

**АКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТИ****Р.Ф. Шеханов, С.Н. Гридчин, И.В. Братков, Т.В. Ершова, М.Г. Донцов**

Руслан Феликсович Шеханов (ORCID 0000-0002-2317-5327), Илья Викторович Братков (ORCID 0000-0002-2112-0824)\*, Максим Геннадьевич Донцов (ORCID 0000-0001-6408-6542), Татьяна Вениаминовна Ершова (ORCID 0000-0002-5350-8209)

Кафедра технологии керамики и электрохимических производств, Ивановского государственного химико-технологического университета, Шереметевский просп., 7, Иваново, Российская Федерация, 153000  
E-mail: ruslanfelix@yandex.ru, bratkov37@bk.ru\*, maxdon79@yandex.ru, tanya.ersh@yandex.ru

Сергей Николаевич Гридчин (ORCID 0000-0001-8612-7704)

Кафедра аналитической химии, Ивановского государственного химико-технологического университета, Шереметевский просп., 7, Иваново, Российская Федерация, 153000  
E-mail: sergei\_gridchin@mail.ru

*В данной работе отражены основные направления развития кафедры ТКиЭП в области электрохимических технологий за последние годы. Приведены исследования методов электрохимической обработки материалов с целью придания им новых функциональных свойств. Описаны экспериментальные данные по получению коррозионно-стойких покрытий на основе сплавов Zn-Ni и Zn-Co из оксалатно-аммонийных электролитов и исследованию их защитных свойств. Рассмотрены вопросы электрохимического получения углеродных наноматериалов путем анодного диспергирования графита в сернокислых электролитах. Установлено влияние дисперсной фазы электрохимически диспергированного графита на электроосаждение олова из сульфатных и станнатных электролитов. Исследовано влияние добавки на старение оловянных покрытий и их способность к паяемости. Приведены данные о влиянии хлорид-ионов в растворе химического полирования латуни на паяемость.*

**Ключевые слова:** обработка поверхности, электроосаждение, сплавы, паяемость, анодно диспергированный графит, анодная обработка

**ACTUAL METHODS OF ELECTROCHEMICAL SURFACE TREATMENT****R.F. Shekhanov, S.N. Gridchin, I.V. Bratkov, T.V. Ershova, M.G. Dontsov**

Ruslan F. Shekhanov (ORCID 0000-0002-2317-5327), Ilya V. Bratkov (ORCID 0000-0002-2112-0824)\*, Maxim G. Dontsov (ORCID 0000-0001-6408-6542), Tatiana V. Ershova (ORCID 0000-0002-5350-8209)

Department of Ceramics Technologies and Electrochemical Production, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia  
E-mail: ruslanfelix@yandex.ru, bratkov37@bk.ru\*, max-don79@yandex.ru, tanya.ersh@yandex.ru

Sergey N. Gridchin (ORCID 0000-0001-8612-7704),

Department of Ceramics Technologies and Electrochemical Production, Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Sheremetevskiy ave., 7, Ivanovo, 153000, Russia  
E-mail: sergei\_gridchin@mail.ru

*In this work, we have studied the methods of electrochemical processing of materials in order to give them new functional properties. Experimental data on the production of corrosion-resistant coatings based on Zn-Ni and Zn-Co alloys from ammonium oxalate electrolytes and the study of their protective properties are presented. The questions of electrochemical production of carbon nanomaterials by anodic exfoliation of graphite in sulfuric acid electrolytes are considered. The influence of the dispersed phase of electrochemically exfoliated graphite on the electro-deposition of tin from sulfate and stannate electrolytes has been established. The influence of the additive on the aging of tin coatings and their ability to solderability was studied. Data are given on the effect of chloride ions in a solution of chemical polishing of brass on solderability.*

**Key words:** surface treatment, electroplating, alloys, solderability, exfoliated graphite, anodic treatment

**Для цитирования:**

Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Братков И.В., Ершова Т.В., Донцов М.Г. Актуальные методы электрохимической обработки поверхности. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 151–158. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6841j.

**For citation:**

Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Bratkov I.V., Ershova T.V., Dontsov M.G. Actual methods of electrochemical surface treatment. *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2023. V. 66. N 7. P. 151–158. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6841j.

За многолетнюю историю развития кафедры ее сотрудники, ученые-электрохимики, сформировали несколько научных направлений: электрохимические методы получения многокомпонентных сплавов из полилигандных электролитов, химико-гальванические способы обработки неметаллов с целью получения наноматериалов и электродных материалов современных химических источников тока. Далее, хотелось бы более подробно остановиться на каждом направлении.

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 нанесения защитных покрытий 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 металлами подгруппы железа [11-15]. Целью настоящей работы является исследование процессов осаждения из оксалатно-аммонийных электролитов гальванических сплавов цинк-никель и цинк-кобальт.

Электроосаждение сплава цинк-никель из оксалатно-аммонийных электролитов (табл. 1) протекает с большой катодной поляризацией (рис. 1), способствующей получению качественных мелкокристаллических покрытий.

**Таблица 1**

**Составы электролитов и свойства осаждаемых сплавов цинк – никель, (pH 5,6-6,8, T=20-50 °C)  
Table 1. Compositions of electrolytes and properties of deposited zinc–nickel alloys, (pH 5.6-6.8, T=20-50 °C)**

Содержание, г/л	A1	A2	A3	A4	A5
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	100	100	100	100	100
NiSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	12	18	24	18	0
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	24	18	12	0	18
Содержание никеля в сплаве (осаждаемом при катодной плотности тока 1 А/дм <sup>2</sup> )	3,5±0,5	12,5±0,4	15,3±0,4	100	0
Микротвердость, МПа	6290	8300	11200		
Плотность тока коррозии, мА/см <sup>2</sup>	0,27	0,22	0,19		

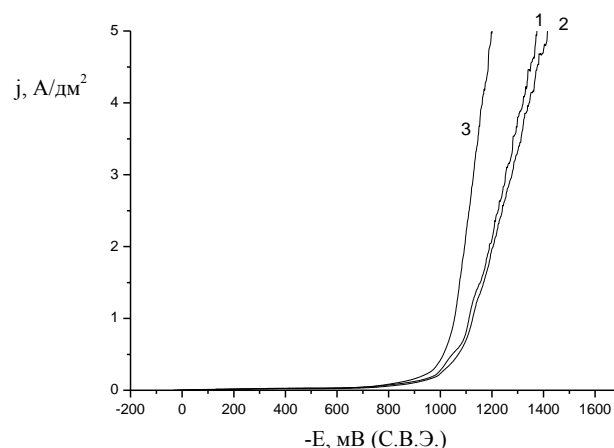


Рис. 1. Катодные поляризационные кривые осаждения сплавов цинк-никель из электролитов А1-А3 при 50 °C  
Fig. 1. Cathode polarization curves of deposition of zinc-nickel alloys from A1-A3 electrolytes at 50 °C

Исследование кинетики электрохимических процессов методом циклической вольтамперометрии, результаты которых представлены на рис. 2, показали, что при комнатной температуре на катоде с наименьшими затруднениями происходит разряд ионов цинка, а разряд ионов никеля идет с наибольшей поляризацией.

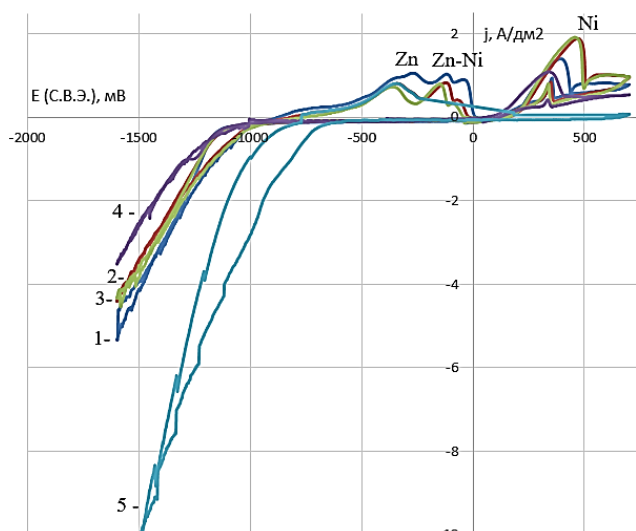


Рис. 2. Циклические вольтамперные кривые, полученные в электролитах А1–А5 при 20 °С  
Fig. 2. Cyclic voltage curves obtained in electrolytes А1–А5 at 20 °С

На анодных ветвях зависимостей, полученных в электролитах А1–А3, 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

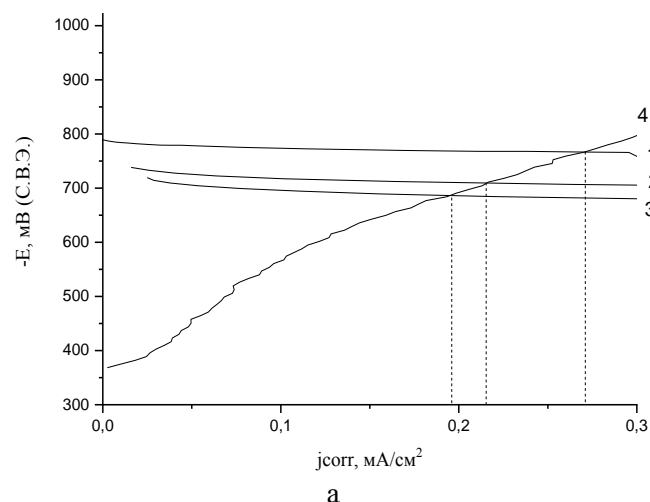


Рис. 3. Коррозионные диаграммы образцов цинк-никелевых (А) и цинк-кобальтовых (Б) сплавов, полученных из оксалатных электролитов. Раствор 3% NaCl. T=25 °С. 1-3 – анодные кривые сплавов, осажденных из соответствующих электролитов (А1-А3 и Б1-Б3). 4 – катодная кривая на стальном электроде

Fig. 3. Corrosion diagrams of samples of zinc-nickel (A) and zinc-cobalt (B) alloys obtained from oxalate electrolytes. A solution of 3% NaCl. T=25 °С. 1-3 – anode curves of alloys deposited from the corresponding electrolytes (A1-A3 and B1-B3). 4 - cathode curve on a steel electrode

Пики, наблюдающиеся в электролитах А1–А3 в области потенциалов –300...–100 мВ, соответствуют растворению интерметаллических соединений NiZn, Ni<sub>5</sub>Zn<sub>21</sub>, образование которых бы-

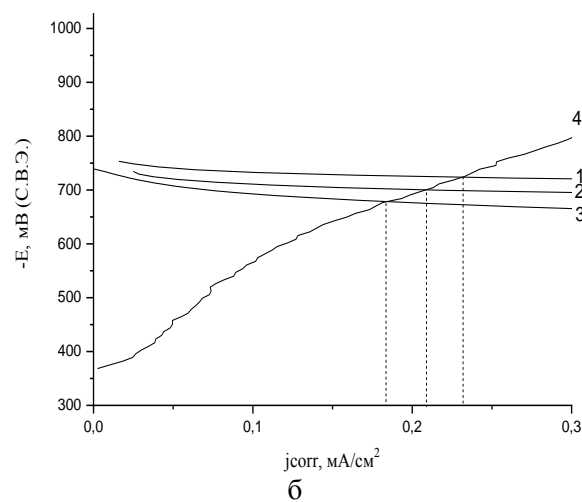
или цинка. Как видно из рис. 2, на анодной ветви кривой, полученной в электролите А4, присутствует только один пик в области потенциалов 300–400 мВ, соответствующий анодному окислению никеля, а в электролите А5 единственный пик, соответствующий растворению цинка, наблюдается при потенциале около –300 мВ.

Таблица 2

Составы электролитов и свойства осаждаемых сплавов цинк – кобальт, (pH 6,1, T=40-50 °С)

Table 2. Compositions of electrolytes and properties of deposited zinc-cobalt alloys, (pH 6.1, T=40-50 °С)

Содержание, г/л	Б1	Б2	Б3
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	100	100	100
CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	12	18	24
ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	24	18	12
Содержание кобальта в сплаве (осаждаемом при катодной плотности тока 1 А/дм <sup>2</sup> )	3,8±0,2	8,0±0,4	12,0±0,5
Микротвердость, МПа	4145	4214	4381
Плотность тока коррозии, мА/см <sup>2</sup>	0,23	0,21	0,18



ло обнаружено нами ранее методом рентгенодифракционного анализа [12]. При этом, в зависимости от соотношения концентраций разряжающихся ионов металлов в составе электролитов, ука-

занных в табл. 1, и режима электроосаждения сплавы Zn-Ni содержат от 3 до 16 ат.% Ni, остальное цинк, а также около 1,5% углерода [12].

Легирование цинковых покрытий никелем приводит к существенному изменению их физико-химических свойств. Микротвердость покрытий возрастает с увеличением содержания никеля в сплаве. Мелкокристаллические цинк-никелевые сплавы, содержащие 15...16 ат. % Ni, обладают самой высокой микротвердостью по сравнению с другими полученными цинк-никелевыми покрытиями.

С увеличением содержания никеля или кобальта (табл. 1, 2) 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 и кобальтом при выдержке образцов в камере солевого тумана в течение 144 ч (соляной туман, 5% -й NaCl, 35 °С) наблюдалось образование на поверхности образцов белого налета. Доля поверхности, покрытой белым налетом, при переходе от сплавов олово-никель к сплавам олово-кобальт уменьшается с 60 до 40%. Во всем интервале полученных сплавов Zn-Ni и Zn-Co коррозии основного металла – стали 08кп, на который было осаждено покрытие, за указанный период не наблюдалось. При более высоком легировании цинковых сплавов никелем и кобальтом было обнаружено уменьшение количества белого налета на поверхности образцов, особенно в случае получения высоколегированных покрытий. Коррозионные поражения наблюдались только вблизи поверхности ножки стального образца, которая не была защищена покрытием. Сравнивая коррозионное поведение цинк-никелевых и цинк-кобальтовых покрытий, можно сделать вывод, что цинк-кобальтовые сплавы несколько лучше противостоят коррозии, чем цинк-никелевые покрытия. Вероятно, лучшие защитные свойства цинк-кобальтовых покрытий связаны с несколько меньшей ЭДС между цинк-кобальтовыми покрытиями и сталью (рис. 3), по сравнению с цинк-никелевыми покрытиями, а также с особой, лепестковой плотноупакованной структурой цинк-кобальтовых сплавов.

Другим направлением исследований является получение композиционных электрохимических покрытий на основе металлической матрицы с углеродными наноматериалами в качестве дисперсной фазы [16-17]. Было установлено, что введение в электролит углеродных наноматериалов оказывает значительное влияние как на процесс осаждения покрытия, так и на его свойства. Так

добавка оксида графена приводит к смещению равновесного потенциала осаждаемого покрытия и нелинейно влияет на вид поляризационной кривой. В небольших количествах, до 0,5 г/л, введение оксида графена приводит к увеличению перенапряжения при осаждении металлов. При дальнейшем увеличении концентрации дисперсной фазы происходит облегчение восстановления осаждаемого металла. Также отмечены общие тенденции влияния фазы оксида графена на свойства цинковых, никелевых и оловянных покрытий. Снижается средний размер зерен металла, текстурированность кристаллической структуры осадка, несколько увеличивается коррозионная стойкость покрытий. Для никелевых покрытий отмечается существенный рост микротвердости, а для оловянных растет способность к паяемости и стойкость к оловянной чуме.

Значительную роль при получении композиционных покрытий играют функциональные свойства дисперсной фазы и способы ее получения. Ранее были исследованы различные способы получения углеродных наноматериалов: механохимические, сонохимические и электрохимические [18-19].

В ходе проведенных исследований был сделан вывод, что наиболее предпочтительным способом получения наноматериалов на основе графеновых структур, пригодных для получения композиционных покрытий, является сочетание методов электрохимического и сонохимического диспергирования. Такое сочетание позволяет сократить использование агрессивных минеральных кислот и окислителей, значительно повысить производительность процесса. Наиболее важным при этом является стадия анодного диспергирования графита, поскольку позволяет управлять свойствами получаемого материала как дисперсностью частиц, так и степенью окисления их поверхности.

Условия протекания процесса анодного диспергирования графита могут быть различными. Для осуществления процесса были выбраны водные электролиты серной кислоты (0,5 М, 1,0 М). Важным условием является наличие воды в электролите, которая способствует образованию в процессе электролиза кислорода, создающего на поверхности частиц графита функциональные кислородсодержащие группы.

Согласно данным рентгенофазового анализа, при электрохимическом диспергировании наблюдается снижение интегральной интенсивности дифракционного пика плоскости 002, а также образование фазы оксида графена (угол  $2\Theta = 12^\circ$ ). Основной дифракционный максимум, соответ-

ствующий кристаллографической плоскости (002), не соответствует нормальному распределению Гаусса, а состоит из нескольких слагаемых. С помощью распределения Фойгхта провели разложение пика на составляющие (рис. 4).

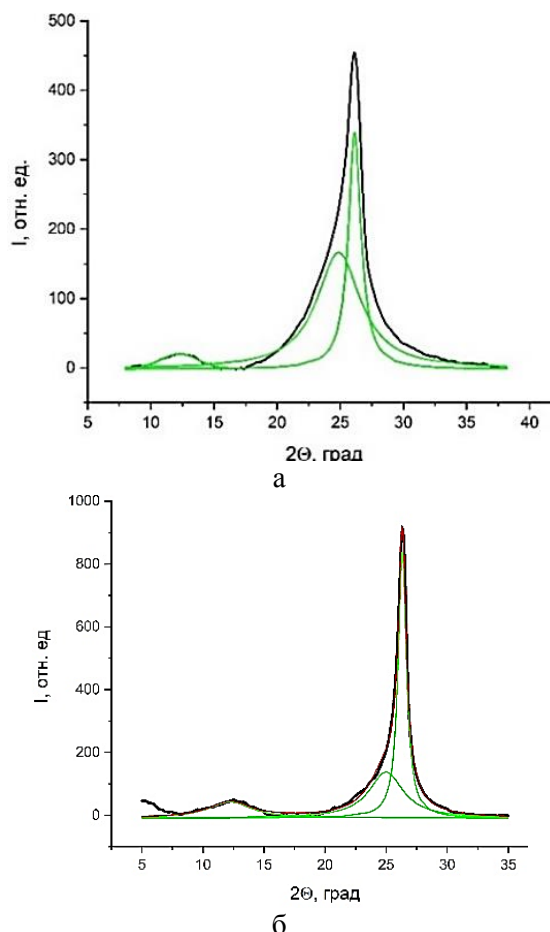


Рис. 4. Разложение дифракционного максимума полученных рентгенограмм методом Фойгхта: а) диспергированный в 1,0 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, б) диспергированный в 0,5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
 Fig. 4. Decomposition of the diffraction maximum of the obtained radiographs by the Voigt method: а) dispersed in 1.0 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, б) dispersed in 0.5 M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Основной дифракционный максимум содержит 2 теоретических пика, соответствующих фазе многослойного графена (МСГ) и дефектного графита (ДГ), исходя из соотношения интегральной площади пиков можно сделать вывод о содержании фаз в образце (табл. 3).

Из полученных данных видно, что при увеличении концентрации электролита повышается доля фазы многослойного графена за счет более полного расслоения кристаллитов и снижения доли оксида графена. Расчет параметров кристаллической структуры показал, что наиболее сильное диспергирование наблюдается при использовании растворов 1,0 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, при этом образуются наночастицы со средней толщиной 2,5 нм. Даль-

нейшее увеличение концентрации рабочего электролита нецелесообразно, т.к. приведет к сильному нарушению структуры графена.

Таблица 3

Рентгенофазовый анализ образцов графита  
 Table 3. X-ray phase analysis of graphite samples

Образец	Фаза	$d_{hkl}$ , нм	$D_{окр}$ , нм	$N_{сл}$	Содержание фазы, %
Исходный	графит	0,3355	25,00	74,5	100
диспергированный в 0,5 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ОГ	0,7243	2,08	2,9	14,1
	МСГ	0,3559	2,65	7,5	36,4
	ДГ	0,3382	11,54	11,5	49,5
диспергированный в 1,0 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ОГ	0,7213	2,56	3,6	4,4
	МСГ	0,3577	2,12	5,9	58,8
	ДГ	0,3405	7,48	22,0	36,8

На стабильность получаемых растворов, а также выход наночастиц большое влияние оказывают поверхностные функциональные группы (ПФГ), обуславливающие значение электрокинетического потенциала поверхности и взаимодействие наночастиц с дисперсионной средой. Наиболее распространенным методом определения состава и концентрации ПФГ углеродных материалов является метод кислотно-основного титрования по Бозму. Результаты анализа приведены в табл. 4.

Таблица 4

Состав и концентрация поверхностных функциональных групп образцов ЭДГ  
 Table 4. Composition and concentration of surface functional groups of EDG samples

Образец	Концентрация функциональной группы, ммоль/г			
	карбоксильные	лактонные	фенольные	общая
диспергированный в 0,5 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,52	0,40	0,43	2,35
диспергированный в 1,0 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,36	0,69	0,70	2,75

Видно, что при использовании менее концентрированного рабочего электролита образуется большее количество слабых карбоксильных групп, в более концентрированном электролите увеличивается общая концентрация поверхностных групп за счет лактонных и фенольных групп. Это говорит о более сильном окислении поверхности, что должно благоприятствовать образованию водных суспензий наночастиц и повышению выхода наночастиц. Так при ультразвуковой обработке образца, полученного в 0,5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, выход наночастиц составил 23%, а в 1,0 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 28%. Стоит отметить, что карбоксильные группы

проявляют большой потенциал к взаимодействию с ионами металлов и повышают вероятность их включения в металлическую матрицу покрытия. Поэтому при получении композиционных электрохимических покрытий предпочтительнее использовать суспензии наночастиц в менее концентрированных растворах серной кислоты.

Так, полученные наночастицы были использованы для получения композиционных электрохимических покрытий (КЭП) на основе оловянной матрицы. Изучено влияние добавки электрохимически диспергированного графита (ЭДГ) на ход катодных поляризационных кривых в станнатных и сульфатных электролитах (рис. 5).

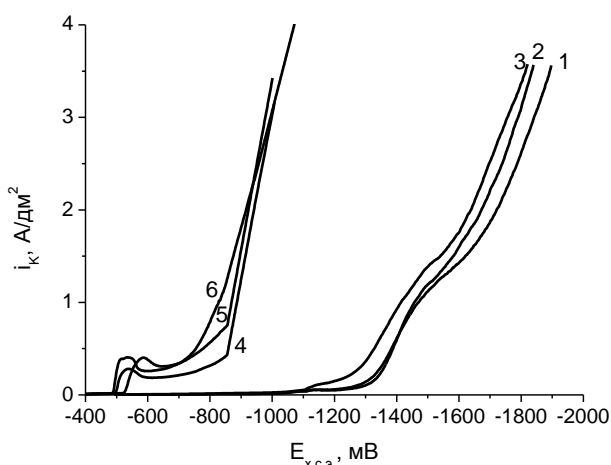


Рис. 5. Потенциодинамические катодные поляризационные кривые восстановления олова из исследуемых электролитов: 1) Станнатный электролит без добавок; 2) Станнатный электролит с добавкой 3 мг/л ЭДГ; 3) Станнатный электролит с добавкой 15 мг/л ЭДГ; 4) Сульфатный электролит без добавок; 5) Сульфатный электролит с добавкой 3 мг/л ЭДГ; 6) Сульфатный электролит с добавкой 15 мг/л ЭДГ. Скорость развертки потенциала 2,0 мВ/с

Fig. 5. Potentiodynamic cathode polarization curves of tin reduction from the studied electrolytes: 1) Stannate electrolyte without additives; 2) Stannate electrolyte with an additive of 3 mg/l EDG; 3) Stannate electrolyte with an additive of 15 mg/l EDG; 4) Sulfate electrolyte without additives; 5) Sulfate electrolyte with an additive of 3 mg/l EDG; 6) Sulfate electrolyte with an additive of 15 mg/l EDG. Potential sweep rate is 2.0 mV/s

Из представленных зависимостей видно, что введение дисперсной фазы в электролит приводит к изменению хода катодного процесса осаждения композиционного покрытия. Введение ЭДГ даже в незначительном количестве снижает значения катодной поляризации, облегчая процесс восстановления олова как при осаждении из станнатного электролита, так и из сульфатного электролита. Независимо от природы электролита, поляризация при катодном восстановлении олова уменьшается с ростом концентрации вводимой

дисперсной фазы. Можно предположить, что наночастицы ЭДГ, адсорбируясь на поверхности катода, не блокируют активную для восстановления олова поверхность, но напротив, являются активными центрами адсорбции и последующей кристаллизации олова.

Введение в электролит лужения добавок ЭДГ оказывает значительное влияние на морфологию осадка. При введении в электролит наночастиц ЭДГ происходит увеличение размеров зерен осаждаемого олова, что согласуется с поляризационными исследованиями. Введение наночастиц ЭДГ изменяет и кристаллическую структуру осадков олова (рис. 6).

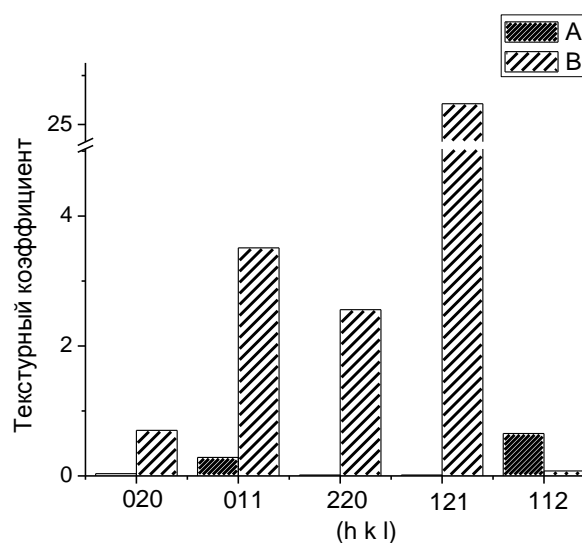


Рис. 6. Текстурная ориентация кристаллитов олова, осажденных из: А) сульфатного электролита без добавки ЭДГ; В) сульфатного электролита с добавкой 15 мг/мл ЭДГ  
Fig. 6. Textural orientation of tin crystallites deposited from: А) sulfate electrolyte without the addition of KDE; В) sulfate electrolyte with the addition of 15 mg/ml EDGAR

Адсорбция наночастиц на поверхности приводит к изменению поверхностной катодной энергии и увеличению роста кристаллов олова вдоль кристаллографических плоскостей (020), (011), (220) и (121).

Для КЭП, полученных из сульфатного электролита, оценено влияние добавки ЭДГ на сопротивляемость к β-α переходу и паяемости (табл. 5).

Таблица 5  
Способность оловянных покрытий к пайке  
Table 5. The ability of tin coatings to solder

Коэффициент растекания припоя, %	Без добавки	15 мг/л ЭДГ
до заморозки	95,3	98,4
после заморозки	94,9	98,2

Видно, что при введении наночастиц улучшается способность к пайке на 3,1%. Отмечено, что после заморозки образцов при -20 °С в течение 1 мес. способность к пайке снизилась на 0,4% для образца без добавки и на 0,2% для образцов с добавкой наночастиц.

Стоит отметить, что увеличить способность покрытий к пайке можно не только модификацией оловянных покрытий, но и с помощью химического и электрохимического полирования, широко применяемого для удаления заусенцев после механической штамповки и вырубки. Механизм сглаживания поверхности при химической обработке рассмотрен в работе [20].

В работе исследовано влияние хлорид-ионов в растворе химического полирования на паяемость и качественные показатели поверхности образцов из латуни Л60. Обезжиривание перед химическим полированием проводили NaOH = 80-100 г/л, Na<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Si = 10-15 г/л, t = 80 °С, время обработки 5 мин. Для химического полирования использовали раствор, содержащий NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 3,13 моль/л, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 12 моль/л и различное количество NH<sub>4</sub>Cl. Для пайки применяли 1 мл флюса, состоящего из 30% канифоли и 70% этилового спирта (98%), припой ПОС 61 массой 0,735 г. Пайка происходила на резистивном нагревателе, при температуре 240 °С. Для оценки качества пайки использовали критерии согласно ГОСТ 23904-79.

Установлено, что повышение концентрации хлорида аммония в растворе химического полирования снижает отражательную способность поверхности и приводит к растравливанию (табл. 6).

**Таблица 6**

**Качественные параметры поверхности латуни Л60 после химической обработки в растворе, содержащем NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 3,13 моль/л, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 12 моль/л, при температуре 20 °С в течение 10 мин при различном содержании NH<sub>4</sub>Cl**

**Table 6. Qualitative parameters of the surface of brass L60 after chemical treatment in a solution containing NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 3.13 mol/l, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 12 mol / l, at a temperature of 20 °C for 10 min with different NH<sub>4</sub>Cl content**

Концентрация NH <sub>4</sub> Cl, моль/л	Отражательная способность, %	Шероховатость Ra, мкм	Фото-ЭДС, мВ
0	66	0,61	0,2
0,09	45	0,61	0,2
0,19	42	0,66	0,2
0,37	13	0,81	-0,4
0,75	10	0,86	-0,5

Следует также отметить, что при содержании хлористого аммония 0,37 моль/л и выше в растворе формируется поверхностная пленка с электронным типом проводимости, характерным для оксида цинка.

Их данных, представленных в табл. 7, следует, что добавление хлорида аммония способствует увеличению площади растекания припоя. Максимальная площадь растекания и минимальный угол смачивания припоя наблюдаются на латуни, обработанной в растворе химического полирования с добавлением хлорида аммония 0,37 моль/л. Последующее увеличение содержания NH<sub>4</sub>Cl ведет к небольшому уменьшению площади растекания припоя, угла смачивания и фактора растекания.

**Таблица 7**

**Параметры паяемости латуни Л60 после химической обработки в растворе, содержащем NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 3,13 моль/л, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 12 моль/л, при температуре 20 °С в течение 10 мин при различном содержании NH<sub>4</sub>Cl**  
**Table 7. Solderability parameters of brass L60 after chemical treatment in a solution containing NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 3.13 mol/l, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 12 mol/L, at a temperature of 20 °C for 10 minutes with a different content of NH<sub>4</sub>Cl**

Концентрация NH <sub>4</sub> Cl, моль/л	Время растекания, с	Площадь растекания, мм <sup>2</sup>	Угол смачивания, градус	Фактор растекания, %
0	6,0 ± 2,0	10,1 ± 0,2	25 ± 2,0	88
0,09	8,0 ± 1,0	12,5 ± 0,2	21,6 ± 3,8	90
0,19	8,4 ± 1,0	28,1 ± 0,2	8,8 ± 3,1	96
0,37	11,0 ± 2	32,7 ± 0,2	5,8 ± 0,7	98
0,75	6,0 ± 1,0	32,1 ± 0,2	6,2 ± 0,5	97

*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).*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.*

*The work was carried out within the framework of the State task for the implementation of research (Subject No. FZZW-2020-0010). The study was carried out using the resources of the Center for the Collective Use of Scientific Equipment of the ISUCT (with the support of the Ministry of Education and Science of Russia, agreement No. 075-15-2021-671).*

*The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.*

ЛИТЕРАТУРА  
REFERENCES

1. **Окулов В.В.** Цинкование. Техника и технология. М.: Глобус. 2008. 252 с. **Okulov V.V.** Zinc Plating. Equipment and Technology. M.: Globus. 2008. 252 p. (in Russian).
2. **Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В.** // *Электрон. обраб. материалов*. 2016. Т. 52. № 2. С. 27. DOI: 10.3103/S1068375516020125. **Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V.** // *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* 2016. V. 52. N 2. P. 152. DOI: 10.3103/S1068375516020125.
3. **Шеханов Р.Ф.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2017. Т. 60. Вып. 10. С. 75. **Shekhanov R.F.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2017. V. 60. N 10. P. 75 (in Russian). DOI: 10.6060/tcct.20176010.5605.
4. **Шеханов Р.Ф., Кузьмин С.М., Балмасов А.В., Гридчин С.Н.** // *Электрохимия*. 2017. Т. 53. № 11. С. 1442. DOI: 10.7868/S0424857017110056. **Shekhanov R.F., Kuz'min S.M., Balmasov A.V., Gridchin S.N.** // *Russ. J. Electrochem.* 2017. V. 53. N 11. P. 1274–1280. DOI: 10.1134/S1023193517110131.
5. **Kahoul A., Azizi F., Bouaoud M.** // *Trans. IMF*. 2017. V. 95. N 2. P. 106. DOI: 10.1080/00202967.2017.1265766.
6. **Ченцова Е.В., Почкина С.Ю., Соловьева Н.Д., Лопухова М.И.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т. 62. Вып. 4. С. 128. **Chentsova E.V., Pochkina S.Yu., Solovyova N.D., Lopukhova M.I.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2019. V. 62. N 4. P. 128 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20196204.5833.
7. **Гридчин С.Н., Шеханов Р.Ф.** // *Журн. прикл. химии*. 2019. Т. 92. № 9. С. 1162. DOI: 10.1134/S107042721909009X. **Gridchin S.N., Shekhanov R.F.** // *Russ. J. Appl. Chemistry*. 2019. V. 92. N 9. P. 1244. DOI: 10.1134/S107042721909009X.
8. **Гридчин С.Н., Шеханов Р.Ф., Балмасов А.В.** // *Физикохимия поверхн. и защита матер.* 2020. Т. 56. № 2. С. 186. DOI: 10.1134/s2070205120020070. **Gridchin S.N., Shekhanov R.F., Balmasov A.V.** // *Protect. Metals Phys. Chem. Surf.* 2020. V. 56. N 2. P. 363-368. DOI: 10.1134/s2070205120020070.
9. **Мухаметова Г.М., Винокуров Е.Г., Бурухина Т.Ф., Васильев В.В., Скопинцев В.Д.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 5. С. 88. **Mukhametova G.M., Vinokurov E.G., Burukhina T.F., Vasil'ev V.V., Skopintsev V.D.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 5. P. 88 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216405.6359.
10. **Винокуров Е.Г., Гридчин С.Н., Мухаметова Г.М., Скопинцев В.Д., Бурухина Т.Ф.** // *Теор. основы хим. технол.* 2021. Т. 55. № 5. С. 567. DOI: 10.31857/S0040357121040163. **Vinokurov E.G., Gridchin S.N., Mukhametova G.M., Skopintsev V.D., Burukhina T.F.** // *Theor. Found. Chem. Eng.* 2021. V. 55. N 5. P. 870. DOI: 10.1134/S0040357121040345.
11. **Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В.** // *Физикохимия поверхн. и защита матер.* 2017. Т. 53. № 3. С. 316. DOI: 10.1134/s2070205117030224. **Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V.** // *Protect. Metals Phys. Chem. Surf.* 2017. V. 53. N 3. P. 483. DOI: 10.1134/s2070205117030224.
12. **Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В.** // *Электрохимия*. 2018. Т. 54. № 4. С. 408. DOI: 10.1134/s1023193518040079. **Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V.** // *Russ. J. Electrochem.* 2018. V. 54. N 4. P. 355. DOI: 10.1134/s1023193518040079.
13. **Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В.** // *Электрон. обраб. материалов*. 2020. Т. 56. № 2. С. 9. DOI: 10.5281/zenodo.374782. **Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V.** // *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* 2020. V. 56. N 4. P. 427. DOI: 10.3103/S1068375520040146.
14. **Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В., Мокрецов Н.Е.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2021. Т. 64. Вып. 10. С. 72. **Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V., Mokretsov N.E.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2021. V. 64. N 10. P. 72 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20216410.6449.
15. **Шеханов Р.Ф., Гридчин С.Н., Балмасов А.В.** // *Журн. физ. химии*. 2022. Т. 96. № 6. С. 811. DOI: 10.31857/S0044453722060255. **Shekhanov R.F., Gridchin S.N., Balmasov A.V.** // *Russ. J. Phys. Chem. A*. 2022. V. 96. N 6. P. 1174. DOI: 10.1134/S0036024422060243.
16. **Ершова Т.В., Юдина Т.Ф., Смирнов Н.Н., Бейлина Н.Ю., Братков И.В., Маянов Е.П.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2014. Т. 57. Вып. 5. С. 8-10. **Ershova T.V., Yudina T.F., Smirnov N.N., Beilina N.Yu., Bratkov I.V., Mayanov E.P.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2014. V. 57. N 5. P. 8-10 (in Russian).
17. **Братков И.В., Юдина Т.Ф., Мельников А.Г., Братков А.В.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2020. Т. 63. Вып. 8. С. 90-95. **Bratkov I.V., Yudina T.F., Melnikov A.G., Bratkov A.V.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2020. V. 63. N 8. P. 90-95 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20206308.6221.
18. **Смирнов Н.Н., Юдина Т.Ф., Ершова Т.В., Братков И.В., Бейлина Н.Ю., Маянов Е.П.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2014. Т. 57. Вып. 5. С. 21-25. **Smirnov N.N., Yudina T.F., Ershova T.V., Bratkov I.V., Beilina N.Yu., Mayanov E.P.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2014. V. 57. N 5. P. 21-25 (in Russian).
19. **Братков И.В., Юдина Т.Ф., Мельников А.Г., Братков А.В.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2018. Т. 61. Вып. 11. С. 96-102. **Bratkov I.V., Yudina T.F., Melnikov A.G., Bratkov A.V.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2018. V. 61. N 11. P. 96-102 (in Russian). DOI: 10.6060/ivkkt.20186111.5884.
20. **Донцов М.Г., Балмасов А.В.** // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2014. Т. 57. Вып. 5. С. 68-72. **Dontsov M.G., Balmasov A.V.** // *ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]*. 2014. V. 57. N 5. P. 68-72 (in Russian).

Поступила в редакцию (Received) 14.03.2023

Принята к опубликованию (Accepted) 24.03.2023