

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ / CHEMICAL TECHNOLOGY

Оригинальная статья / Original article

УДК 541.138+621.357

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-1-106-114>

## ПРОИЗВОДНЫЕ ТРИХЛОРЭТИЛАМИДОВ – НОВЫЙ ТИП БЛЕСКООБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОМ НАНЕСЕНИИ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

© Н.Г. Сосновская\*, А.О. Иванова\*\*, И.В. Никитин\*\*\*, Г.Н. Чернышева\*\*\*, Н.В. Руссавская\*\*, И.А. Данченко\*, Н.В. Истомина\*, Н.А. Корчевин\*

\*Ангарский государственный технический университет, 665835, Российская Федерация, Иркутская область, г. Ангарск, ул. Чайковского, 60.

\*\*Иркутский государственный университет путей сообщения, 664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15.

\*\*\*Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, 664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1.

*Обсуждается влияние добавок трихлорэтиламидов некоторых сульфоновых и карбоновых кислот на формирование блестящих покрытий при электрохимическом никелировании с использованием стандартного электролита Уоттса. Из исследованных четырех соединений три показали эффект образования блестящих покрытий и одно – формирование полублестящего покрытия. Добавки вводились в электролит в количестве 0,1–0,7 г/л. Выход по току составил 78–97%. Пористость полученных покрытий 0,28–11,02 пор/см<sup>2</sup>, что существенно ниже, чем при использовании некоторых других блескообразователей. Наилучшим блескообразующим действием среди исследованных добавок обладают 1-гидрокси-2,2,2-трихлорэтиламид уксусной кислоты и 1-4-метоксибензил-2,2,2-трихлорэтиламид-4-хлорфенилсульфоновой кислоты. Блокообразующее действие трихлорэтиламидов сульфоновых кислот связано с их электрохимическим разложением на катоде, что способствует внедрению серы в никелевое покрытие в количестве 0,3 – 0,4% масс, которое определяет блеск. Действие трихлорэтиламидов карбоновых кислот, возможно, связано с их адсорбцией на поверхности катода.*

**Ключевые слова:** никелирование, блескообразование, трихлорэтиламиды, пористость.

**Формат цитирования:** Сосновская Н.Г., Иванова А.О., Никитин И.В., Чернышева Г.Н., Руссавская Н.В., Данченко И.А., Истомина Н.В., Корчевин Н.А. Производные трихлорэтиламидов – новый тип блескообразователей при электрохимическом нанесении никелевых покрытий // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, N 1. С. 106–114. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-106-114

## TRICHLOROETHYLAMIDE DERIVATIVES AS A NOVEL TYPE OF BRIGHTENING AGENT IN THE ELECTROCHEMICAL DEPOSITION OF NICKEL COATINGS

© N.G. Sosnovskaya\*, A.O. Ivanova\*\*, I.V. Nikitin\*\*\*, G.N. Chernysheva\*\*\*, N.V. Russavskaya\*\*, I.A. Danchenko\*, N.V. Istomina\*, N.A. Korchevin\*

\*Angarsk State Technical University, 60, Chaikovsky St., Angarsk, 665835, Russian Federation

\*\*Irkutsk State University of Railway Transport, 15, Chernyshevsky St., Irkutsk, 664074, Russian Federation

\*\*\*A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry SB RAS, 1, Favorsky St., Irkutsk, 664033, Russian Federation

*In this paper, we discuss the effect of adding trichloroethylamides of certain sulphonic and carboxylic acids on the formation of bright coatings in electrochemical nickel plating using the standard Watts electrolyte. As a result, three out of the four compounds under study formed bright coatings, with one forming a semi-bright coating. The additives were introduced into the electro-lyte in an amount of 0.1–0.7 g / L. The current output was 78–97%. The porosity of the coatings obtained reached 0.28–11.02 pores/cm<sup>2</sup>, which is significantly lower than that obtained with other brighteners. The best brightness-forming effect among the additives studied was*

achieved with 1-hydroxy-2,2,2-trichloroethylamide of acetic acid and 1-4-methoxyphenyl-2,2,2-trichloroethylamide of 4-chloro-phenylsulphonic acid. The blocking effect of trichloroethylamides of sulphonic acids is associated with their electrochemical decomposition on the cathode, which contributes to the introduction of sulphur into the nickel coating in an amount of 0.3-0.4% by weight, thus determining the brightness. It is concluded that the action of trichloroethylamides of carboxylic acids is possibly related to their adsorption on the cathode surface.

Keywords: nickel plating, bright coatings, trichloroethyl amides, porosity.

**For citation:** Sosnovskaya N.G., Ivanova A.O., Nikitin I.V., Chernysheva G.N., Russavskaya N.V., Danchenko, Istomina N.V., Korchevin N.A. Trichloroethylamide derivatives as a novel type of brightening agent in the electrochemical deposition of nickel coatings. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology]. 2018, vol. 8, no. 1, pp. 106–114 (in Russian). DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-1-106-114

## ВВЕДЕНИЕ

Электрохимическое нанесение никеля на поверхность металлических деталей защищает их от коррозии, придает деталям декоративный внешний вид и улучшает физико-технические характеристики поверхности<sup>1,2</sup>. В зависимости от области применения покрываемых деталей, состава электролита и параметров процесса получают матовые, полублестящие или блестящие покрытия<sup>1</sup> [1]. Блестящие покрытия обладают улучшенными характеристиками по всем показателям, по которым оценивается качество покрытий [2]. Однако блестящие осадки никеля образуются только при введении в электролит специальных добавок – блескообразователей. К применяемым блескообразователям помимо их основной функции – придание блеска покрытию, предъявляется ряд других требований: они должны обеспечивать хорошее сцепление покрытия с основным металлом, улучшать механические характеристики покрытия, сохранять антикоррозионный защитный эффект покрытия, минимально влиять на показатели технологического процесса нанесения покрытия, соответствовать санитарно-гигиеническим и экологическим требованиям. Кроме того, блескообразователи должны быть доступными реагентами. Такой широкий набор предъявляемых требований постоянно стимулирует научные исследования по разработке новых блескообразователей. К сожалению, из-за отсутствия единой теории блескообразования при электрохимическом нанесении металлических покрытий поиск новых типов блескообразователей проводится в основном на эмпи-

рической основе и данные об их разработке содержатся в основном в патентной литературе. В некоторых работах исследовательского характера по изучению влияния блескообразователей на процесс электрокристаллизации никеля приводятся только фирменные названия используемых реагентов, а их состав и структура не раскрываются [3]. Тем не менее, накопленный в гальванотехнике опыт по применению блескообразователей для получения блестящих никелевых покрытий позволил разделить применяемые реагенты на два класса [4]. К блескообразователям первого класса относят органические соединения, содержащие в своем составе группу  $-\text{SO}_2-$ . К блескообразователям второго класса относят большое число органических соединений, содержащих ненасыщенные фрагменты (кратные связи, ароматические и гетероциклические кольца и др.). Чаще всего наилучший эффект получения блестящих покрытий наблюдается при применении комбинации реагентов первого и второго классов. Например, запатентован способ блестящего никелирования деталей из стали, меди и медных сплавов [5], в котором в качестве блескообразующей добавки использована смесь сахарина (типичный представитель первого класса блескообразователей) в количестве 0,7–1,1 г/л и 1,4-бутиндиола (представитель второго класса) – 0,1–0,4 г/л. В литературе по гальванотехнике [4, 6] даются стандартные рецептуры электролитов блестящего никелирования, которые содержат комбинации блескообразователей первого и второго классов. Получен и испытан комбинированный блескообразователь – N-бутинолсахарин, содержащий в структуре фрагменты блескообразователей первого и второго классов [7]. Авторами обоснованы рекомендации по замене добавок первого и второго класса в электролитах никелирования на исследованный бутинолсахарин. Возможно, что препятствием его применения в технике является трудность получения и, как следствие, высокая стоимость. Большую группу блескообразователей первого класса составляют сульфонатные производные [6, 8, 9]. Принято считать, что за счет сульфогрупп в процессе нанесения

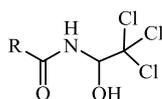
<sup>1</sup>Мамаев В.И., Кудрявцев В.Н. Никелирование: учебное пособие / Под ред. В.Н. Кудрявцева. М.: Изд. РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. 192 с. Mamaev V.I., Kudryavtsev V.N. *Nikelirovanie* [Nickel plating]. Moscow: D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia Publ., 2014, 192 p.

<sup>2</sup>Mel'nikov P.S. *Spravochnik po gal'vanopokrytiyam v mashinostroenii* [Reference book on plating in mechanical engineering]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1979, 296 p.

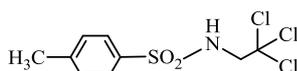
покрытия в никелевый осадок включается сера, которая и определяет морфологию осадка и придает ему блеск [9–11]. Однако в литературе имеются также данные об использовании блескообразователей, не содержащих сернистых функций. В качестве примеров можно привести электролит блестящего никелирования, содержащий кроме стандартных компонентов изоникотиновую кислоту в количестве 0,5–1,5 г/л [12], и процесс получения блестящих никелевых покрытий в присутствии 2-окси-4,6-диметилпиримидина (пирамидона) в количестве 1,2–3,7 г/л [13]. Таким образом, наличие серы в составе блескообразователя не является определяю-

щей характеристикой для получения качественных покрытий.

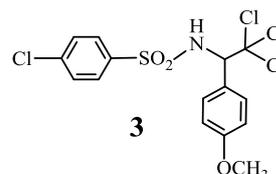
В качестве блескообразующих добавок нами впервые исследованы различные производные трихлорэтиламидов: 1-гидрокси-2,2,2-трихлорэтиламиды карбоновых кислот **1 а,б**, 2,2,2-трихлорэтиламид-4-толуолсульфоновой кислоты **2** и 1-4-метоксифенил-2,2,2-трихлорэтиламид-4-хлорфенилсульфоновой кислоты **3**. Эти соединения получают из коммерчески доступных реагентов: амидов карбоновых кислот, хлорала, дихлорамидов сульфоновых кислот (дихлораמיד Т и дихлораמיד ХБ), винлиденхлорида и анизола [16–18].



**1**



**2**



**3**

R = CH<sub>3</sub> (а), C<sub>6</sub>H<sub>5</sub> (б)

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования влияния добавок трихлорэтиламидов **1 а,б**, **2** и **3** использованы стандартные электролиты Уоттса двух типов, содержащие, соответственно сульфат никеля (270 г/л), хлорид никеля (50 г/л) (или хлорид натрия 15 г/л) и борную кислоту (добавка, поддерживающая необходимый уровень pH) (35 г/л). Электролиты готовили на дистиллированной воде и подвергали очистке от примесей железа и цинка по методикам, представленным в работах [6, 17]. В очищенный электролит вводили добавки трихлорэтиламидов в количестве, приведенном в таблице. Добавки синтезировали по методикам, изложенным в работах [14–16]. Полученные соединения имели следующие температуры плавления: **1а** – 154, **1б** – 141, **2** – 140–142, **3** – 184 °С. Исследованные трихлорэтиламиды не растворяются в воде и для введения в электролит их растворяли в минимальном количестве этилового спирта.

Электролиз проводили при регулируемой плотности тока 4,0–6,0 А/дм<sup>2</sup>. Необходимую плотность тока предварительно определяли с использованием угловой электрохимической ячейки Хулла (ЯУ-270) при силе тока 1 А в течение 10 мин. Уровень pH регулировали добавлением в электролит соляной кислоты или карбоната никеля и контролировали с использованием pH-метра (pH-410). Нанесение покрытий осуществляли на установке никелирования, состоящей из источника постоянного тока, гальванической ванны и кулометра. В качестве образцов для нанесения покрытий использованы стальные пластинки (Ст3) площадью 3,66 см<sup>2</sup>. Перед никелированием поверхность детали обрабатывали стандартными методами<sup>1, 3</sup> [17].

Толщина наносимого покрытия 20 мкм. Необходимое время электролиза определяли с учетом толщины покрытия, применяя закон Фарадея. Выход по току рассчитывали путем взвешивания образцов до и после нанесения покрытия с использованием данных, полученных на медном кулометре. Пористость покрытий определяли путем наложения фильтровальной бумаги, смоченной растворами гексацианоферрата калия и хлорида натрия<sup>1, 4</sup>. Блеск полученных покрытий оценивали на качественном уровне (блестящее, полублестящее, матовое) с использованием метода отражения сетки [16]. Условия электролиза и характеристика получаемых покрытий при введении изучаемых блескообразователей представлены в таблице. Определение содержания элементов в покрытии осуществляли методом энергодисперсионного рентгено-спектрального микроанализа на

<sup>3</sup> ГОСТ 9.305-84. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. М.: Госстандарт, 1988, 183 с.

GOST 9.305-84. *Pokrytiya metallicheskie i nemetallicheskie neorganicheskie* [State Standard 9.305-84. Metallic and inorganic nonmetallic coatings]. Moscow: Gosstandart Publ., 1988, 183 p.

<sup>4</sup> Бахчисарайцян Н.Г., Борисоглебский Ю.В., Буркат Г.К. и др. Практикум по прикладной электрохимии: учеб. пособие для вузов. / Под ред. В.Н. Варыпаева, В.Н. Кудрявцева. Л.: Химия. 1990, 304 с.

Bakhchisarait'syan N.G., Borisoglebskii Yu.V., Burkat G.K. [et al.]. *Praktikum po prikladnoi elektrokhemii* [Applied electrochemistry practicum]. Leningrad: Khimiya Publ., 1990, 304 p.

**Условия нанесения и характеристика никелевых покрытий, полученных в присутствии трихлорэтиламидов (температура электролиза 50 °С, pH 5,0, плотность тока 5 А/дм<sup>2</sup>)**

**Characteristics of nickel coatings obtained in trichloroethyl amides presence (the temperature of electrolysis 50 °С, pH 5,0, current density 5A/dm<sup>2</sup>)**

№ п/п	№ добавки	Концентрация, г/л	Выход по току, %	Блеск покрытия	Пористость, пор/см <sup>2</sup>
1	<b>1а</b>	0,12	96	блестящее	6,28
2	<b>1а</b>	0,4	96	блестящее	6,11
3	<b>1а</b>	0,7	95	полублестящее	5,06
4	<b>1б</b>	0,1	97	полублестящее	11,02
5	<b>1б</b>	0,3	94	полублестящее	7,62
6	<b>1б</b>	0,7	87	полублестящее	8,14
7	<b>2</b>	0,2	97	полублестящее	4,20
8	<b>2</b>	0,3	94	блестящее	0,28
9	<b>2</b>	0,7	90	полублестящее	4,15
10 <sup>а</sup>	<b>3</b>	0,1	85	блестящее	3,27
11	<b>3</b>	0,2	80	полублестящее	3,52
12	<b>3</b>	0,3	78	матовое	2,69

<sup>а</sup>Использована плотность тока 4 А/дм<sup>2</sup> pH 4,5

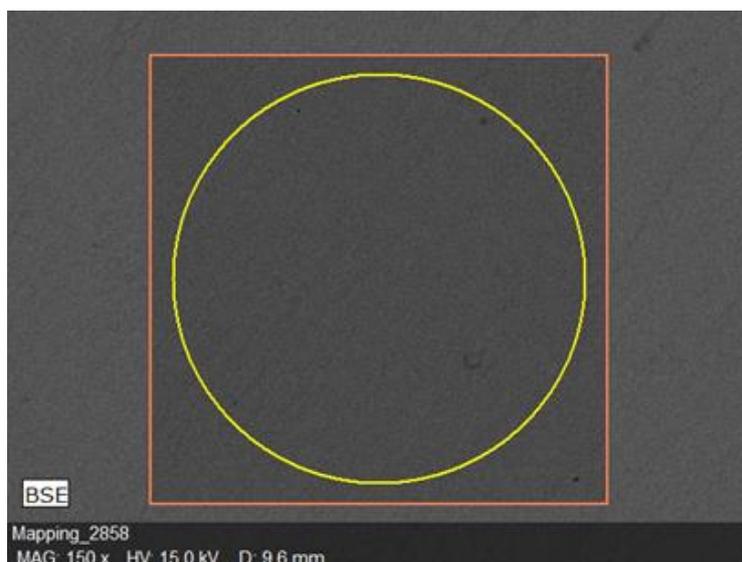
электронном микроскопе HITACHI TM 3000 с датчиком для количественного определения содержания элементов X-ray SDD Xflash 430 Н. На рисунке представлены данные энергодисперсионного анализа покрытия, полученного при никелировании в присутствии соединения **3** (0,1 г/л).

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

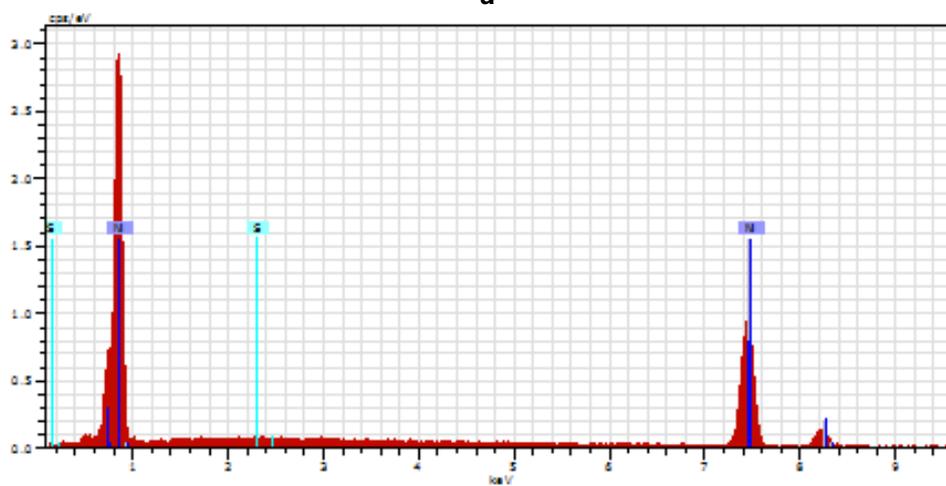
Как видно из данных таблицы, все исследованные трихлорэтиламиды при введении их в сернокислый электролит никелирования могут проявлять блескообразующий эффект. Однако в изученных условиях электролиза разные добавки проявляют этот эффект при различных концентрациях. Для получения качественных блестящих покрытий наименьшие значения концентраций выявлены для соединений **1а** и **3** (~ 0,1 г/л). Трихлорэтиламид **1б** давал только полублестящие покрытия во всем исследованном диапазоне концентраций (0,1–0,7 г/л). Эти покрытия характеризовались достаточно низкой пористостью и хорошим сцеплением материала покрытия с основным металлом. По этим причинам добавка **1б** также может использоваться для нанесения никелевых покрытий, когда не требуется высокий блеск обрабатываемой поверхности. Для добавки **1а** увеличение концентрации в электролите до 0,4 г/л не снижает качества покрытия, и только дальнейшее увеличение концентрации (до 0,7 г/л) приводит и к уменьшению блеска, и к появлению подгоров на краях детали. Соединение **2** дает каче-

ственные покрытия в достаточно узком интервале концентраций (~ 0,3 г/л). Получаемые при других концентрациях покрытия отвечают по стандарту качеству «полублестящие», однако они образуют неоднородную картину на поверхности (наличие блестящих пятен и темных участков). Для соединения **3** отмечена устойчивая тенденция ухудшения качества покрытия при увеличении концентрации добавки с 0,1 до 0,3 г/л.

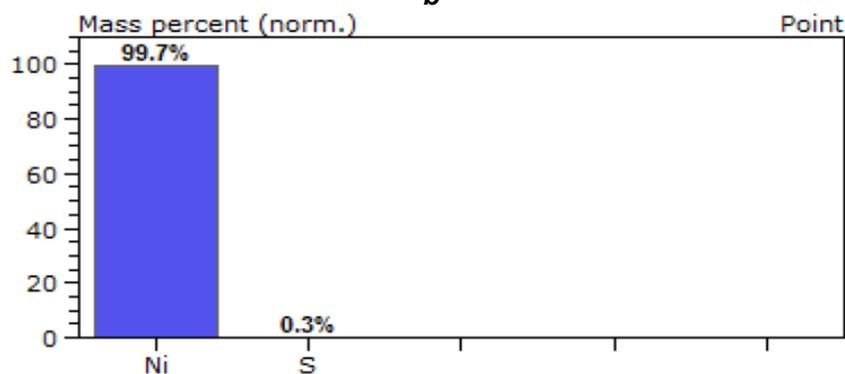
Для большинства исследованных добавок при получении качественных покрытий выход по току превышал 90%, что соответствует многим промышленным процессам никелирования<sup>1</sup> [3]. Некоторое снижение выхода по току при использовании добавки **3** (строки 10–12 в таблице) может быть обусловлено пространственным экранированием поверхности катода объемной молекулой блескообразователя при его адсорбции. Это приводит к снижению парциальной скорости катодной реакции разрядки ионов никеля, но практически не влияет на скорость реакции выделения водорода. Замедление скорости осаждения никеля может быть одним из факторов формирования блестящего покрытия (эффект выравнивания [3]). Выход по току в присутствии этой добавки прогрессивно падает при увеличении концентрации блескообразователя. При концентрации добавки **3** 0,3 г/л выход по току составляет всего 78%. Однако при этом формируется матовое покрытие, возможно, за счет подавления электроразряда ионов никеля не только на «активных» участках поверхности и исчезает эффект выравнивающего действия.



a



b



c

Данные рентгено-спектрального микроанализа образца никелевого покрытия, полученного в присутствии 1-4-метоксифенил-2,2,2-трихлорэтиламида-4-хлорфенилсульфоновой кислоты 3: a – микрофотография поверхности образца. Увеличение в 150 раз; b – рентгеновский энергодисперсионный спектр; c – таблица расчета количественного содержания элементов на поверхности образца

X-ray spectral microanalysis of a nickel coating sample, obtained in the presence of 1-4-methoxyphenyl-2,2,2-trichloroethylamide-4-chlorophenylsulfonic acid 3: a – a microphotograph of the sample surface. Resolution 150 times; b – an X-ray energy-dispersion spectrum; c – a table for calculating of the quantitative content of elements on the surface of the sample

Важнейшей характеристикой получаемых покрытий является их пористость, которая характеризует защиту от коррозии поверхности покрываемых деталей. Из данных таблицы видно, что во всех случаях были получены покрытия, обладающие низкой пористостью. Например, при использовании широко распространенной блескообразующей добавки – тиомочевины никелевое покрытие, полученное в аналогичных условиях, содержит до 60 пор/см<sup>2</sup> [21]. Наименьшей пористостью (0,28 пор/см<sup>2</sup>) обладало покрытие, нанесенное при использовании 0,3 г/л 2,2,2-трихлорэтиламида-*л*-толуолсульфоновой кислоты **2**. Тем не менее, и все остальные значения этого показателя, представленные в таблице, существенно ниже, чем пористость покрытия, наносимого в присутствии тиомочевины.

Из исследованных добавок только соединения **2** и **3** содержат в своем составе серу. Блескообразующий эффект подобного типа добавок связывают с возможностью их электрохимического разложения на катоде с образованием простых серосодержащих продуктов, которые либо образуют сульфид никеля, либо способствуют внедрению серы в кристаллическую решетку покрытия [11]. Энергодисперсионный рентгено-спектральный микроанализ поверхностей покрытий, получаемых в присутствии реагентов **2** и **3** (рис. 1) показывает наличие в блестящих осадках 0,3–0,4% масс серы. Такое содержание серы примерно соответствует ее количеству в блестящих осадках, получаемых в присутствии тиомочевины [21].

Соединения **1а** и **1б** в своем составе серы не содержат. Их блескообразующий эффект может определяться возможностью адсорбции молекул на поверхности покрытия, которая оказывает выравнивающее действие. При этом

сами добавки в состав покрытия не входят, то есть при построении кристаллической решетки никеля наблюдается их разложение под действием электрического тока или десорбция с поверхности. Протекание обратимых процессов сорбция  $\rightleftharpoons$  десорбция способствует тому, что реагент **1а** проявляет блескообразующий эффект в низкой концентрации. Центрами адсорбции в его молекуле могут выступать, прежде всего, атомы азота, а также атомы кислорода в гидроксильной и карбонильной группах. Возможно, что фенильное кольцо в соединении **1б** затрудняет адсорбцию этого соединения, и его блескообразующий эффект проявляется в меньшей степени, чем для соединения **1а**.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Введение в электролит никелирования трихлорэтиламидов карбоновых и сульфоновых кислот позволяет получать качественные низкопористые покрытия. Выявлены наиболее благоприятные концентрации вводимых добавок, при которых наблюдается образование блестящих покрытий. Наименьшие концентрации требуются для трихлорэтиламида уксусной кислоты, блескообразующее действие которого связано с протеканием процессов сорбции блескообразователя на поверхности покрытия. Блескообразующий эффект трихлорэтиламидов сульфоновых кислот связан с необратимыми их химическими превращениями на катоде и внедрением серы в поверхность покрытия.

*Данные рентгено-спектрального микроанализа получены с использованием приборного парка Байкальского аналитического центра СО РАН.*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Gamburg Yu.D., Zangary G. Theory and practice of metal electrodeposition. New York: Springer Science+Business Media, 2011. 438 p.
2. Истомина Н.В., Сосновская Н.Г., Полякова А.О. Блестящее никелирование: проблемы и перспективы // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014. N 8. С. 77–80.
3. Tripathy B.C., Singh P., Muir D.M., Das S.C. Effect of organic extractants on the electrocrystallization of nickel from aqueous sulphate solution // Journal of Applied Electrochemistry. 2001. V. 34. P. 301–308.
4. Ажогин Ф.Ф. Гальванотехника. Справочное издание. М.: Металлургия, 1987. 736 с.
5. Пат. N 2089675, Российская Федерация. МПК C25D3/12. Способ никелирования деталей из стали, меди и медных сплавов / В.И. Шевелкин, В.А. Власов, Ю.Б. Рыбальченко, О.Б. Шуляковский; заявитель и патентообладатель Шевелкин Валерий Иванович. Заявка N 96120975/02, заявл. 24.10.1996, опубликовано 10.09.1997, бюл. № 17.
6. Инженерная гальванотехника в приборостроении / Под ред. А.М. Гинберга. М.: Машиностроение, 1977. 512 с.
7. Моцкуте Д.В, Бернотене Г., Буткене Р. Поведение сахарина и его N-производных при электроосаждении металлов группы железа из кислых электролитов // Электрохимия. 1996. T. 32, N 12. С. 1472–1476.
8. Jelinek T.W. Praktische galvanotechnic. Germany: Eugen Y. Leuze Verlag Publ., 2005. 623 p.
9. Скар И.В., Скар Ю.Е., Данилов Ф.И. Закономерности электроосаждения никелевых гальванопокрытий в присутствии некоторых серосодержащих органических добавок // Вопросы химии и химической технологии. 2008. N 4. С. 156–159.

10. Valles E., Pollina R., Gomes E/ Relation between the presence of inhibitors and deposit morphology in nickel deposition // *Journal of Applied Electrochemistry*. 1993. V. 23. P. 508–515.

11. Бигелис В.М., Карнута О.Я., Навалихин Л.В., Парманов Т.И., Артемова С.С., Рogaускайте Р. Исследование включений серы и кислорода в гальванических никелевых покрытиях // *Электрохимия*. 1994. Т. 30, N 1. С. 107–109

12. Пат N 2133305, Российская федерация. МПК C25D3/18. Электролит блестящего никелирования / Агеенко Н.С., Седойкин А.А., Поляков Н.А.; заявитель и патентообладатель Многопрофильный лицей N 84 (г. Новокузнецк). Заявка N 96104550/02, заявл. 23.02.1998, опубликовано 20.07.1999, бюл. N 14.

13. Таран Л.А., Кешнер Т.Д. Получение блестящих никелевых покрытий в присутствии 2-окси-4,6-диметилпиримидина // *Журнал прикладной химии*. 1983. Т. 56, N 7. С. 1551–1554.

14. Кашик Т.В., Прокопьев Б.В., Атавин А.С., Мирскова А.Н., Альперт М.Л., Пилькевич С.Г., Пономарева С.М. Исследование дис-

социирующей способности хлоральамидов карбоновых кислот в неводных средах // *Журнал органической химии*. 1971. Т. 7, вып. 8. С. 1582–1586.

15. Чернышева Г.Н., Никитин И.В., Розенцвейг И.Б. N-(2,2,2-Трихлорэтил) аренсульфонамида в реакции N-сульфониламидирования галогензамещенных электрофилов // *Журнал органической химии*. 2017. Т. 53, вып. 6. С. 810–813.

16. Айзина Ю.А., Розенцвейг И.Б., Левковская Г.Г., Розенцвейг Г.Н., Мирскова А.Н. N-(2,2,2-Трихлорэтилен) и N-(1-гидрокси-2,2,2-трихлорэтил)амиды в реакции C-амидоалкилирования функциональнoзамещенных ароматических соединений // *Журнал органической химии*. 2002. Т. 38, вып. 2. С. 256–259.

17. Иванова А.О., Сосновская Н.Г., Никонова В.С., Леванова Е.П., Попов С.И. Использование добавок изотиуруниевых солей в технологии блестящего электрохимического никелирования // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2017. Т.7. N 4. С. 136–141.

## REFERENCES

1. Gamburg Yu.D., Zangary G. Theory and practice of metal electrodeposition. New York: Springer Science+Business Media, 2011. 438 p.

2. Istomina N.V., Sosnovskaya N.G., Polyakova A.O. The bright nickel platings: problems and perspectives. *Vestnik Angarskoi gosudarstvennoy tekhnicheskoi akademii* [Bulletin of Angarsk State technical Academy]. 2014, no. 8, pp. 77–80. (in Russian)

3. Tripathy B.C., Singh P., Muir D.M., Das S.C. Effect of organic extractants on the electrocrystallization of nickel from aqueous sulphate solution. *Journal of Applied Electrochemistry*. 2001, vol. 34, pp. 301–308.

4. Azhugin F.F. *Gal'vanotekhnika* [Electrodeposition]. Moscow: Metallurgiya Publ., 1987, 736 p.

5. Shevelkin V.I. [et al.] *Sposob nikelirovaniya detalei iz stali, 112ed ii mednykh splavov* [A method of nickelating of steel, copper and copper alloys]. Patent RF, no. 2089675, 1997.

6. *Inzhenernaya gal'vanotekhnika v priborostroenii* [Engineering electroplating in instrument making]. Under the Editorship of A.M. Ginberg. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1977, 512 p.

7. Motskute D.V., Bernotene G, Butkene R. The behavior of saccharin and its N-derivatives during the electrodeposition of iron group metals from acid electrolytes. *Electrochemistry*, 1996, vol. 32, pp. 1472–1476.

8. Jelinek T.W. *Praktische galvanotechnic*. Germany: Eugen Y. Leuze Verlag Publ., 2005. 623 p.

9. Sknar I.V., Sknar Yu.E., Danilov F.I. Mechanism of nickel plating in presence of sulfur-containing organic additives. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii* [The problems of chemistry and chemical technology]. 2008, no. 4, pp. 156–159. (in Russian)

10. Valles E., Pollina R., Gomes E. Relation between the presence of inhibitors and deposit morphology in nickel deposition. *Journal of Applied Electrochemistry*. 1993, vol. 23, pp. 508–515.

11. Bigelis V.M., Karnuta O.Ya., Navalikhin L.V., Parmanov T.I., Artemova S.S., Rogauskaite R. Investigation of inclusions of sulfur and oxygen in galvanic nickel coatings. *Electrochemistry*. 1994, vol. 30, pp. 107–109.

12. Агеенко Н.С. [et al.] *Elektrolit blestyachshego nikelirovaniya* [Electrolyte of bright nickel plating]. Patent RF, no. 2133305, 1999.

13. Taran L.A., Keshner T.D. Preparation of shiny nickel coatings in the presence of 2-hydroxy-4,6-dimethylpyrimidine. *Journal of Applied Chemistry*. 1983, vol. 56, no. 7, pp. 1551–1554.

14. Kashik T.V., Prokop'ev B.V., Atavin A.S., Mirskova A.N., Al'pert M.L., Pilkevich S.G., Ponomareva S.M. Study of the dissociating ability of chloroamides of carboxylic acids in non-aqueous media. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 1971, vol. 7, no. 8, pp. 1582–1586. (in Russian)

15. Chernysheva G.N., Nikitin I.V., Rozentsveig I.B. Title of the manuscript sulfonamidation of galogen-substituted electrophiles with N-(2,2,2-trichloroethyl)arenesulfonamides *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2017, vol. 53, p. 824. (in Russian)

16. Aizina Yu.A., Rozentsveig I.B., Levkovskaya G.G., Rozentsveig G.N., Mirskova A.N. N-(2,2,2-Trichloroethylidene)- and N-(1-hydroxy-2,2,2-trichloroethyl) amides in c-amidoalkylation reaction of functionallysubstituted aromatic compounds. *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2002, vol. 38, no. 2, pp. 235–238.

17. Ivanova A.O., Sosnovskaya N.G., Nikonova V.S., Levanova E.P., Popov S.I. Use of

isotironium salt additives in the technology of brilliant electrochemical nikiating. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya* [Proceedings of Universities. Applied Chemistry

and Biotechnology]. 2017, vol. 7, no. 4, pp. 136-141. (in Russian) DOI: 10.21285/227-2925-2017-7-4-136-141

#### **Критерии авторства**

Сосновская Н.Г., Иванова А.О., Никитин И.В., Чернышева Г.Н., Руссавская Н.В., Данченко И.А., Истомина Н.В., Корчевин Н.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Сосновская Н.Г., Иванова А.О., Никитин И.В., Чернышева Г.Н., Руссавская Н.В., Данченко И.А., Истомина Н.В., Корчевин Н.А. имеют на статью равные авторские права и несут равную ответственность за плагиат.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

##### **Принадлежность к организации**

##### **Нина Г. Сосновская**

Ангарский государственный технический университет  
К.т.н., доцент  
sosnina148@mail.ru

##### **Анастасия О. Иванова**

Иркутский государственный университет путей сообщения  
Аспирант  
Chem2007@mail.ru

##### **Илья В. Никитин**

Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН  
М.н.с.  
group11@ro.ru

##### **Гульнур Н. Чернышёва**

Иркутский институт химии им. А. Е. Фаворского СО РАН  
К.х.н., н.с.  
gelya2010@irioch.irk.ru

##### **Наталья В. Руссавская**

Иркутский государственный университет путей сообщения  
Д.х.н., профессор  
rusnatali64@yandex.ru

##### **Ирина А. Данченко**

Ангарский государственный технический университет  
Магистрант  
sosnina148@mail.ru

#### **Contribution**

Sosnovskaya N.G., Ivanova A.O., Nikitin I.V., Chernysheva G.N., Russavskaya N.V., Danchenko I.A., Istomina N.V., Korchevin N.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Sosnovskaya N.G., Ivanova A.O., Nikitin I.V., Chernysheva G.N., Russavskaya N.V., Danchenko I.A., Istomina N.V., Korchevin N.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### **Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

#### **AUTHORS' INDEX**

##### **Affiliations**

##### **Nina G. Sosnovskaya**

Angarsk State Technical University  
Ph.D. (Engineering), Associate Professor  
sosnina148@mail.ru

##### **Anastasia O. Ivanova**

Irkutsk State University of Railway Transport  
Postgraduate Student  
Chem2007@mail.ru

##### **Il'ya V. Nikitin**

A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry  
SB RAS  
Junior Researcher  
group11@ro.ru

##### **Gulnur N. Chernysheva**

A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry  
SB RAS  
Ph.D. (Chemistry), Senior Researcher  
gelya2010@irioch.irk.ru

##### **Natalya V. Russavskaya**

Irkutsk State University of Railway Transport  
Doctor of Chemistry, Professor  
rusnatali64@yandex.ru

##### **Irina A. Danchenko**

Angarsk State Technical University  
Master Student  
sosnina148@mail.ru

**Наталья В. Истомина**

Ангарский государственный технический университет  
Д.т.н., профессор  
sosnina148@mail.ru

**Nataliya V. Istomina**

Angarsk State Technical University  
Doctor of Chemistry, Professor  
sosnina148@mail.ru

**Николай А. Корчевин**

Ангарский государственный технический университет  
Д.т.н., профессор  
Chem2007@mail.ru

**Nikolay A. Korchevin**

Angarsk State Technical University  
Doctor of Chemistry, Professor  
Chem2007@mail.ru

***Поступила 31.10.2017***

***Received 31 October 2017***