т. 22, № 4. С. 5–13. DOI: 10.14529/met220401

## ELECTRODEPOSITION OF ZINC-NICKEL COATINGS FROM SULFATE-CHLORIDE ELECTROLYTES CONTAINING BORIC AND CITRIC ACIDS

S.V. Shtin<sup>✉</sup>, D.A. Polunin, A.S. Tsykin

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

<sup>✉</sup> shtinsv@susu.ru

**Abstract.** In this work, the process of electrodeposition of zinc-nickel coatings on brass and steel substrates from acidic and slightly acidic sulfate-chloride electrolytes was studied. Boric and citric acids were used as a buffer additive. The molar ratio of nickel and zinc ions in the Ni(II)/Zn(II) electrolyte was chosen with a large excess of nickel ions (> 10 times). The chemical composition of the electrolyte was determined by complexometric titration with Trilon B. The bulk composition and morphological properties of the coating were determined using a JEOL JSM-6460LV scanning electron microscope with computer control. The operating current density was selected using an electrochemical cell with a corner cathode – a Hull cell. The deposition of the alloy was carried out by the electrochemical method in a direct current galvanic bath. Nickel plates were used as anodes. It has been established that for electrolytes with boric acid additions, the limiting value of the current density is 0.8 A/dm<sup>2</sup>, and when citric acid is used as a buffer additive in the electrolyte, the limiting value increases to 2.5 A/dm<sup>2</sup> without deteriorating the quality of the coating. Alloys deposited from an electrolyte with citric acid have, according to electron microscope studies, a finer grained structure, and visually they look smoother and shinier. Calculations have shown that deposition from an electrolyte with citric acid makes it possible to obtain a higher current efficiency compared to deposition from an electrolyte with boric acid. The rate of deposition of coatings from electrolytes with citric acid is much higher in the entire range of current densities, regardless of the nature of the substrate. Thus, the addition of citric acid to the electrolyte for the deposition of zinc-nickel coatings provides significant advantages over the addition of boric acid, which is traditionally used for these purposes.

**Keywords:** electrolysis, electrolyte, zinc, nickel, alloy, co-precipitation, cover structure

**For citation:** Shtin S.V., Polunin D.A., Tsykin A.S. Electrodeposition of zinc-nickel coatings from sulfate-chloride electrolytes containing boric and citric acids. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy.* 2022;22(4):5–13. (In Russ.) DOI: 10.14529/met220401

### Введение

Процессы электрохимического нанесения металлических, комбинированных и неметаллических покрытий используют практически во всех отраслях техники – от металлургии и тяжелого машиностроения до микроэлектроники и нанотехнологий.

Металлопокрытия используют не только для защиты изделий от коррозии, различных механических воздействий, а также в качестве защитно-декоративной отделки.

Гальванические сплавы, несмотря на некоторые сложности в технологии их получения, находят все большее применение в промышленности, поскольку это является одним из возможных способов улучшения функциональных свойств металлических покрытий. В настоящее время получено большое количество гальванических покрытий сплавами [1].

Свойства электроосажденных сплавов определяются различными факторами: химической природой компонентов, входящих в состав сплава; концентрацией компонентов; фазовым составом сплава (твердый раствор, интерметаллическое соединение, механическая смесь).

Довольно большое количество исследований [2–10] посвящено изучению процессов осаждения коррозионно-устойчивых никель- и цинксодержащих сплавов, таких как Fe–Ni, Zn–Ni, Co–Ni, Zn–Sn и другие. В работах показано, что покрытия сплавом цинк-никель являются перспективными, они обладают высокой коррозионной стойкостью. Сплав состава Zn–Ni обладает потенциалом более отрицательным по сравнению со сталью, что позволяет использовать данные покрытия в качестве защитно-декоративных [11]. Еще одно очень выгодное преимущество цинк-

никелевых покрытий – это устойчивость к воздействию повышенной температуры [12].

Важным вопросом при электролизе является выбор состава электролита, который позволил бы получить качественные покрытия при наименьших затратах и минимальном загрязнении окружающей среды. Для решения указанных проблем ряд авторов исследуют возможность замены некоторых компонентов электролита на более безопасные [13–18]. Так, в качестве буферной добавки при электроосаждении никеля и его сплавов традиционно используют борную кислоту, однако в ряде работ показана возможность применения в подобных электролитах экологически безопасных органических кислот.

### Экспериментальная часть

В настоящей работе проведены исследования электроосаждения цинк-никелевых покрытий на латунную и стальную подложки из кислых и слабокислых сульфатно-хлоридных электролитов с двумя буферными добавками с целью выяснить возможность и целесообразность замены в электролите борной кислоты на лимонную (табл. 1).

В связи с тем, что ранее был доказан

аномальный характер соосаждения цинка и никеля, соотношение Ni(II)/Zn(II) было взято  $> 10$  [19].

Покрытия осаждали на образцы из латуни марки Л65 и стали Ст2.

Перед осаждением на латунную основу образцы подвергались травлению в растворе из фосфорной кислоты в течение 60 с при  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Затем тщательно промывались в дистиллированной воде. Катодами служили пластины из меди.

Травление стальных образцов проводили в 10%-ном растворе соляной кислоты в течение 60 с при  $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  и затем промывали в дистиллированной воде.

Осаждение покрытий осуществляли электрохимическим методом в гальванической ванне постоянного тока.

Для определения рабочей плотности тока для приготовленного электролита использовалась электрохимическая ячейка с угловым катодом – ячейка Хулла (рис. 1). Параметры ячейки Хулла:  $a = 64\text{ мм}$ ,  $b = 48\text{ мм}$ ,  $c = 102\text{ мм}$ ,  $d = 127\text{ мм}$ ,  $h = 65\text{ мм}$ , объем 250 мл.

Покрытие в ячейке Хулла наносили на латунную и стальную пластины такого же состава, как материал подложек.

Составы использованных электролитов  
The compositions of the electrolytes used

Таблица 1

Table 1

Состав	Электролит	
	№ 1	№ 2
Хлорид никеля 6-водный, г/л (моль)	59,42 (0,25)	59,42 (0,25)
Цинк (II) сернокислый 7-водный, г/л (моль)	5,46 (0,02)	5,46 (0,02)
Борная кислота, г/л	20	
Лимонная кислота, г/л	–	5
Лимоннокислый натрий, г/л	–	5
рН раствора	4,5	1,5

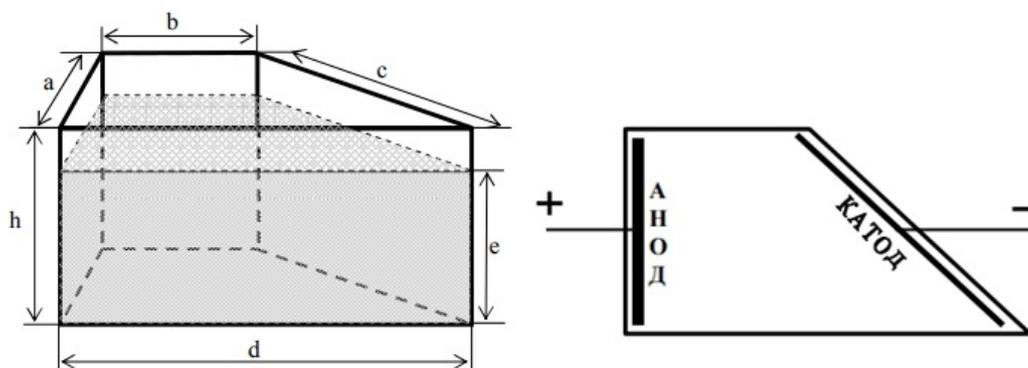


Рис. 1. Ячейка Хулла  
Fig. 1. Hull cell

После электроосаждения покрытия в течение одного часа при заданной силе тока  $I$  (А) определяли длину участка бездефектного покрытия (расстояние  $x$  в мм) [20]. Полученные пластины прикладывали к шкале распределения тока на катоде в ячейке Хулла (рис. 2) и по ним определяли интервалы плотности тока, при которых получались покрытия с необходимыми качествами (рис. 3). Режим электроосаждения в ячейке Хулла приведен в табл. 2.

Опыты с использованием ячейки Хулла показали, что замена борной кислоты на лимонную увеличила предельное значение рабочей плотности тока от 0,8 до 2,5 А/дм<sup>2</sup> без ухудшения качества покрытия.

Из рис. 4 видно, что осаждение из электролита с лимонной кислотой позволяет получить более высокий выход по току по сравнению с осаждением из электролита с борной кислотой.

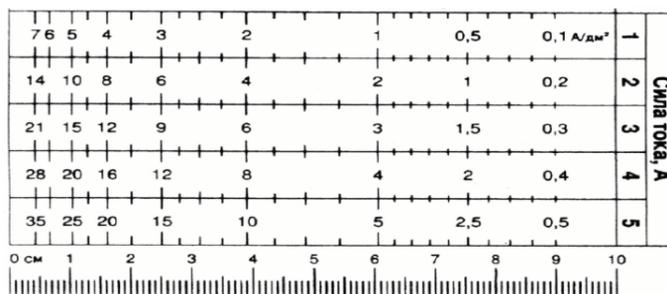


Рис. 2. Шкала распределения тока на катоде в ячейке Хулла  
Fig. 2. Scale of current distribution on the cathode in the Hull cell

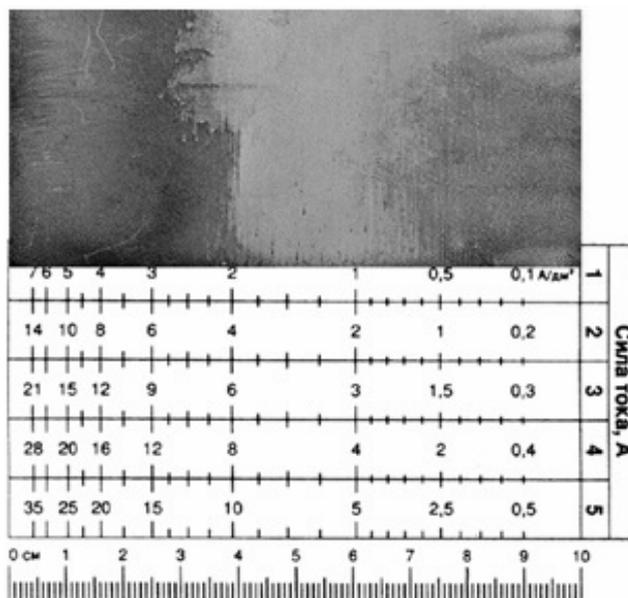


Рис. 3. Подбор плотности тока осажденного покрытия на латунную и стальную пластины при помощи шкалы распределения тока на катоде в ячейке Хулла  
Fig. 3. Selection of the current density of the deposited coating on brass and steel plates using the current distribution scale on the cathode in the Hull cell

Режим электролиза

Таблица 2

Electrolysis mode

Table 2

Сила тока	2 А
Время процесса	10 мин
Температура	20 °С
Катод	Латунная / стальная пластина
Анод	Никелевая пластина

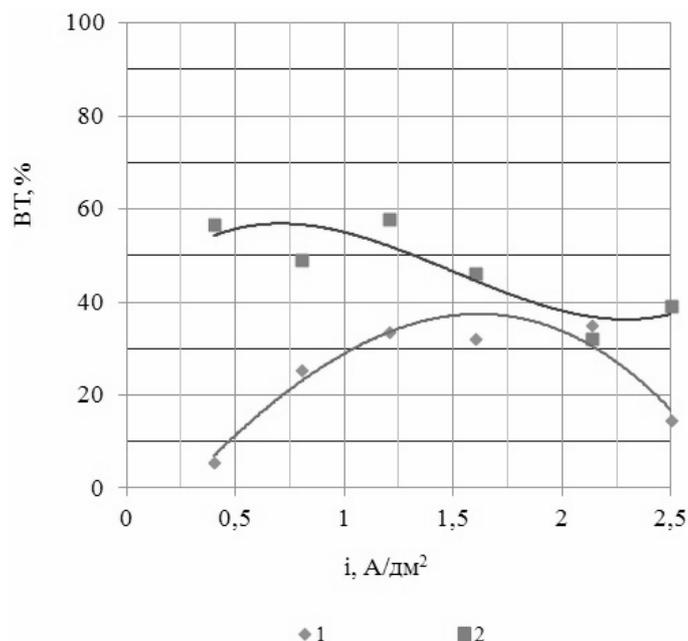


Рис. 4. Зависимость выхода по току от плотности тока:  
1 – осаждение из электролита № 1; 2 – осаждение из электролита № 2  
Fig. 4. Dependence of the current output on the current density:  
1 – deposition from electrolyte No. 1; 2 – deposition from electrolyte No. 2

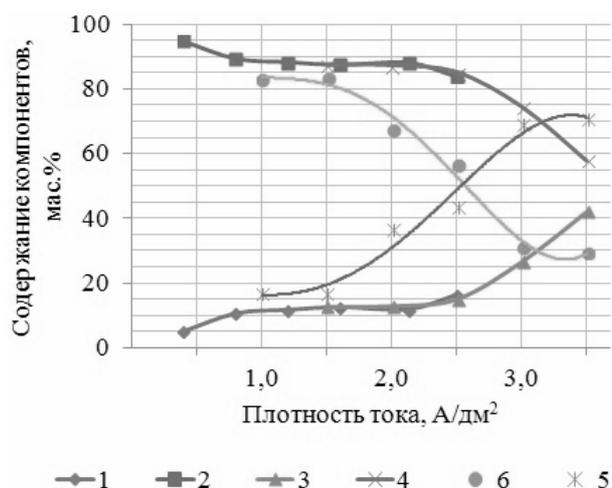


Рис. 5. Зависимость содержания компонентов от плотности тока типа буферной добавки и подложки: 1, 3, 5 – содержание никеля в покрытии после осаждения из электролита № 1 на латунь (1), из электролита № 2 на латунь (3) и сталь (5); 2, 4, 6 – содержание цинка в покрытии после осаждения из электролита № 1 на латунь (2), из электролита № 2 на латунь (4) и сталь (6)  
Fig. 5. Dependence of the content of components on the current density, type of buffer additive and substrate: 1, 3, 5 – nickel content in the coating after deposition from electrolyte No. 1 onto brass (1), from electrolyte No. 2 onto brass (3) and steel (5); 2, 4, 6 – zinc content in the coating after deposition from electrolyte No. 1 onto brass (2), from electrolyte No. 2 onto brass (4) and steel (6)

Исследование химического состава подтвердило аномальный характер соосаждения цинк-никелевого покрытия – содержание цинка во всех образцах выше, чем содержание никеля (рис. 5). При этом замена борной кислоты на лимонную не изменяет содержание компонентов в покрытии при осаждении на тот же тип подложки. При осаждении на

стальную подложку состав покрытия изменяется в сторону увеличения содержания никеля по мере увеличения плотности тока.

Для оценки влияния буферных добавок на микрорельеф поверхности осажденных покрытий были сняты микрофотографии исследованных образцов на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6460LV (рис. 6 и 7).

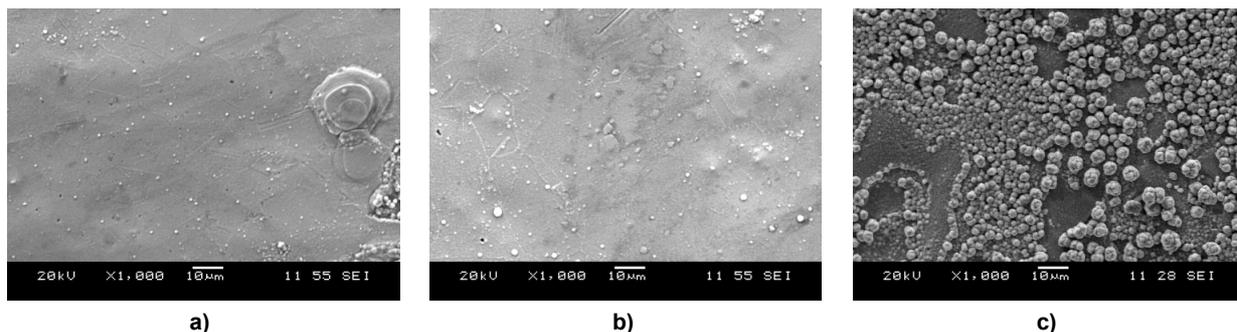


Рис. 6. Микрофотографии поверхности образцов, полученных в результате осаждения сплава Zn–Ni при  $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 4,6$ ,  $t = 10$  мин, электролит № 1, при увеличении  $\times 1000$ :  
а)  $i = 0,4\text{ A/dm}^2$ ; б)  $i = 0,6\text{ A/dm}^2$ ; в)  $i = 0,8\text{ A/dm}^2$   
Fig. 6. Micrographs of the surface of the samples obtained as a result of the deposition of the Zn–Ni alloy at  $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 4,6$ ,  $t = 10$  min, electrolyte No. 1, with  $\times 1000$  magnification:  
а)  $i = 0.4\text{ A/dm}^2$ ; б)  $i = 0.6\text{ A/dm}^2$ ; в)  $i = 0.8\text{ A/dm}^2$

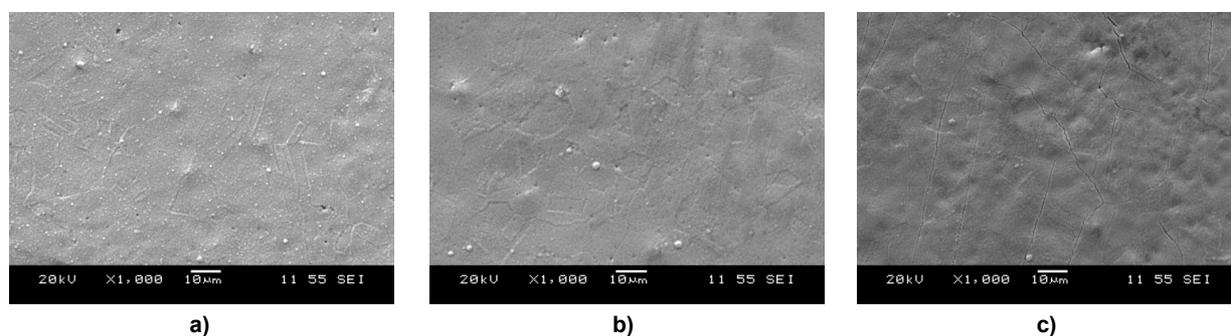


Рис. 7. Микрофотографии поверхности образцов, полученных в результате осаждения сплава Zn–Ni при  $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 2$ ,  $t = 10$  мин, электролит № 2: при увеличении  $\times 1000$ :  
а)  $i = 0,8\text{ A/dm}^2$ ; б)  $i = 1,6\text{ A/dm}^2$ ; в)  $i = 2,5\text{ A/dm}^2$   
Fig. 7. Micrographs of the surface of the samples obtained as a result of the deposition of the Zn–Ni alloy at  $T = 20\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\text{pH} = 2$ ,  $t = 10$  min, electrolyte No. 2, with  $\times 1000$  magnification:  
а)  $i = 0.8\text{ A/dm}^2$ ; б)  $i = 1.6\text{ A/dm}^2$ ; в)  $i = 2.5\text{ A/dm}^2$

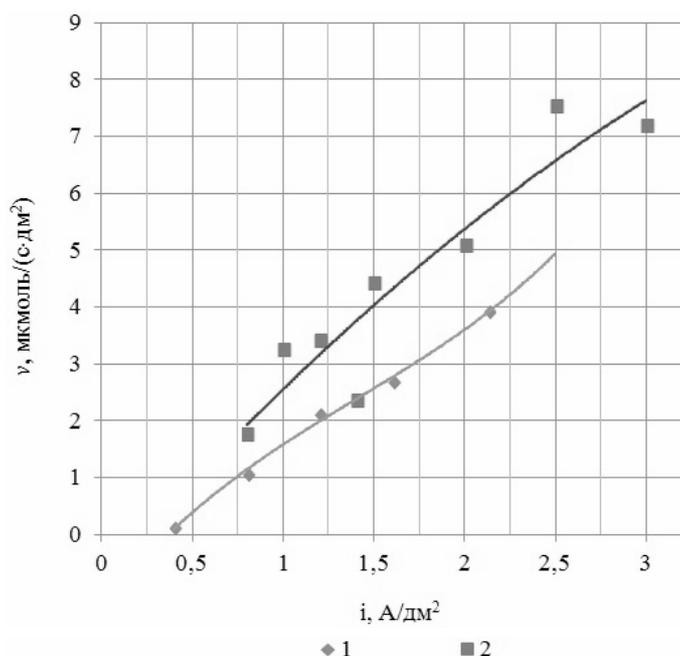


Рис. 8. Зависимость скорости осаждения сплава от плотности тока осаждаемых на латунную подложку из электролита № 1 (1) и № 2 (2)  
Fig. 8. Dependence of the alloy deposition rate on the current density deposited on a brass substrate from electrolyte No. 1 (1) and No. 2 (2)

Анализ микрофотографий показал, что при замене борной кислоты на лимонную кислоту изменяется вид поверхности – размер зерна становится меньше. Приведенные результаты получены при осаждении на латунь.

На рис. 8 представлены графики скоростей осаждения покрытия на латунную подложку из различных электролитов в зависимости от плотности тока. Видно, что при любых значениях плотности тока скорость осаждения выше, если использован электролит № 2 – с добавкой лимонной кислоты.

### Заключение

Исследован процесс электроосаждения цинк-никелевых покрытий из кислых сульфатно-хлоридных электролитов на латунную и стальную подложки в присутствии борной и лимонной кислот. Показано, что соосаждение

носит аномальный характер в широком диапазоне значений плотности тока независимо от материала подложки.

Изучено влияние состава электролита и материала подложки на процесс электроосаждения. Установлены рабочие диапазоны плотностей тока для использованных электролитов с помощью ячейки Хулла. Показано, что замена борной кислоты на лимонную в качестве буферной добавки увеличивает предельное значение рабочей плотности тока, улучшает качество покрытий, повышает выход по току и скорость осаждения покрытия.

Таким образом, добавки лимонной кислоты в электролит для осаждения цинк-никелевых покрытий дают значительные преимущества по сравнению с добавками борной кислоты, традиционно используемой для этих целей.

### Список литературы

1. Шапник М.С. Гальванические покрытия сплавами // Соросовский образовательный журнал. 2006. Т. 7, № 6. С. 42–47.
2. Электроосаждение сплавов кобальт-никель и цинк-никель из сульфатно-хлоридных электролитов / Р.Ф. Шеханов, С.Н. Гридчин, А.В. Балмасов, К.Е. Румянцева // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2014. Т. 57, № 8. С. 47–51.
3. Шестаков М.А. Прогнозирование структуры и получение электролитических сплавов цинк-никель, цинк-кобальт с повышенными коррозионно-защитными свойствами: дис. ... канд. хим. наук. Тюмень, 2007. 152 с.
4. Электроосаждение цинк-никелевых покрытий из глицин-содержащего аммиачно-хлоридного электролита / Д.В. Бурляев, А.Е. Тинаева, К.Е. Тинаева, О.А. Козадров // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2020. Т. 56, № 3. С. 301–308. DOI: 10.31857/S0044185620030079
5. Цыбульская Л.С., Гаевская Т.В., Пуровская О.Г. Особенности электрохимического осаждения покрытий цинк – никель из щелочных растворов // Вестник БГУ. Серия 2: Химия. Биология. География. 2008. № 1. С. 13–18.
6. Роев В.Г., Кайдриков Р.А., Хакимуллин А.Б. Электроосаждение цинк-никелевых покрытий из щелочных электролитов с добавками аминокислот // Электрохимия. 2001. Т. 37, № 7. С. 882–886.
7. Наливайко Е.В. Закономерности электрохимического соосаждения цинка и никеля в сплав в хлораммонийных электролитах и технологические рекомендации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2012. 18 с.
8. Наливайко Е.В., Бобрикова И.Г., Селиванов В.Н. Интенсификация электроосаждения сплава цинк-никель из аммонийного электролита // Инженерный вестник Дона. 2012. № 3 (21). С. 227–230.
9. Свойства покрытий сплавом цинк-никель, полученных из хлораммонийных электролитов / Е.В. Наливайко, Е.В. Горювая, И.Г. Бобрикова, В.Н. Селиванов // Инженерный вестник Дона. 2013. № 1 (24). С. 13–15.
10. Закирова Л.И., Никифоров А.А., Лаптев А.Б. Гальванотермическое покрытие системы цинк-олово – реальная альтернатива кадмиевому покрытию // Материалы III Международной научно-технической конференции «Новые материалы и технологии глубокой переработки сырья – основа инновационного развития экономики России». 2022. С. 396–410.
11. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия: справ. М.: Техносфера, 2006. 220 с.
12. Новые защитные покрытия для стальных деталей вместо кадмиевых / А.Д. Жирнов, С.А. Каримова, Л.В. Овсянникова, О.А. Губенко // Металловедение и термическая обработка металлов. 2003. № 1. С. 21–24.

13. Янгуразова А.З., Киреев С.Ю. Электроосаждение покрытий цинком из малотоксичного лактатного электролита // Материалы Всероссийской научно-практической конференции учителей химии и преподавателей вузов. Пенза: Пензенский государственный университет, 2019. С. 136–138.
14. Балакай В.И., Таранушич В.А. Закономерности электроосаждения цинка из цитратного электролита // Материалы II Национальной конференции профессорско-преподавательского состава и научных работников / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2016. С. 10–11.
15. Влияние поверхностно-активных добавок на электроосаждение сплава цинк-марганец из сульфатно-цитратных электролитов / Е.С. Бруслова, И.Г. Бобрикова, В.Н. Селиванов, А.А. Голованов // Вектор науки тольяттинского государственного университета. 2013. № 1 (23). С. 17–19.
16. Рогожин В.В., Ананьева Е.Ю., Михаленко М.Г. Особенности электроосаждения никелевых покрытий из разбавленных аммиачно-цитратных электролитов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексева. 2013. № 2 (99). С. 245–251.
17. Электроосаждение покрытий железо-молибден-вольфрам из цитратных электролитов / А.В. Каракурчи, М.В. Ведь, Н.Д. Сахненко, И.Ю. Ермоленко // Журнал прикладной химии. 2015. Т. 88, № 11. С. 1648–1657.
18. Кабанов С.В., Перелыгин Ю.П. Электроосаждение никеля из малатного электролита // Альманах современной науки и образования. 2014. № 3 (82). С. 83–85.
19. К вопросу об аномальном осаждении сплава цинк-никель из сульфатно-хлоридных электролитов / В.И. Харламов, А.А. Вакка, Т.Л. Азарченко, Т.А. Ваграмян // Электрохимия. 1991. Т. 27, № 8. С. 1062–1065.
20. Шлугер М.А. Гальванические покрытия в машиностроении: справ.: в 2 т. М.: Машиностроение, 1985. 240 с.

#### References

1. Shapnik M.S. [Galvanic coatings with alloys]. *Soros educational journal*. 2006;7(6):42–47. (In Russ.)
2. Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V., Rumyantseva K.Ye. [Electrodeposition of cobalt-nickel and zinc-nickel alloys from sulfamate-chloride electrolytes]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Khimiya khimicheskaya tekhnologiya = Russian journal of chemistry and chemical technology*. 2014;57(8):47–51. (In Russ.)
3. Shestakov M. A. *Prognozirovaniye struktury i polucheniye elektroliticheskikh splavov tsink-nikel', tsink-kobal't s povyshennymi korrozionno-zashchitnymi svoystvami: dis. kand. khim. nauk* [Predicting the structure and obtaining electrolytic alloys zinc-nickel, zinc-cobalt with increased corrosion-protective properties. Cand. sci. diss.]. Tyumen'; 2007. 152 p. (In Russ.)
4. Burlyaev D.V., Tinaeva A.E., Tinaeva K.E., Kozaderov O.A. Electrodeposition of zinc-nickel coatings from glycine-containing ammonium-chloride electrolyte. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2020;56(3):552–559. DOI: 10.1134/S2070205120030077
5. Tsybul'skaya L.C., Gayevskaya T.V., Purovskaya O.G. [Peculiarities of electrochemical deposition of zinc-nickel coatings from alkaline solutions]. *Bulletin of BSU. Series 2: Chemistry. Biology. Geography*. 2008;(1):13–18. (In Russ.)
6. Roev V.G., Kaidrikov R.A., Khakimullin A.B. Zinc-nickel electroplating from alkaline electrolytes containing amino compounds. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2001;37(7):756–759. DOI: 10.1023/A:1016785105516
7. Nalivayko Ye.V. *Zakonomernosti elektrokhimicheskogo soosazhdeniya tsinka i nikelya v splav v khlorammoniynykh elektrolitakh i tekhnologicheskiye rekomendatsii: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Patterns of electrochemical co-precipitation of zinc and nickel into an alloy in chlorammonium electrolytes and technological recommendations. Abstract of cand. sci. diss.]. Novocherkassk; 2012. 18 p. (In Russ.)
8. Nalivayko Ye.V., Bobrikova I.G., Selivanov V.N. [Intensification of electrodeposition of zinc-nickel alloy from ammonium electrolyte]. *Engineering Journal of Don*. 2012;3(21):227–230. (In Russ.)
9. Nalivayko Ye.V., Gorovaya Ye.V., Bobrikova I.G., Selivanov V.N. [Properties of zinc-nickel alloy coatings obtained from chlorammonium electrolytes]. *Engineering Journal of Don*. 2013;1(24):13–15. (In Russ.)

10. Zakirova L.I., Nikiforov A.A., Laptev A.B. [Galvanothermal coating of the zinc-tin system is a real alternative to cadmium coating]. In: *Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Novyye materialy i tekhnologii glubokoy pererabotki syr'ya – osnova innovatsionnogo razvitiya ekonomiki Rossii"*; 2022. P. 396–410. (In Russ.)
11. Gamburg Yu.D. *Gal'vanicheskiye pokrytiya: spravochnik* [Galvanic coatings: a reference book]. Moscow: Tekhnosfera; 2006. 220 p. (In Russ.)
12. Zhirnov A.D., Karimova S.A., Ovsyannikova L.V., Gubenko O.A. New protecting coatings for steel parts instead of cadmium. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov = Metal science and heat treatment*. 2003;(1):21–24. (In Russ.)
13. Yangurazova A.Z., Kireyev S.Yu. [Electrodeposition of coatings with zinc from a low-toxic lactate electrolyte]. In: *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii uchiteley khimii i prepodavateley vuzov*. Penza: Penza State University; 2019. P. 136–138. (In Russ.)
14. Balakay V.I., Taranushich V.A. [Regularities of zinc electrodeposition from citrate electrolyte]. In: *Materialy II Natsional'noy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava i nauchnykh rabotnikov*. Novocherkassk: Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI); 2016. P. 10–11. (In Russ.)
15. Brusova E.S., Bobrikova I.G., Selivanov V.N., Golovanov A.A. Influence of surface-active additives on electrodeposition of zinc-manganese alloy from sulfate-citrate electrolytes. *Science Vector of Togliatti state university*. 2013;1(23):17–19. (In Russ.)
16. Rogozhin V.V., Ananieva E.Y., Mikhailenko M.G. Features of an electrodeposition nickel covers from diluted ammonium-citric electrolytes. *Transactions of Nizhni Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev*. 2013;2(99):245–251. (In Russ.)
17. Karakurkchi A.V., Ved' M.V., Sakhnenko N.D., Yermolenko I.Y. Electrodeposition of iron-molybdenum-tungsten coatings from citrate electrolytes. *Russian Journal of Applied Chemistry*. 2015;88(11):1860–1869. DOI: 10.1134/S1070427215011018X
18. Kabanov S.V., Pereygin Yu.P. Nickel plating from malate electrolyte. *Almanac of Modern Science and Education*. 2014;3(82):83–85. (In Russ.)
19. Kharlamov V.I., Vakka A.A., Azarchenko T.L., Vagramyan T.A. [To the question of anomalous deposition of zinc-nickel alloy from sulfate-chloride electrolytes]. *Soviet Electrochemistry*. 1991;27(8):1062–1065. (In Russ.)
20. Shluger M.A. *Gal'vanicheskiye pokrytiya v mashinostroyenii: sprav.: v 2 t.* [Galvanic coatings in mechanical engineering. Reference book in 2 volumes]. Moscow: Mashinostroyeniye; 1985. 240 p. (In Russ.)

#### **Информация об авторах**

**Штин Светлана Валентиновна**, канд. хим. наук, доц. кафедры материаловедения и физико-химии материалов, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; shtinsv@susu.ru.

**Полунин Данила Алексеевич**, магистрант кафедры материаловедения и физико-химии материалов, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

**Цикин Артем Сергеевич**, магистрант кафедры материаловедения и физико-химии материалов, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия.

#### **Information about the authors**

**Svetlana V. Shtin**, Cand. Sci. (Chem.), Ass. Prof. of the Department of Materials Science and Physical Chemistry of Materials, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; shtinsv@susu.ru.

**Danila A. Polunin**, Master's Student of the Department of Materials Science and Physical Chemistry of Materials, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

**Artem S. Tsikin**, Master's Student of the Department of Materials Science and Physical Chemistry of Materials, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia.

**Статья поступила в редакцию 11.08.2022**

**The article was submitted 11.08.2022**