

DOI: 10.47188/0869-5326\_2023\_31\_1\_13

УДК 621.359.3

## Электроосаждение сплавов цинк-никель из оксалатно-аммонийных электролитов

© 2023 Р. Ф. Шеханов, С. Н. Гридчин

Ивановский государственный химико-технологический университет, 153000 Иваново,  
Шереметевский проспект, 7. e-mail: ruslanfelix@yandex.ru

Показана возможность получения качественных электролитических сплавов цинк-никель из оксалатно-аммонийных электролитов различного состава. Установлено, что из изученных растворов, возможно получение доброкачественных осадков сплава в интервале плотностей тока от 1 до 3 А/дм<sup>2</sup>. Введение в электролит оксалата аммония, способного образовывать с ионами Zn<sup>2+</sup> и Ni<sup>2+</sup> устойчивые комплексы, обеспечивает увеличение рабочего интервала рН. Электроосаждение протекает с большой катодной поляризацией, способствующей получению качественных мелкокристаллических покрытий осаждаемых сплавов. Поляризационные исследования показали, что с увеличением содержания никеля в покрытии его потенциал смещается в область более положительных значений. Это приводит к уменьшению ЭДС коррозионного элемента и снижению плотности коррозионного тока.

Ключевые слова: сплав цинк-никель, поляризационные исследования, защитные покрытия, электроосаждение, коррозионная стойкость.

UDC 621.359.3

## Electrodeposition of zinc-nickel alloys from ammonium oxalate electrolytes

© 2023 R. F. Shekhanov, S. N. Gridchin

Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 7, Sheremetievskiy ave., Ivanovo,  
153000, e-mail: ruslanfelix@yandex.ru

A possibility of preparing good quality electrolytic alloys of zinc-nickel from ammonium oxalate electrolytes of various compositions was shown. The alloy coatings of high quality can be obtained at the current density range from 1 to 3 A dm<sup>-2</sup>. The introduction into the electrolyte of ammonium oxalate capable of forming stable complexes with Zn<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> ions makes it possible to increase the working pH range. Electroplating occurs with high cathodic polarization favoring the formation of qualitative finely crystalline coatings of the plated alloys. Codeposition of Ni shifts the corrosion potential in the positive direction and reduces the EMF of corrosion couple.

Keywords: Zn-Ni alloy, polarization experiments, protective coatings, electroplating, corrosion resistance.

### Введение

Для защиты черных металлов от коррозии традиционно применяются гальванические покрытия изделий цинком, кадмием, оловом. При этом введение в состав антикоррозионных покрытий металлов подгруппы железа (железо, кобальт, никель) позволяет существенно увеличить срок их защитного действия против коррозии, поскольку соответствующие бинарные сплавы характеризуются более высокой коррозионной стойкостью, чем указанные индивидуальные металлы [1]. Перспективным направлением при разработке новых составов электролитов для осаждения покрытий сплавами d-металлов является использование соединений, образующих растворимые комплексы с ионами осаждаемых металлов [2-10]. Одним из наиболее эффективных комплексообразующих компонентов электролита, в частности, является оксалат аммония, характеризующийся также возможностью разложения образуемых комплексов в сточных водах. Эффективность применения этого соединения для стабилизации электролита была продемонстрирована нами ранее при получении электролитических покрытий сплавами цинка с кобальтом и железом [11-13]. Целью настоящей работы является исследование процессов осаждения из оксалатно-аммонийных электролитов гальванических сплавов цинк-никель.

### Материалы и методы исследования

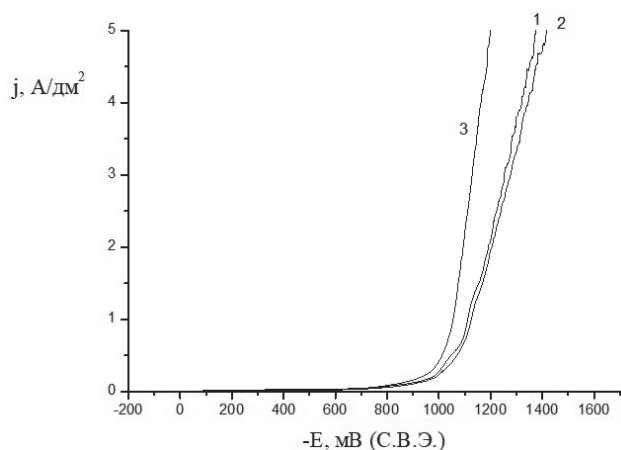
Растворы электролитов готовили из реактивов марки "ч.д.а." на дистиллированной воде путем растворения каждого компонента электролита в отдельном объеме с последующей фильтрацией и сливом растворов в общую ёмкость. Корректировку кислотности раствора осуществляли добавлением 25% водного раствора аммиака или 50% раствора серной кислоты. Покрытия осаждали с помощью лабораторного источника тока MPS-3005L-3 Matrix на предварительно подготовленные (обезжиренные и активированные) образцы из стали 08кп. Процесс осаждения проводили при температуре 20-50°C и катодной плотности тока 1-3 А/дм<sup>2</sup>. Качество покрытий определяли по внешнему виду и сцеплению с основным металлом соответственно согласно ГОСТ 9.301-86 и ГОСТ 9.302-88. Структуру и состав сплавов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 SBH с приставкой для элементного анализа. Потенциодинамические катодные поляризационные кривые снимали с использованием потенциостата Р-30J при температуре 50°C со скоростью развертки потенциала 5 мВ/с. Электродом сравнения служил насыщенный хлорсеребряный электрод ЭВЛ-1М1, вспомогательным - платиновый. Полученные значения потенциала пересчитывали относительно стандартного водородного электрода (СВЭ). Для из-

мерения рН использовали иономер И-160МП. Выход по току рассчитывали по методике [14]. Микротвердость покрытий определяли на приборе ПМТ-3 в соответствии с ГОСТ 9450-76. Коррозионные испытания полученных образцов проводили в 3 % растворе NaCl при температуре 25°C. Методом Розенфельда [15] были получены коррозионные диаграммы для сплавов цинк-никель и цинк-кобальт, полученных из исследуемых оксалатно-аммонийных электролитов. Метод Розенфельда включает в себя построение катодной поляризационной кривой, на которую наносится потенциал системы основа – металлическое покрытие, и по нему определяется ток коррозии. Защитная способность покрытий определялась также испытаниями образцов в камере солевого тумана (Weiss SC 450, Германия). В качестве солевого раствора использовали 5% NaCl (рН 6.5-7.2), который распылялся внутри камеры с испытуемыми образцами в виде тумана. Камера работала непрерывно в циклическом режиме (один цикл - 15 мин распыления солевого раствора, затем 45 мин камера отключена, далее повторение цикла). Испытания проводили при t = 35°C и влажности 95-100%.

### Результаты и их обсуждение

Как было показано ранее [16-18], электролитическое осаждение компонентов сплавов цинк-никель из оксалатно-аммонийных электролитов происходит из комплексных соединений, что способствует сближению потенциалов осаждения никеля и цинка. После включения тока в течение нескольких секунд электролиза значение рНS прикатодного слоя резко увеличивается от 6.1-6.5 до 9.0-9.4 [19]. Рост рНS приэлектродного слоя связан с протеканием параллельной реакции выделения водорода, имеющей место при катодном осаждении электроотрицательных металлов. При рН < 8 поведение системы  $Zn^{2+}-Ni^{2+}-SO_4^{2-}-C_2O_4^{2-}-NH_3$  определяется главным образом процессами образования оксалатных бис- и трис-комплексов цинка и никеля(II). В более щелочной области происходит разрушение указанных комплексов, и оксалат-ионы замещаются молекулами аммиака. Образование устойчивых оксалатных и аммиачных комплексов препятствует образованию соответствующих гидроксидов, характеризующихся низкой растворимостью (ПР=7,1·10<sup>-18</sup> и 6,3·10<sup>-18</sup> [20] для Zn(OH)<sub>2</sub> и Ni(OH)<sub>2</sub>, соответственно).

Электроосаждение сплава цинк-никель из оксалатно-аммонийных электролитов протекает с большой катодной поляризацией (рис.1), способствующей получению качественных мелкокристаллических покрытий. Исследование кинетики электрохимических процессов методом циклической вольтамперометрии, результаты которых представлены на рис. 2, показали, что при комнатной

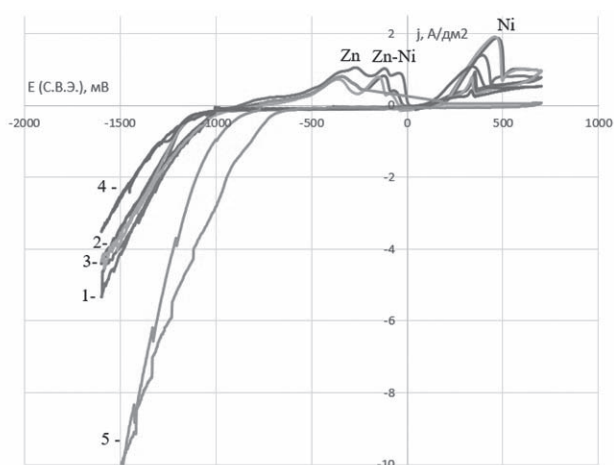


**Рис. 1.** Катодные поляризационные кривые осаждения сплавов цинк-никель при 50 °С из растворов оксалата аммония (0.704 моль/л), содержащих 0.042 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.084 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (1), 0.063 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.063 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (2), 0.084 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.042 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (3). Значения потенциала  $E$  указаны относительно стандартного водородного электрода

**Fig. 1.** Cathodic polarization curves for the electroplating of the zinc-nickel alloys at 50 °C from solutions of ammonium oxalate (0.704 mol/L) with 0.042 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.084 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (1), 0.063 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.063 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (2), 0.084 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.042 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (3). The potential values  $E$  are indicated vs standard hydrogen electrode

температуре на катоде с наименьшими затруднениями происходит разряд ионов цинка, а разряд ионов никеля идет с наибольшей поляризацией. На анодных ветвях зависимостей, полученных в электролитах 1–3, видны три ярко выраженных пика. Можно предположить, что первый пик соответствует растворению цинка, второй – растворению сплава, а третий – растворению никеля. Подтверждением этому служат циклические вольтамперные кривые, полученные в электролитах, содержащих только ионы никеля или цинка. Как видно из рис. 2, на анодной ветви кривой, полученной в электролите 4, присутствует только один пик в области потенциалов 300–400 мВ, соответствующий анодному окислению никеля, а в электролите 5 единственный пик, соответствующий растворению цинка, наблюдается при потенциале около –300 мВ.

Пики, наблюдающиеся в электролитах 1–3 в области потенциалов –300...–100 мВ, соответствуют растворению интерметаллических соединений  $\text{NiZn}$ ,  $\text{Ni}_3\text{Zn}_{21}$ , образование которых было обнаружено нами ранее методом рентгенодифракционного анализа [16]. При этом, в зависимости от соотношения концентраций разряжающихся ионов металлов в составе электролитов и режима электроосаждения сплавы  $\text{Zn-Ni}$  содержат от 3 до 17 атомных процентов  $\text{Ni}$ , остальное цинк, а также около 1.5% углерода [17]. Выход по току сплава  $\text{Zn-Ni}$  составляет от 70 до 75%.

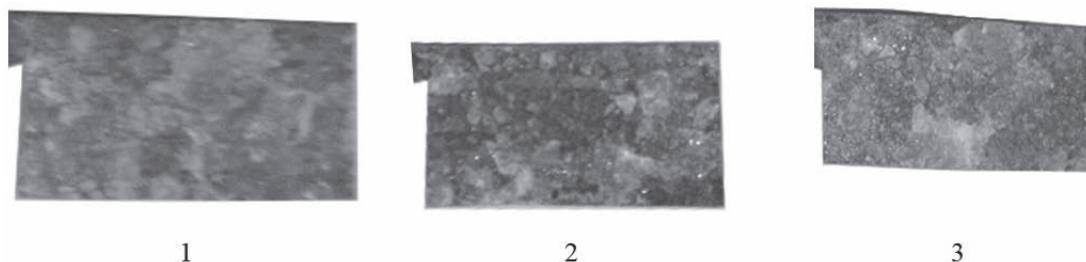


**Рис. 2.** Циклические вольтамперные кривые, полученные при 20 °С в растворах оксалата аммония (0.704 моль/л), содержащих 0.042 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.084 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (1), 0.063 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.063 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (2), 0.084 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.042 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (3), 0.063 моль/л  $\text{NiSO}_4$  (4), 0.063 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (5). Значения потенциалов указаны относительно стандартного водородного электрода

**Fig. 2.** Cyclic voltammograms obtained at 20 °C in electrolytes solutions of ammonium oxalate (0.704 mol/L) with 0.042 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.084 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (1), 0.063 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.063 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (2), 0.084 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.042 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (3), 0.063 mol/L  $\text{NiSO}_4$  (4), 0.063 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (5). The potential values  $E$  are indicated vs standard hydrogen electrode

Легирование цинковых покрытий никелем приводит к существенному изменению их физико-химических свойств. Микротвердость покрытий возрастает с увеличением содержания никеля в сплаве (6.29, 8.30 и 11.20 ГПа для электролитов 1, 2 и 3, соответственно). Мелкокристаллические цинк-никелевые сплавы, содержащие 15...17 ат. %  $\text{Ni}$ , обладают самой высокой микротвердостью по сравнению с другими полученными цинк-никелевыми покрытиями.

С увеличением содержания никеля в покрытии его потенциал смещается в область более положительных значений. Это приводит к уменьшению ЭДС коррозионного элемента и снижению коррозионного тока (рис.3). При малом легировании цинковых сплавов никелем при выдержке образцов в камере солевого тумана (рис.4) в течение 144 часов (соляной туман, 5% -й  $\text{NaCl}$ , 35 °С) наблюдалось образование на поверхности образцов белого налета. Во всем интервале полученных сплавов  $\text{Zn-Ni}$  коррозии основного металла – стали 08кп, на который было осаждено покрытие, за указанный период не наблюдалось. При более высоком легировании цинковых сплавов никелем было обнаружено уменьшение количества белого налета на поверхности образцов, особенно в случае получения высоколегированных покрытий. Коррозионные поражения наблюдались только вблизи поверхности ножки



**Рис. 4.** Фотографии образцов (1×2 см) цинк-никелевых покрытий, осажденных из растворов оксалата аммония (0.704 моль/л), содержащих 0.042 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.084 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (1), 0.063 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.063 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (2), 0.084 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.042 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (3), после коррозионных испытаний в камере солевого тумана (соляной туман, 5%-ный NaCl, 35 °C, 144 ч)

**Fig. 4.** Images of the samples (1×2 cm) of the zinc-nickel coatings plated from solutions of ammonium oxalate (0.704 mol/L) with 0.042 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.084 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (1), 0.063 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.063 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (2), 0.084 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.042 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (3), after corrosion tests in a salt spray chamber (salt spray atmosphere, 5% NaCl, 35 °C, 144 h)

стального образца, которая не была защищена покрытием. Высокая коррозионная стойкость покрытий, осаждаемых из оксалатно-аммонийных электролитов, по-видимому, объясняется образованием интерметаллических соединений  $\text{NiZn}$  и  $\text{Ni}_3\text{Zn}_{21}$  [16].

### Заключение

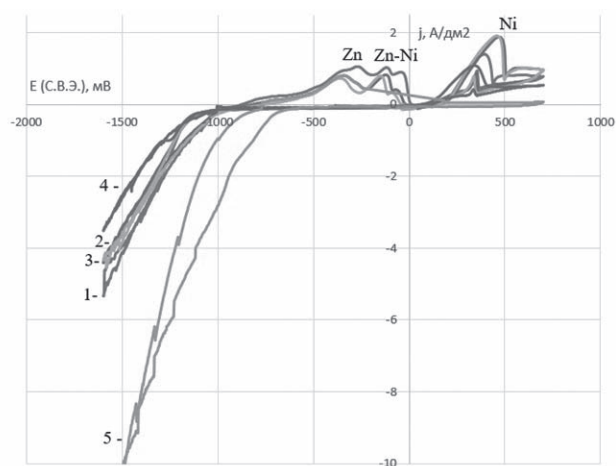
Исследование процессов электроосаждения сплава цинк-никель показало, что из оксалатно-аммонийных электролитов возможно получение качественных осадков сплавов в интервале плотностей тока от 1 до 3 А/дм<sup>2</sup>. Осаждаемые покрытия получают равномерные, имеющие хорошее сцепление с основным металлом. Увеличением содержания никеля в покрытии приводит к уменьшению ЭДС коррозионного элемента и снижению плотности коррозионного тока. Введение в состав электролита оксалата аммония способствует снижению скорости коррозии покрытий Zn-Ni при сохранении ими анодного характера защиты стали, а также снижение экологической нагрузки на очистку сточных вод за счёт уменьшения токсичности и концентрации компонентов рабочего раствора.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания на выполнение НИР (Тема № FZZW-2020-0010). Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

### Литература

1. Окулов В. В. Цинкование. Техника и технология. М.: Глобус, 2008. 252 с.
2. Винокуров Е.Г., Бондарь В.В. Модельные представления для описания и прогнозирования электроосаждения сплавов. М.: ВИНТИ РАН, 2009. 164 с.



**Рис. 3.** Коррозионные диаграммы образцов цинк-никелевых сплавов, полученных из оксалатных электролитов: 1-3 – анодные кривые сплавов, осажденных из соответствующих растворов оксалата аммония (0.704 моль/л), содержащих 0.042 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.084 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (1); 0.063 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.063 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (2); 0.084 моль/л  $\text{NiSO}_4$  и 0.042 моль/л  $\text{ZnSO}_4$  (3); 4 – катодная кривая на стальном электроде. Условия коррозионных испытаний: 3%-ный NaCl, 25 °C, 20 мин.

**Fig. 3.** Corrosion diagrams of the samples of the zinc-nickel alloys plated from the oxalate electrolytes: 1-3 are anodic curves of the alloys plated from the corresponding solutions of ammonium oxalate (0.704 mol/L) with 0.042 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.084 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (1), 0.063 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.063 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (2), 0.084 mol/L  $\text{NiSO}_4$  and 0.042 mol/L  $\text{ZnSO}_4$  (3); 4 is a cathodic curve at the steel electrode. Conditions for the corrosion tests: 3% NaCl, 25 °C, 20 min

### References

1. Okulov V.V. Tsinkovaniye. Tekhnika i tekhnologiya. [Zinc Plating. Equipment and Technology]. Moscow, Globus, 2008. 252 p. (in Russian)
2. Vinokurov E.G. and Bondar V.V. Model'nye predstavleniya dlya opisaniya i prognozirovaniya elektroosazhdeniya splavov [Model Concepts for Describing and Prognosticating the

3. Ortiz-Aparicio J.L., Meas Y., Trejo G., Ortega R., Chapman T. W., Chainet E., Ozil P. Effect of aromatic aldehydes on the electrodeposition of ZnCo alloy from cyanide-free alkaline-gluconate electrolytes // *Journal of Applied Electrochemistry*. 2011. V. 41. P. 669 – 679. doi: 10.1007/s10800-011-0279-y.
4. Hammami O., Dhouibi L., Bercot P., Rezrazi E. A., Triki E. Effect of diethanlamine and triethanolamine on the properties of electroplated Zn-Ni alloy coatings from acid bath // *Can. J. Chem. Eng.* 2013. V. 91. P. 19 – 26. doi: 10.1002/cjce.21627.
5. Kahoul A., Azizi F., Bouaoud M. Effect of citrate additive on the electrodeposition and corrosion behaviour of Zn-Co alloy // *Trans. IMF*. 2017. V. 95, № 2. P. 106 – 113. doi: 10.1080/00202967.2017.1265766.
6. Ченцова Е.В., Почкина С.Ю., Соловьева Н.Д., Лопухова М.И. Кинетика электроосаждения сплава цинк-никель из сульфатно-глицинатного электролита // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. 2019. Т. 62, № 4. С. 128 – 134. doi: 10.6060/ivkkt.20196204.5833.
7. Гридчин С.Н., Шеханов Р.Ф. Образование и катодное восстановление комплексов таурина с цинком и кобальтом(II) // *Журнал прикладной химии*. 2019. Т. 92, № 9. С. 1162 – 1169. doi: 10.1134/S107042721909009X.
8. Гридчин С.Н., Шеханов Р.Ф., Балмасов А.В. Образование и катодное восстановление комплексов таурина с цинком и никелем(II) // *Физикохимия поверхности и защита материалов*. 2020. Т. 56, № 2. С. 186 – 191. doi: 10.1134/s2070205120020070.
9. Мухаметова Г.М., Винокуров Е.Г., Бурухина Т.Ф., Васильев В.В., Скопинцев В.Д. Многокритериальная оптимизация состава раствора комплексных соединений никеля с глицином и янтарной кислотой для химического осаждения сплава Ni-P // *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*. 2021. Т. 64, № 5. С. 88 – 97. doi: 10.6060/ivkkt.20216405.6359. (in Russian)
10. Винокуров Е.Г., Гридчин С.Н., Мухаметова Г.М., Скопинцев В.Д., Бурухина Т.Ф. Протонированный комплекс бис-глицин никеля – эффективный прекурсор для химического осаждения сплава никель-фосфор // *Теоретические основы химической технологии*. 2021. Т. 55, № 5. С. 567 – 577. doi: 10.31857/S0040357121040163.
11. Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В. Электроосаждение сплавов цинк-кобальт из оксалатных электролитов // *Физикохимия электроосаждения сплавов*. Moscow, VINITI Ross. Akad. Nauk, 2009. 164 p. (in Russian).
12. Ortiz-Aparicio J.L., Meas Y., Trejo G., Ortega R., Chapman T. W., Chainet E., Ozil P. Effect of aromatic aldehydes on the electrodeposition of ZnCo alloy from cyanide-free alkaline-gluconate electrolytes. *Journal of Applied Electrochemistry*, 2011, vol. 41, pp. 669 – 679. doi: 10.1007/s10800-011-0279-y.
13. Hammami O., Dhouibi L., Bercot P., Rezrazi E. A., Triki E. Effect of diethanlamine and triethanolamine on the properties of electroplated Zn-Ni alloy coatings from acid bath // *Can. J. Chem. Eng.*, 2013, vol. 91, pp. 19 – 26. doi: 10.1002/cjce.21627.
14. Kahoul A., Azizi F., Bouaoud M. Effect of citrate additive on the electrodeposition and corrosion behaviour of Zn-Co alloy. *Trans. IMF*, 2017, vol. 95, no. 2, pp. 106 – 113. doi: 10.1080/00202967.2017.1265766.
15. Chentsova E.V., Pochkina S.Yu., Solovyova N.D., Lopukhova M.I. Kinetics of electrodeposition of zinc-nickel alloy from sulfate-glycinate electrolyte. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.*, 2019, vol. 62, no. 4, pp. 128 – 134. doi: 10.6060/ivkkt.20196204.5833.
16. Gridchin S.N., Shekhanov R.F. Formation and cathodic reduction of taurine complexes with zinc and cobalt(II). *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2019, vol. 92, no. 9. p. 1244 – 1250. doi: 10.1134/S107042721909009X.
17. Gridchin S.N., Shekhanov R.F., Balmasov A.V. Formation and cathodic reduction of taurine complexes with zinc and nickel(II). *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2020, vol. 56, no. 2. pp. 363 – 368. doi: 10.1134/s2070205120020070.
18. Mukhametova G.M., Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Vasil'ev V.V., Skopintsev V.D. Mnogokritetial'naya optimizatsiya sostava rastvora kompleksnykh soedineniy nikelya s gliitsinom I yantarnoy kislotoy dlya khimicheskogo jsazhdeniya splava Ni-P [Multi-objective optimization of solution's composition on the base of nickel complexes with glycine and succinic acid for electroless deposition of Ni-P alloy]. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*, 2021, vol. 64, no. 5, pp. 88 – 97. doi: 10.6060/ivkkt.20216405.6359. (in Russian)
19. Vinokurov E.G., Gridchin S.N., Mukhametova G.M., Skopintsev V.D., Burukhina T.F. Protonated Nickel Bis-Glycine Chelate: Effective Precursor for Electroless Deposition of Nickel-Phosphorus Alloy. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2021, vol. 55, no. 5. P. 870 – 879. doi: 10.1134/S0040579521040345.
20. Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V. Electroplating of zinc-cobalt alloys from oxalate electrolytes. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2017, vol. 53, no. 3, pp. 483 – 487. doi: 10.1134/s2070205117030224.
21. Shekhanov R.F., Gridchin S.N. Elektroosazhdenie pokrytiy tsink-zhelezo iz rastvorov oksalata ammoniya [Electrodeposition

верхности и защита материалов. 2017. Т. 53, № 3. С. 316 – 320. doi: 10.1134/s2070205117030224.

12. Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н. Электроосаждение покрытий цинк-железо из растворов оксалата аммония // Гальванотехника и обработка поверхности. 2021. Т. 29, № 2. С. 19 – 24. doi: 10.47188/0869-5326\_2021\_29\_2\_19.

13. Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В., Мокрецов Н.Е. Оксалатно-аммонийные электролиты для электроосаждения сплавов цинк-железо // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2021. Т. 64, № 10. С. 72. – 77. doi: 10.6060/ivkkt.20216410.6449.

14. Бахчисарайцян Н.Г., Борисоглебский Ю.В., Буркат Г.К. Практикум по прикладной электрохимии. Л.: Химия, 1990. 304 с.

15. Розенфельд И.Л. Коррозия и защита металлов. М.: Металлургия, 1969. 448 с.

16. Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В., Румянцева К.Е. Электроосаждение сплавов цинк-никель из оксалатно-сульфатных электролитов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2015. Т. 58, № 11. С. 54 – 57.

17. Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В. Электроосаждение сплавов цинк-никель из оксалатно-аммонийных электролитов // Электрохимия. 2018. Т. 54, № 4. С. 408 – 415. doi: 10.1134/s1023193518040079.

18. Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В. Электроосаждение цинк-никелевых покрытий из растворов оксалата аммония // Гальванотехника и обработка поверхности. 2019. Т. 27, № 1. С. 4 – 12. doi: 10.47188/0869-5326\_2019\_27\_1\_4

19. Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В. Электроосаждение сплавов цинк-никель из оксалатно-аммонийных электролитов // Журнал физической химии. 2022. Т. 96, № 6. С. 811 – 815. doi: 10.31857/S0044453722060255.

20. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. М.: Альянс, Москва, 2013. 448 с.

of zinc-iron coatings from ammonium oxalate baths]. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*, 2021, vol. 29, no. 2, pp. 19 – 24. doi: 10.47188/0869-5326\_2021\_29\_2\_19. (in Russian)

13. Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V., Mokretsov N.E. Oksalatno-ammoniyne elektrolity dlya elektroosazhdeniya splavov zink-zhelezo [Ammonium oxalate electrolytes for electrodeposition of zinc-iron alloys]. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*, 2021, vol. 64, no. 10, pp. 72 – 77. doi: 10.6060/ivkkt.20216410.6449. (in Russian)

14. Bahchisarajtsyan N.G., Borisoglebskiy J.V., Burkat G.K. Praktikum poprikladnoy elektrokhemii [Practicum in applied electrochemistry]. Leningrad, Khimiya, 1990. 304 p. (in Russian)

15. Rozenfel'd I.L. Korroziya i zastschita metallov [Corrosion and Protection of Metals]. Moscow, Metallurgiya, 1969. 448 p. (in Russian)

16. Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V., Rumyantseva K.E. Elektroosazhdeniye splavov zink-nikel iz oksalatno-sulfatnykh elektrolitov [Electrodeposition of zinc-nickel alloys from ammonium oxalate electrolytes] // *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.*, 2015, V. 58, no. 11. pp. 54 – 57. (in Russian)

17. Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V. Electrodeposition of zinc-nickel alloys from ammonium oxalate electrolytes. *Russian Journal of Electrochemistry*, 2018, vol. 54, no. 4, pp. 355 – 362. doi: 10.1134/s1023193518040079.

18. Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V. Elektroosazhdenie tsink-nikelevykh pokrytiy iz rastvorov oksalata ammoniya [Electrodeposition of Zn-Ni Coatings from Ammonium Oxalate Bath]. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*, 2019, vol. 27, no. 1, pp. 4 – 12. doi: 10.47188/0869-5326\_2019\_27\_1\_4. (in Russian)

19. Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V. Electrodeposition of zinc-nickel alloys from oxalate-ammonium electrolytes. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2022, vol. 96. No. 6. P. 1174 – 1179. doi: 10.1134/S0036024422060243.

20. Lur'e Yu.Yu. Spravochnik po analiticheskoy khimii [Handbook of Analytical Chemistry]. Moscow, Al'yans, 2013. 448 p. (in Russian)

#### Сведения об авторах

**Шеханов Руслан Феликсович** – д.т.н., профессор кафедры технологии керамики и электрохимических производств, e-mail: ruslanfelix@yandex.ru (автор, ответственный за переписку)

**Гридчин Сергей Николаевич** – к.х.н., старший научный сотрудник кафедры аналитической химии, e-mail: sergei\_gridchin@mail.ru

#### Для цитирования

Р. Ф. Шеханов, С. Н. Гридчин. Электроосаждение сплавов цинк-никель из оксалатно-аммонийных электролитов // Гальванотехника и обработка поверхности. 2023. Т. 31, № 1. С. 13-18.

DOI: 10.47188/0869-5326\_2023\_31\_1\_13

#### Information about authors

**Shekhanov Ruslan F.** – D.Sc., Professor of department of technologies ceramics and electrochemical productions; e-mail: ruslanfelix@yandex.ru

**Gridchin Sergei N.** – Ph.D., Senior researcher of department of analytical chemistry, e-mail: sergei\_gridchin@mail.ru

#### For citation

R. F. Shekhanov, S. N. Gridchin. Electrodeposition of zinc-nickel alloys from ammonium oxalate electrolytes. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*, 2023. vol. 31, no. 1, pp. 13-18.

DOI: 10.47188/0869-5326\_2023\_31\_1\_13