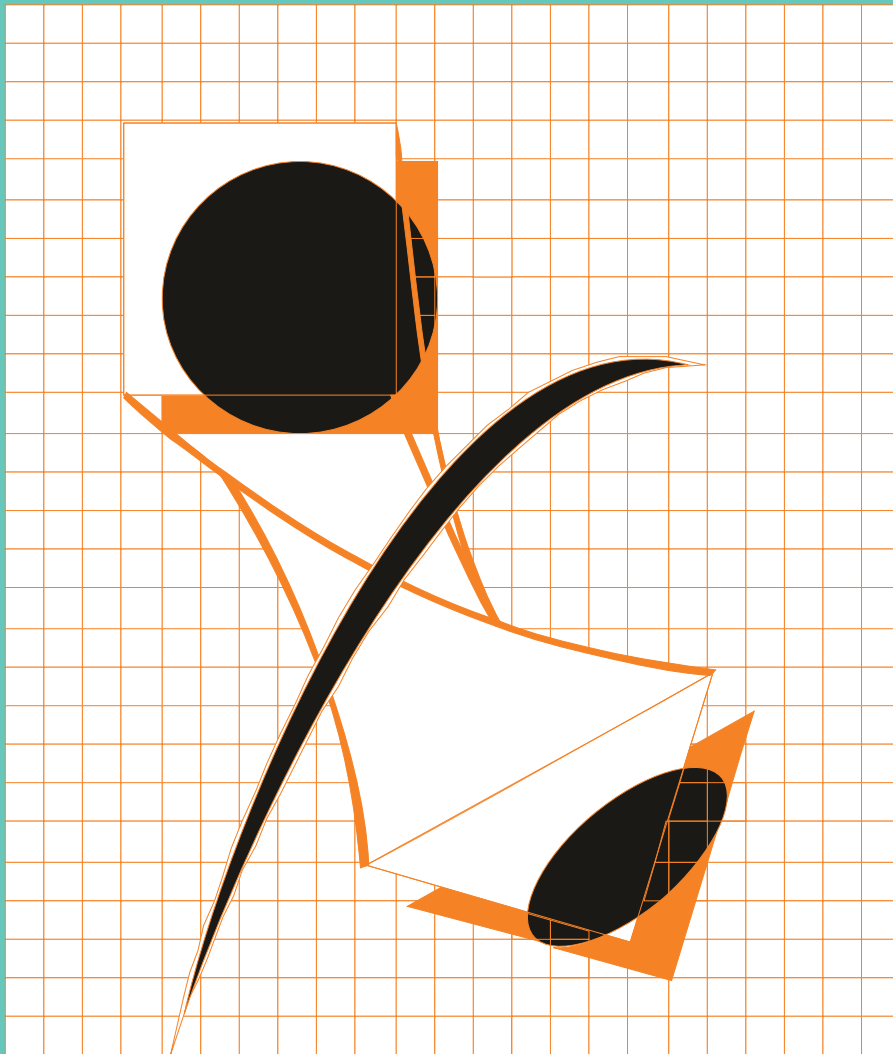


ГАЛЬВАНОТЕХНИКА

И ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

ELECTROPLATING & SURFACE TREATMENT



Наука
Экология
Технология
Оборудование
Печатные платы
Образование

Science
Environments
Processes
Equipment
PC boards
Training

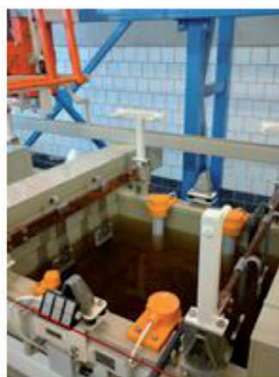


Сделано в России

PTC  RTS
инжиниринг



- ✓ Разработка и производство современных гальванических линий;
- ✓ Комплексное оснащение гальванических производств;
- ✓ Поставка отдельных единиц оборудования и комплектующих устройств;
- ✓ Изготовление вентиляционных систем из пластика с очисткой воздуха;
- ✓ Модернизация гальванических линий;
- ✓ Разработка, изготовление и запуск АСУ технологическими процессами.



Сертификат ISO 9001

Декларация соответствия EAC

ООО «РТС Инжиниринг»
107076, Москва, ул. Атарбекова 4 • Тел.: +7(495) 964-47-48 • Факс: +7 (495) 964-47-39
e-mail: main@rts-engineering.ru • <http://www.rts-engineering.ru>

Редакционная коллегия

Гл. редактор д.х.н. Кругликов С.С.

Российский химико-технологический
Университет им.Д.И.Менделеева, Москва

Зам. гл. редактора д.х.н. Винокуров Е.Г.,
Москва, vin-62@mail.ru

д.х.н. Байрачный Б.И., Харьков, Украина;
Prof. Basu A., Rourkela, India;

д.т.н. Ваграмян Т. А., Москва, Россия;

д.х.н., Гольдин М. М., США

к.х.н. Григорян Н.С., Москва, Россия;

д.х.н. Данилов Ф.И., Днепропетровск,
Украина;

д.х.н. Давыдов А.Д., Москва, Россия;

к.х.н. Жарский И.М., Минск, Белоруссия;

д.т.н. Колесников В.А., Москва, Россия;

д.х.н. Кузнецов В.В., Москва, Россия;

к.т.н. Мамаев В.И., Киров, Россия;

д.х.н. Парфенюк В. И., Иваново, Россия;

д.т.н. Скопинцев В.Д., Москва, Россия;

к.т.н. Смирнов К.Н., Москва, Россия;

д.х.н. Целуйкин В.Н., Саратов, Россия;

к.т.н. Шишкина С.В., Киров, Россия

Зав. редакцией Орехова Е.С.

Компьютерная верстка Царева Е. В.

125047, Москва, Миусская пл., д.9

Тел. редакции: 8(499)978-59-90,

факс:8(495)609-29-64

E-mail: gtech@muctr.ru

Основатель журнала

Кудрявцев Владимир Николаевич,

д.х.н., профессор

Российский химико-технологический

Университет им. Д.И. Менделеева

Спонсоры

Компания "Умикор Гальванотехник",

Швабиш-Гмюнд, Германия

Перевод рефератов - проф. Кругликов С.С.

Editorial Board

Editor-in-Chief prof. S. Kruglikov

Mendeleev University of Chemical
Technology of Russia, Moscow

Vinokurov E.G., Moscow, Russia,
vin-62@mail.ru

Bajrachnyj B.J., Charkov, Ukraina;

Prof. Basu A., Rourkela, India;

Danilov F.I., Dnepropetrovsk, Ukraina;

Davydov A.D., Moscow, Russia;

Goldin M. M., USA

Grigoryan N.S., Moscow, Russia;

Kolesnikov V.A., Moscow, Russia;

Kuznetsov V.A., Moscow, Russia;

Mamaev V.I., Kirov, Russia;

Parfenuk V.I., Ivanovo, Russia;

Schischkina S.V., Kirov, Russia;

Skopintsev V.D., Moscow, Russia;

Smirnov K.N., Moscow, Russia;

Tseluikin V.N., Saratov, Russia;

Vagramyan T.A., Moscow, Russia;

Zharskii I.M., Minsk, Belorussia

125047, Moscow, Miusskaya Sq.9

Tel.: 7(499)978-59-90,

Fax:7(495)609-29-64

E-mail: gtech@muctr.ru

Founders

Kudryavtsev V.N.

Mendeleev University of Chemical Technology
of Russia, Moscow

Sponsors

"Umicore Galvanotechnik" GmbH,
Schwaebisch Gmuend, Germany

Russian-english abstracts translator
prof.Kruglikov S.S.

Российское общество гальванотехников www.galvanicrus.ru

Журнал www.galvanotehnika.info

ГАЛЬВАНОТЕХНИКА и ОБРАБОТКА ПОВЕРХНОСТИ

Издаётся с 1992 г.

№ 1

2021 год

том 29

Содержание

| | | |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| <i>Электроосаждение металлов и сплавов</i> | Влияние межэлектродного расстояния и соотношения площадей катода и анода на скорость формирования и состав МДО покрытий П.И. Бутягин, А.В. Большанин, С.С. Арбузова | 4 |
| <i>Экология и ресурсосбережение</i> | Обзор исследований воздействия факторов гальванического производства на человека и окружающую среду И.А. Вахнюк, К.Ю. Кириченко, К.С. Голохваст, Е.Г. Шабалина | 9 |
| | Безотходная эксплуатация растворов на основе хромата: промышленный опыт С.С. Кругликов, Е.С. Кругликова | 32 |
| | Закономерности снижения концентрации фенола, цианидов и тиоцианатов комбинированным электрохимическим методом из хлоридно-сульфатных и аммиачных растворов Т.А. Харламова, Ю.Ю. Атаманова | 38 |
| <i>Информация</i> | Курсы повышения квалификации | 47 |
| | Выставки, конференции, семинары | 48 |
| | Информация для авторов | 49-54 |

ELECTROPLATING & SURFACE TREATMENT

Published since 1992

№ 1

2021

т. 29

Contents

| | | |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <i>Electroplating of metals and alloys</i> | Influence of the interelectrode distance and the ratio of the cathode and anode areas on the formation rate and properties of MAO coatings <i>P.I. Butyagin, A. V. Bolshanin, S.S. Arbuzova</i> | 4 |
| <i>Environment and Resources Saving</i> | Overview of studies on the human and environmental effects of galvanic production particles <i>I.A. Vakhnyuk, K. Yu. Kirichenko, K.S. Golokhvast, E.G. Shabalina</i> | 9 |
| | Operation of Chromate-Based Solutions without Dumping: Industrial Experience <i>S.S. Kruglikov, E.S. Kruglikova</i> | 32 |
| | Regularities of decreasing the concentration of phenol, cyanides and thiocyanates by the combined electrochemical method from chloride-sulfate and ammonia solutions <i>T.A. Kharlamova, Yu.Yu. Atamanova</i> | 38 |
| <i>Information</i> | On the training courses for plating engineers | 47 |
| | Congressess, Conferences, Meetings | 48 |

Russian Society of Platers
www.galvanicrus.ru

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_4

УДК 621.357.7

Влияние межэлектродного расстояния и соотношения площадей катода и анода на скорость формирования и состав МДО покрытий

© **П.И. Бутягин, А.В. Большанин, С.С. Арбузова**

АО МАНЭЛ, 634040, Томск, Владимира Высоцкого 25, ст.12
Тел. 8 (3822) 606 590, e-mail: pavel.butyagin@manel.ru

Изучены влияние межэлектродного расстояния и соотношения площадей катода и анода на скорость формирования и состав МДО-покрытий (рис. 2 и 3, табл. 3) для образцов площадью покрытия 5 дм². Показано, что уменьшение площади катода замедляет скорость формирования МДО-покрытия. Уменьшение межэлектродного расстояния увеличивает скорость МДО, однако при этом меняется состав формируемого покрытия, как результат, в покрытии снижается содержание компонентов обрабатываемой подложки и увеличивается содержание компонентов электролита.

Ключевые слова: микродуговое окисление, сплав алюминия, межэлектродное расстояние, соотношение площадей катода и анода, скорость формирования МДО-покрытий, состав покрытия

Influence of the interelectrode distance and the ratio of the cathode and anode areas on the formation rate and properties of MAO coatings

© **P.I. Butyagin, A.V. Bolshinin, S.S. Arbuzova**

MANEL JSC , Tomsk 634040 Vladimira Vysotskogo St., 25/12,
Phone: +7 (3822) 606 590, e-mail: pavel.butyagin@manel.ru

The influence of the interelectrode distance and the ratio of the cathode and anodecoating area of 5 dm² was studied. It is shown that a decrease in the cathode area retards the formation rate of the MAO coating. A decrease in the interelectrode distance accelerates the rate of the formation of the MAO rate, but the composition of the formed coating changes, as a result, the number of components of the processed substrate decreases in the coating and the number of electrolyte components increases.

Keywords: microarc oxidation, aluminum alloys, interelectrode distance, ratio of cathode and anode areas, formation rate of MAO coatings, composition of the coating

Введение

Микродуговое оксидирование по своему механизму относится к электрохимическому процессу, протекающему при высоких значениях напряжения [1,2,3]. Известно, что при организации гальванического процесса одним из важных условий для эффективного протекания формирования покрытия является соотношение площадей катода и анода [1,4]. В зависимости от того, какой процесс мы проводим, осаждения(катодный) или окисления(анодный), меняется соотношение площади катода и площади анода.

На практике, когда необходимо выбрать оптимальную конструкцию ванны МДО, которая обычно служит противоэлектродом, учитывая производительность линии (установки), расход химических компонентов на приготовление электролита, производственные площади под оборудование, необходимо учитывать межэлектродное расстояние и соотношение площадей анода и катода. В работе [5] показано влияние внутреннего и внешнего противоэлектродов на процесс формирования МДО-покрытия на аноде. Это два крайних соотношения площадей анода и катода – минимальное (случай с внутренним катодом) и максимальное (случай с внешним катодом). Отмечено, что в условиях изменения соотношения площадей катод/анод меняется состав покрытия, скорость его формирования.

Однако необходимо получить более системные данные о влиянии соотношения площадей катода и анода на МДО металлической поверхности, потому что, как показала практика и частный случай, описанный в указанной работе, изменение соотношения S_k/S_a позволяет управлять процессом МДО и, как следствие, управлять свойствами получаемых покрытий.

Определение влияния межэлектродного расстояния, оптимального соотношения размеров анода и катода на свойства покрытий, производительность процесса МДО позволит более эффективно использовать технологию микродугового оксидирования в производственных целях.

В предлагаемой статье приведены результаты экспериментальной работы, в которой моделировались условия получения МДО-покрытия на деталях с площадью покрытия не более 5 дм².

Методика эксперимента

Для проведения эксперимента по определению влияния межэлектродного расстояния изготавливали образцы из листа сплава алюминия АМг2М размерами 150x170x2 мм. Площадь покрытия 5 дм². Образец располагался в ванне МДО равноудаленно относительно зеркала электролита, стенок и дна ванны МДО. Межэлектродным расстоянием

считалось расстояние между плоской поверхностью образца и параллельными стенками ванны, выполнявшими роль катодов. Были установлены следующие значения межэлектродного расстояния: 250 мм, 150 мм, 60 мм. Использовалась ванна МДО с змеевиками для охлаждения и барботажем для перемешивания раствора, рабочим объемом 240 литров, изготовленная из нержавеющей стали марки 08Х18Н10.

Для проведения исследования влияния соотношения площадей катода и анода на процесс формирования МДО-покрытия использовали образцы из сплава алюминия АМг2М размерами 150x170 мм. Площадь покрытия 5 дм². В качестве противоэлектрода использовали пластины из нержавеющей стали марки 08Х18Н10 с размерами: 560x500 мм, 280x500 мм, 140x500 мм, 50x500 мм, 20x250 мм, обеспечивающими соотношение площадей S_k/S_a : 11, 6, 3, 1, 0,3

Использовалась ванна МДО с змеевиками для охлаждения и барботажем для перемешивания раствора и рабочим объемом 240 литров, изготовленная из полипропилена.

В обоих случаях температура раствора составляла 20-25°С и поддерживалась работой чиллера. МДО проводили в слабощелочном электролите «Manel-W» (рН=8) разработанном АО МАНЭЛ. Электрические параметры обеспечивались импульсным источником питания ARCCOR, разработанным компанией АО ЭлеСи и имели следующие значения: напряжение - 500 В, частота следования импульсов - 50 Гц, длительность импульса - 300 мкс. Продолжительность МДО составляла 60 минут.

Толщину покрытия контролировали вихретоковым толщиномером компании QuaniX. Измерение проводили не менее 10 раз на каждом образце, затем рассчитывали среднюю величину. Ошибка измерений прибора составляет 2%.

Значения тока и напряжения контролировали осциллографом UNI-T UTD2025CL 25MHz, 250 MS/s.

Исследование элементного анализа, получение микрофотографий осуществляли при помощи системы с электронными и сфокусированными ионными пучками Quanta 200 3D.

Результаты и их обсуждение

Формирование МДО-покрытия в условиях, когда менялось межэлектродное расстояние и соотношение S_k/S_a , сопровождалось ростом значений импульсного тока и снижением начального значения напряжения - 500 В. Данные приведены в Таблице 1 и Таблице 2.

Скорее всего, такой характер изменения величин импульсных тока и напряжения объясняет-

Таблица 1. Значения импульсных тока и напряжения при меняющемся соотношении S_k/S_a
 Table 1. Values of impulse current and voltage at varying S_k/S_a ratio

| Время, МДО, минуты MDO duration, min | Напряжение, В Voltage, V | Ток, кА | | | | |
|-----------------------------------------|-----------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| | | $S_k/S_a=11$ | $S_k/S_a=6$ | $S_k/S_a=3$ | $S_k/S_a=1$ | $S_k/S_a=0,3$ |
| 10 | 500 | 1,6 | 1,35 | 1,31 | 1,25 | 1,15 |
| 20 | 480 | 1,6 | 1,4 | 1,33 | 1,27 | 1,2 |
| 30 | 475 | 1,65 | 1,45 | 1,35 | 1,3 | 1,26 |
| 45 | 470 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,35 | 1,29 |
| 60 | 460 | 1,75 | 1,6 | 1,48 | 1,4 | 1,33 |

Таблица 2. Значения импульсных тока и напряжения при меняющемся межэлектродном расстоянии
 Table 2. Values of impulse current and voltage at varying interelectrode distance

| Время, МДО, мин MDO duration, min | Напряжение, В Voltage, V | Ток, кА Current, kA | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------|------------|
| | | 250 мм (mm) | 150 мм (mm) | 60 мм (mm) |
| 10 | 510 | 1,05 | 0,94 | 0,8 |
| 20 | 500 | 1,05 | 1 | 0,9 |
| 30 | 495 | 1,1 | 1 | 0,95 |
| 45 | 490 | 1,15 | 1,05 | 1 |
| 60 | 485 | 1,2 | 1,15 | 1 |

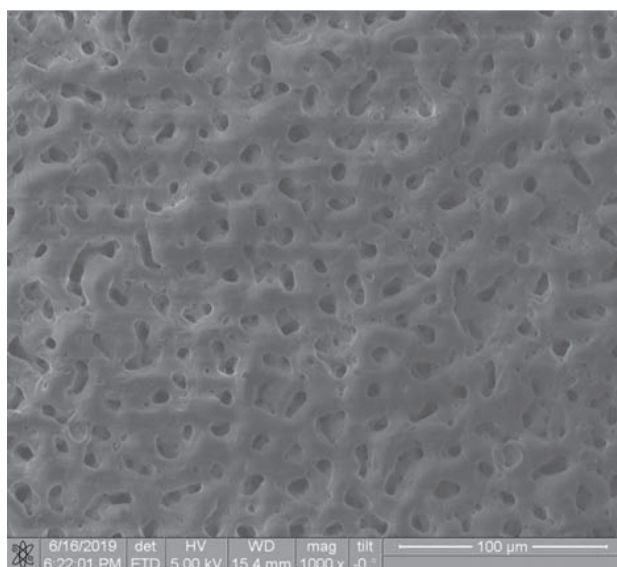


Рис. 1. Микрофотография МДО-покрытия
 Fig. 1. Micrograph of the MO-coating

ся развитой поверхностью покрытия (рис.1) и, как следствие, низким сопротивлением формируемого покрытия, которое составляет не более 103 Ом·м (ГОСТ 9.318-2013). Кроме того, достаточно развитая пористость покрытия позволяет поддерживать стабильную величину плотности тока, что обеспечивает постоянный миграционный поток состав-

ляющих электролита в зону микроплазменной реакции к границе металл-покрытие.

Работа выполнялась в 2 этапа. На первом этапе планировали определить межэлектродное расстояние, при котором скорость формирования покрытия максимальная. На втором этапе, используя выбранное межэлектродное расстояние, выявляли соотношение S_k/S_a , при котором толщина покрытия максимальная за 60 минут МДО.

Влияние соотношения площадей анода и катода на скорость формирования МДО-покрытия. Как видно из рис. 2 независимо от соотношения площадей S_k/S_a , скорость формирования МДО-покрытия меняется линейно. Однако, можно отметить, что с уменьшением площади катода процесс формирования замедляется. Так при соотношении $S_k/S_a=0,3$ скорость формирования покрытия снизилась настолько, что не удалось измерить толщину покрытия. С минимальной ошибкой удалось измерить толщину покрытия, полученного только после 30 минут МДО. При соотношении $S_k/S_a=1$ первые измерения толщины покрытия стали возможными после 20 минут МДО. Значительно выросла скорость формирования покрытия после того, как соотношение S_k/S_a превысило 1. На начальном этапе микродугового оксидирования, первые 10 минут, для соотношений, равных 6 и 3, скорость формирования покрытия составляла 0,7 мкм/мин приблизительно. В дальнейшем она

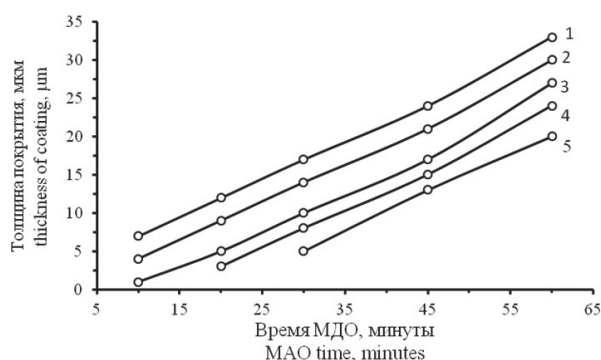


Рис. 2. Влияние соотношения площадей катода и анода на скорость формирования МДО-покрытия. Варианты соотношения площадей катода и анода, S_k/S_a : 1-11, 2-6, 3-3, 4-1, 5-0,3

Fig.2. Influence of the ratio of cathode and anode areas on the rate of MAO coating formation. Variants of the ratio of cathode and anode areas, S_k/S_a : 1-11, 2-6, 3-3, 4-1, 5-0.3

снижалась и составила 0,45-0,55 мкм/мин. Максимальная скорость формирования достигалась при $S_k/S_a=11$. Она составляла 0,9 мкм/мин.

Влияние межэлектродного расстояния на скорость формирования покрытия. Для оценки влияния межэлектродного расстояния было выбрано соотношение площадей катода и анода $S_k/S_a=11$, как наиболее эффективно влияющее на скорость формирования МДО-покрытия.

Уменьшение расстояния между электродами показало, что скорость формирования МДО-покрытия растет (рис.4). При этом меняется состав покрытия. С уменьшением расстояния между электродами в покрытии увеличивается содержание компонентов электролита Р и F (табл. 3), что приводит к снижению физико-механических свойств покрытия [6]. Скорее всего, уменьшение межэлектродного расстояния приводит к росту напряженности электрического поля, что в свою очередь делает миграцию компонентов электролита основной стадией доставки в зону реакции на границу раздела электрод-раствор.

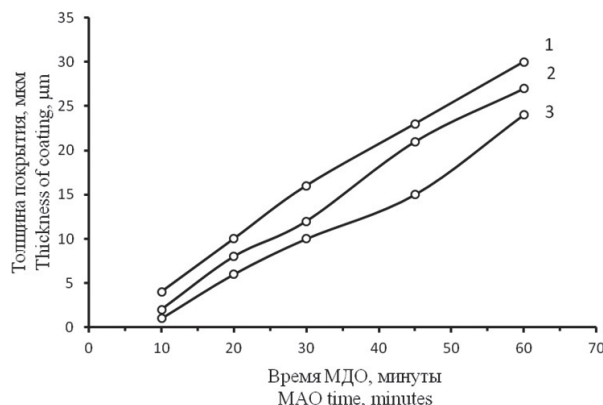


Рис. 3. Влияние межэлектродного расстояния на скорость формирования МДО покрытия. Варианты расстояния между катодом и анодом: 1 – 60 мм, 2 – 150 мм, 3 – 250 мм

Fig.3. Influence of the interelectrode distance on the formation rate of MAO coating. Variants of the distance between the cathode and anode: 1 - 60 mm, 2 - 150 mm, 3 - 250 mm

Выводы

Таким образом, для приведенных в этой статье условий, линейная скорость формирования МДО-покрытия сохраняется, как при изменении межэлектродного расстояния, так и при изменении соотношения S_k/S_a , что говорит о высокой скорости формирования покрытия.

В тоже время отмечено изменение скорости формирования МДО-покрытия в зависимости от соотношения площадей S_k/S_a и межэлектродного расстояния, что необходимо учитывать при решении конкретных практических задач, для повышения производительности процесса и качества покрытия. Уменьшение площади катода по отношению к аноду приводит к тому, что мы вынуждены увеличить время МДО для получения покрытия нужной толщины, а значит и с требуемыми свойствами. Уменьшение межэлектродного расстояния повышает скорость формирования МДО-покрытия но приводит к изменению состава покрытия, что также необходимо учитывать при разработке технологического процесса и оборудования МДО.

Таблица 3. Элементный состав МДО-покрытия
Table 3. Elemental composition of the MAO-coating

| Межэлектродное расстояние, мм Interelectrode distance, mm | Основные компоненты элементного состава, % Major components of elementary composition, % | | | | |
|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|---|----|
| | Al | P | Na | F | O |
| 60 | 21 | 28 | 8 | 6 | 33 |
| 150 | 26 | 23 | 6 | 4 | 29 |
| 250 | 27 | 18 | 10 | 4 | 30 |

Литература

1. Черненко В.И., Снежко Л.А., Папанова И.И. Получение покрытий анодно-искровым электролизом – Л.: Химия, 1991. – 128 с.
2. Мамаев А.И., Мамаева В.А. Сильноточковые процессы в растворах электролитов – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. – 254 с.
3. Суминов И.В. Эпельфельд А.В., Людин В.Б. и др. Микродуговое оксидирование – М.: ЭКО-МЕТ, 2005. – 368 с.
4. Виноградов С.С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчёт производства, нормирование – Изд. 2-е, перераб. и доп.; М.: «Глобус», 2005. – 240 с.
5. Бутягин П.И., Мамаев А.И. Влияние внутреннего электрода на процесс формирования покрытия микродуговым оксидированием // Перспективные материалы. 2005. №5. С.85-89
6. Butyagin P., Arbuzova S., Kondratenko A., Bolshanin A. Influence of Anodic Spark Mode Parameters on the Properties of MAO-Coatings // 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), Tomsk, Russia, 2020, pp. 1164-1168, doi: 10.1109/EFRE47760.2020.9241915.

Сведения об авторах

Бутягин Павел Игоревич, к.х.н., генеральный директор АО МАНЭЛ; Телефон: +7 983 346 88 75.

Большанин Антон Владимирович, ведущий инженер АО МАНЭЛ

Арбузова Светлана Сергеевна, к.х.н., начальник отдела разработки покрытий и технологий interelectrode distance

Для цитирования

П.И. Бутягин, А.В. Большанин, С.С. Арбузова. Влияние межэлектродного расстояния и соотношения площадей катода и анода на скорость формирования и состав МДО покрытий // Гальванотехника и обработка поверхности. 2021 Т. 29, № 1. С. 4-8. DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_4

References

1. Chernenko V.I., Snegko L.A., Papanova I.I. *Obtaining of the coatings by anodic spark electrolyze* – L.: Chemistry, 1991. – 128 p.
2. Mamaev A.I., Mamaeva V.A. *High current processes in electrolyte solutions*, Novosibirsk: SB RAS, 2005, 254 p.
3. Suminov IV., Apelfeld A.V., Ludin V.B. and etc. *Microarc oxidation*, Moscow, Ecomet, 2005, 368 p.
4. Vinogradov S.S. [Organisation of galvanic production. Equipment, calculation, norm] Moscow Globus, 2005, 240 p.
5. Butyagin P.I., Mamaev A.I. Influence of the inner electrode on obtaining the coating by microarc oxidation, *Perspective materials*, 2005, no. 5, pp.85-89
6. Butyagin P., Arbuzova S., Kondratenko A., Bolshanin A., *7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE)*, Tomsk, Russia, 2020, pp. 1164-1168, doi: 10.1109/EFRE47760.2020.9241915.

Information about authors

Pavel Butyagin, Cand. Sci. (Chem), General Director of JSC MANEL, tel.: +7 983 346 88 75.

Arbuzova Svetlana, Cand. Sci. (Chem), Head of the R&D Sector of Coatings and Technologies

Bol'shanin Anton, Senior Engineer of JSC MANEL

For citation

P.I. Butyagin, A.V. Bolshanin, S.S. Arbuzova. Influence of the interelectrode distance and the ratio of the cathode and anode areas on the formation rate and properties of MAO coatings. *Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti*, 2021, vol. 29, no. 1, pp. 4-8. DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_4

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_9

УДК 574.64

Обзор исследований воздействия факторов гальванического производства на человека и окружающую среду

**© И.А. Вахнюк¹, К.Ю. Кириченко¹,
К.С. Голохваст^{1,2}, Е.Г. Шабалина¹**

¹Дальневосточный федеральный университет,
690922, Приморский край, остров Русский, п. поселок Аякс, 10

² Тихоокеанский институт географии ДВО РАН,
690041, Владивосток, ул. Радио, 7; Тел. 8(423) 2652424, e-mail: droopy@mail.ru

Целью данной работы являлось рассмотрение вопросов экотоксикологической оценки воздействия различных факторов гальванического производства: шламы, сточные воды и аэрозоль. Обсуждаются экологические особенности воздействия на окружающую среду каждого из перечисленных факторов. Изучению шламов и сточных вод посвящено значительная часть научных исследований, разработаны механизмы переработки и использования отходов гальванического производства при изготовлении строительных материалов и конструкций. Вопросам исследования промышленных аэрозолей гальванического производства исследователями уделено меньшее внимание. Приводятся данные о морфологическом, химическом и гранулометрическом составе и характеристиках частиц гальванического аэрозоля, сформированных при протекании 15 наиболее распространённых электрохимических процессов в условиях промышленного производства. Техногенные частицы промышленного аэрозоля, имеющие диаметр от 10 до 120 нм состоят из соединений токсичных металлов Cr, Ni и других. Соединения металлов в наночастицах, особенно диаметром менее 100 нм представляет повышенную опасность для человека и проявляет токсические свойства вне зависимости от типа металла из-за огромной площади поверхности (от 500 000 до 1 700 000 см²/см³), которая позволяет сорбировать токсичные вещества из окружающей среды. Данные частицы способны распространяться далеко за пределы санитарно-защитной зоны промышленных предприятий и преодолевать значительные расстояния. Внедрение комплекса мер внутри гальванических цехов (очистные сооружения и установки, монтаж принудительно-вытяжной вентиляции и использование современных моделей средств индивидуальной защиты гальванотехниками способны значительно снизить риски негативного воздействия на здоровье человека.

Ключевые слова: гальваническое производство; взвешенные частицы; токсичность, тест-объекты.

Overview of studies on the human and environmental effects of galvanic production particles

**© I.A. Vakhnyuk¹, K.Yu. Kirichenko¹,
K.S. Golokhvast^{1,2}, E.G. Shabalina¹**

¹ Far Eastern Federal University,

690922, Primorsky Territory, Russky Island, village Ajax, 10

² Pacific Institute of Geography, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, 690041, Vladivostok, st. Radio, 7; Tel. 8(423) 2652424, e-mail: droopy@mail.ru

The purpose of this work was to consider the issues of ecotoxicological assessment of the impact of various factors of galvanic production: sludge, waste water and aerosol. The ecological features of the impact on the environment of each of the listed factors are discussed. A significant part of scientific research is devoted to the study of sludge and wastewater, mechanisms for processing and using waste from galvanic production in the manufacture of building materials and structures have been developed. Researchers have paid less attention to the issues of research of industrial aerosols of galvanic production. Data on the morphological, chemical, and granulometric composition and characteristics of galvanic aerosol particles formed during 15 most common electrochemical processes in industrial production are presented. Technogenic particles of industrial aerosol with a diameter of 10 to 120 nm consist of toxic metals Cr, Ni and others. Metal in the form of nanoparticles, especially with a diameter less than 100 nm, poses an increased danger to humans and exhibits toxic properties regardless of the type of metal due to the huge surface area (from 500,000 to 1,700,000 cm²/cm³), which allows the adsorption of toxic substances from atmospheric suspensions. These particles are capable of spreading far beyond the sanitary protection zone of industrial enterprises and covering considerable distances. The introduction of a set of measures inside galvanic workshops (treatment facilities and installations, installation of forced-exhaust ventilation and the use of modern RPE models by electroplating technicians can significantly reduce the risks of negative impact on human health.

Keywords: galvanic production; suspended particles; toxicity, test objects.

Электрохимические процессы по нанесению защитных покрытий современного гальванического производства задействованы в различных отраслях промышленности, в том числе, на предприятиях оборонного сектора и в космонавтике.

Несмотря на современные тенденции и ужесточение природоохранного законодательства, направленные на переход производства к экологически чистым технологиям в области обработки металлических деталей сохраняется высокая степень задействованности электрохимических процессов для нанесения защитных покрытий.

Гальваническое производство включено в перечень объектов I категории по уровню негативного воздействия на окружающую среду [1], нормируемое на основе наилучших доступных технологических разработок.

Постоянное воздействие негативных факторов гальванического производства приводят к возникновению профессиональных заболеваний, в основном заболеваний органов дыхания и верхних дыхательных путей, системы кровообращения, опорно-двигательной системы при стаже работы от 10 до 15 лет.

Современные технологии в промышленности позволяют добиться высокой степени очистки выбросов (до 99%) посредством внедрения вентиляторов с каплеотделителем из пропилена [2], но ввиду иностранного производства данного оборудования модернизация и техническое перевооружение гальванических производств весьма затратное для отечественных предприятий.

Традиционно значительное внимание уделяют очистке сточных вод, насыщенных ионами тяжелых металлов, и в цехах, оснащенных гальваническими ваннами [3, 4], в парадигме становления водохозяйственных проблем, загрязнение водной среды может стать фактором, сдерживающим социально-экономическое развитие страны [5]. В данном направлении разработаны различные рекомендации и выдвинуты предложения [6] по рационализации выбросов и уменьшения антропогенной нагрузки на окружающую среду [7, 8].

Наряду с растущими объемами производства, в целях предотвращения загрязнения окружающей среды в рамках рационального природопользования на территории РФ, особую актуальность имеет решение прикладной задачи по утилизации или переработке гальваношламов [9, 10] и очистке сточных вод [11, 12] гальванического производства, которые содержат высокоопасные вещества, такие как шестивалентный хром [13] и др.

Изучению загрязнения воздуха рабочей зоны, в том числе и нано- и микроразмерных атмосферных взвесей в цехах и на прилегающей террито-

рии придается меньшее значение, несмотря на их фиксирование на значительной удаленности от производственных зданий [14] и значительное влияние аэрозольных частиц на процессы формирования климата в промышленных центрах [15], в которых доля техногенных частиц достигает 45% от общего числа аэрозольных частиц [16].

Нами были обнаружены частицы гальванического аэрозоля в городской среде на расстоянии более 500 м от цехов [14]. В частности, в городе Уссурийск недалеко от локомотиворемонтного депо мы обнаружили наночастицы с диаметром от 10 до 70 нм, которые составляли в пробе более 80% от общего числа частиц.

На рис. 1 показан наиболее характерный снимок, а в табл. 1 приведены результаты энергодисперсионного рентгеноспектрального (ЭДР) анализа двух частиц из числа наиболее тяжелых (на рис. 1 - белые).

Все изученные частицы имели размеры, меньшие или сопоставимые с диаметром электронного пучка микронзонда, поэтому при проведении ЭДР анализа в регистрируемый от частицы сигнал вносится вклад от находящихся рядом частиц алюмосиликатов, что отражено регистрацией примесей Si и Al (см. табл. 1). Атомно-абсорбционный анализ показал присутствие в пробе Cr в количестве 0,001 мкг/мл, а масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой на уровне 0,3 мкг/мл. Помимо хрома второй анализ выявил также наличие Fe в концентрации 10-12 мкг/л [14].

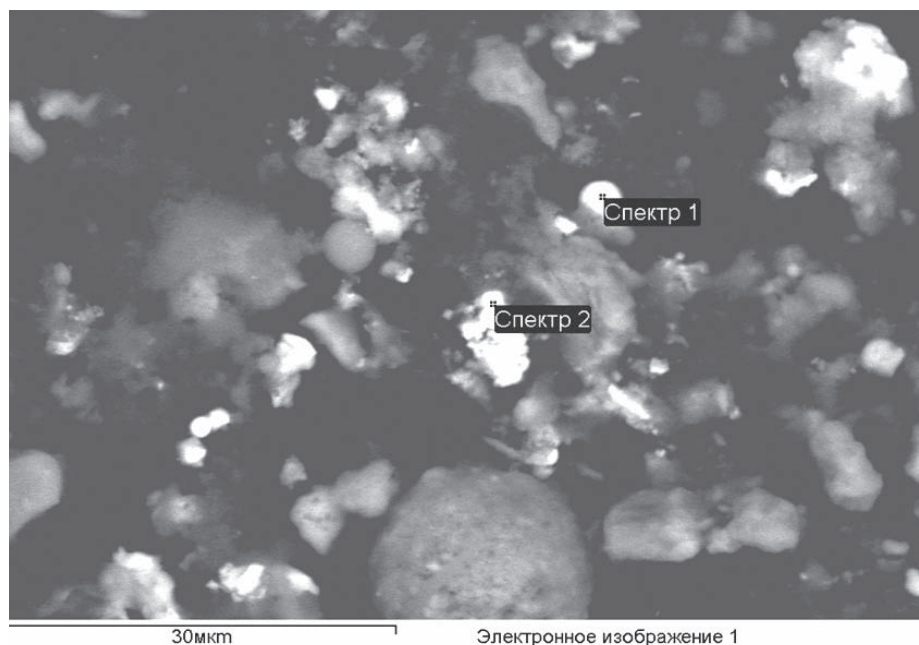


Рис. 1. Обзорный микроснимок частиц из пробы снега в западной части г. Уссурийска, выполненный в отраженных электронах. Белые выделения - металлические частицы

Fig. 1. Overview micrograph of particles from a snow sample in the western part of Ussuriysk, taken in reflected electrons. White discharge - metal particles. (Взято из: [14])

Таблица 1. Состав двух микрочастиц железа различной морфологии
Table 1. Composition of two iron microparticles of different morphology (взято из: [52])

| Элемент element | Спектр 1 spectrum | | Спектр 2 spectrum | |
|--------------------|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| | Масс. % mass% | Атомн. % atomic% | Масс % mass. % | Атомн. % atomic % |
| O | 7.11 | 20.52 | 24.20 | 50.44 |
| Al | | | 2.93 | 3.62 |
| Si | 3.18 | 5.24 | 4.12 | 4.89 |
| Fe | 89.71 | 74.24 | 68.75 | 41.05 |
| Сумма Total | 100.00 | | 100.00 | |

Таблица 2. Морфометрические параметры частиц во взвеси пробы снега
(г. Уссурийск, вблизи от локомотиворемонтного депо)
Table 2. Morphometric parameters of particles in suspension of a snow sample (Ussuriysk, near the locomotive repair depot) (взято из: [14])

| | 0,01-0,07 | 2-3 | 5-7 | 7-12 | 20-30 | 30-40 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----|-----|------|-------|-------|
| Содержание, % Content, % | 84 | 1 | 3 | 5 | 5 | 2 |
| Средний арифметический диаметр, мкм Mean arithmetic diameter, mcm | 2,06 | | | | | |
| Мода, мкм Mode, mcm | 0,031 | | | | | |
| Медиана, мкм Median, mcm | 0,034 | | | | | |
| Отклонение, мкм ² Deviation, mcm ² | 29,05 | | | | | |
| Среднеквадратичное отклонение, мкм Mean square deviation, mcm | 5,39 | | | | | |
| Коэффициент отклонения, % Deviation coefficient, % | 260,96 | | | | | |
| Удельная поверхность, см ² /см ³ Specific surface area, cm ² /cm ³ | 1 711 471,75 | | | | | |

Наночастицы гальванического аэрозоля, обнаруженные нами не на территории цеха, а в зоне жилой застройки, имеют характерные морфометрические характеристики, которые свидетельствуют о потенциальной экологической опасности (Табл. 2).

Подобные наночастицы гальванического аэрозоля были обнаружены и в воздухе города Благовещенска вблизи (около 500 м) ОАО "Судостроительный завод имени Октябрьской революции". При исследовании проб с помощью сканирующего электронного микроскопа во вторичных электродах были визуализированы нано- и микрочастицы металлов, которые с помощью энергодисперсионного анализа были идентифицированы как Fe, Cr, Ca (рис. 2).

Наночастицы гальванического аэрозоля вблизи судостроительного завода в Благовещенске также имеют морфометрические характеристики, свидетельствующие о потенциальной экологической опасности (табл. 3).

Какие же это морфометрические характеристики наночастиц гальванического аэрозоля, которые должны нас насторожить? Во-первых, это частицы, имеющие диаметр от 10 до 120 нм и состоящие из токсичных металлов Cr, Fe и других. Металл в размерной форме наночастиц, особенно диаметром менее 100 нм проявляет токсические свойства вне зависимости от типа металла. Также стоит отметить огромную площадь поверхности (от 500 000 до 1 700 000 см²/см³), которая позволяет сорбировать на своей поверхности любые токсич-

Таблица 3. Морфометрические параметры частиц во взвеси пробы снега (г. Благовещенск, вблизи от судоремонтного завода)

Table 3. Morphometric parameters of particles in suspension of a snow sample (Blagoveshchensk, near the shipyard) (взято из: [14])

| Размер частиц, мкм | 0,01-0,12 | 4-10 | 10-30 | 40-50 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|-------|-------|
| Содержание, % Content, % | 36 | 20 | 24 | 20 |
| Средний арифметический диаметр, мкм Mean arithmetic diameter, mcm | 13,07 | | | |
| Мода, мкм Mode, mcm | 16,29 | | | |
| Медиана, мкм Median, mcm | 7,41 | | | |
| Отклонение, мкм ² Deviation, mcm ² | 214,29 | | | |
| Среднеквадратичное отклонение, мкм Mean square deviation, mcm | 14,63 | | | |
| Коэффициент отклонения, % Deviation coefficient, %S | 111,97 | | | |
| Удельная поверхность, см ² /см ³ Specific surface area, cm ² /cm ³ | 564102,88 | | | |

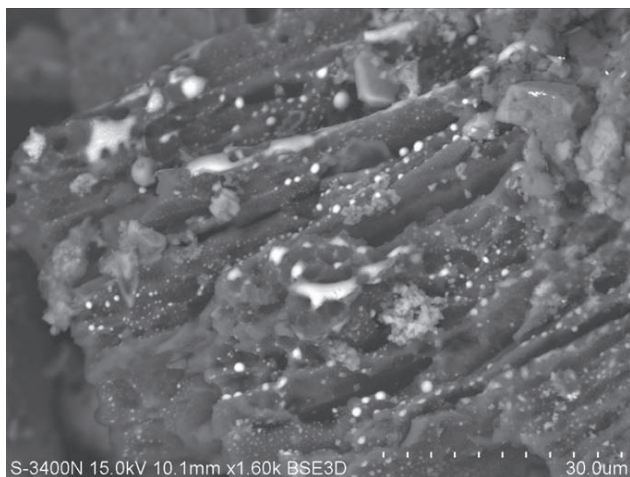


Рис. 2. Полиметаллические нано- и микрочастицы, состоящие из Fe, Cr и Ca, сорбированные на органическом детрите, из образца снега, собранного в районе транспортного кольца по улице Театральной, около ОАО «Судостроительный завод имени Октябрьской революции». Сканирующая электронная микроскопия во вторичных электронах. Увеличение x1600.

Fig. 2. Polymetallic nano- and microparticles consisting of Fe, Cr and Ca, sorbed on organic detritus, from a snow sample collected in the area of the transport ring along Teatralnaya Street, near the Oktyabrskaya Revolution Shipyard. Scanning electron microscopy in secondary electrons. Magnification x1600. Взято из: [14]

ные вещества, например, полиароматические углеводороды (ПАУ) и сажу.

Более подробно мы изучили морфологические и гранулометрические характеристики наночастиц, произведенных на 15-ти гальванических процессах в работе [17]: 1. Осветление алюминия; 2. Травление алюминия; 3. Сернокислотное анодирование; 4. Обезжиривание алюминия; 5. Химическое обезжиривание; 6. Электрообезжиривание; 7. Электрообезжиривание (другой процесс); 8. Цинкование; 9. Снятие травильного шлама; 10. Травление цветных металлов; 11. Хромирование; 12. Никелирование; 13. Химическое никелирование; 14. Кадмирование; 15. Серебрение.

Объединенная диаграмма размерных фракций всех 15-ти процессов приводится на рис. 3 (взято из [17]).

Качественная и морфологическая характеристика частиц гальванического аэрозоля некоторых процессов приводится на рис. 4 (А-Г).

Почти 20 лет назад вышел прекрасный труд С.С. Виноградова под редакцией В.Н. Кудрявцева «Экологически безопасное гальваническое производство», обобщивший основы понимания влияния гальванического производства на окружающую среду [18].

Сегодня мы имеем более совершенные и комплексные методики изучения, а также аналитические инструменты, чтобы продолжать изучать экологическое влияние гальванотехники на окружающий нас мир [19-24].

Стоит отметить, что большинство работ в области экологии гальванического производства

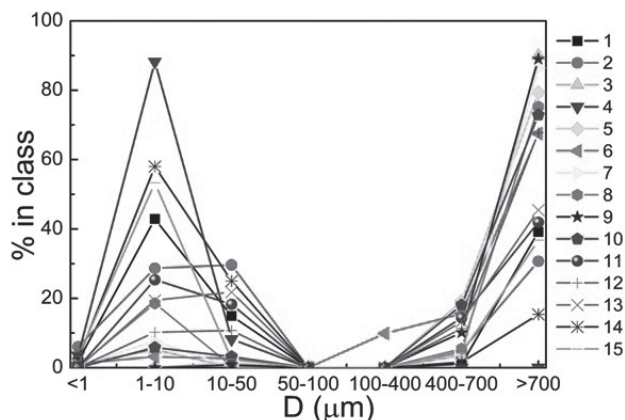


Рис. 3. Сравнение гранулометрического состава частиц гальванического происхождения от всех процессов.

Fig. 3. Comparison of particle size distribution of particles of galvanic origin from all processes

касаются гальванических сточных вод [25–38] или гальванического шлама [39–44].

Гальванические шламы активно используют в производстве строительных материалов, в частности, покрытий и облицовочной плитки [45–48].

Гальванический шлам как побочный продукт гальванической промышленности, считается опасным в связи с наличием тяжелых металлов (Cr, Ni, Cu и Zn). На сегодняшний день существует большое количество работ, посвященных утилизации сточных вод и гальванического шлама. Чаще всего отходы «упаковывают» в твердые матрицы (например, цемент) [49–50].

В работе китайских авторов [51] гальванический шлам смешивали с летучей золой и портландцементом и получали блоки. Результаты показали, что прочность получаемых блоков на сжатие составляет до 15 МПа, поэтому их можно исполь-

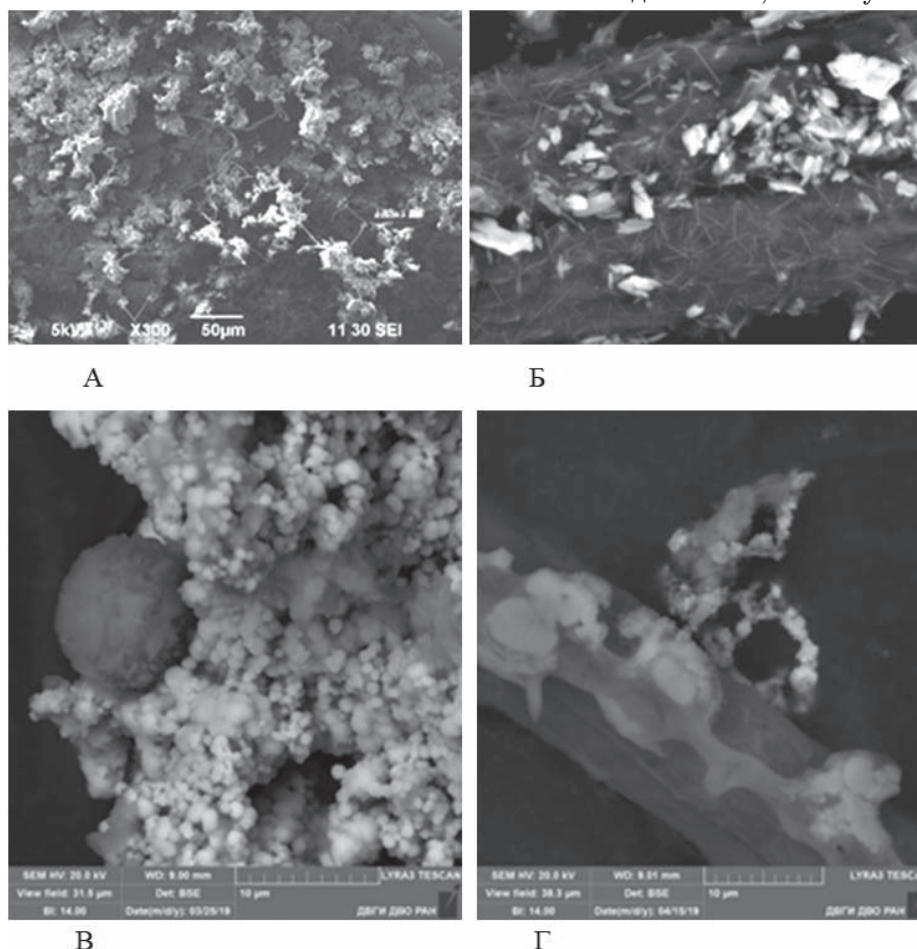


Рис. 4. Частицы гальванического аэрозоля. А) Травление алюминия. Сканирующая электронная микроскопия. (СЭМ). Увеличение x300. Б) Сернокислотное анодирование. СЭМ. Увеличение x1000. В) Хромирование. СЭМ. Измерительный отрезок 10 мкм. Г) Кадмирование. СЭМ. Измерительный отрезок 10 мкм

Fig. 4. Galvanic aerosol particles. A) Aluminum pickling. Scanning Electron Microscopy. (SAM). Magnification x300. B) Sulfuric acid anodizing. SAM. Magnification x1000. C) Chrome plating. SAM. Measuring section 10 microns. D) Cadmium plating. SAM. Measuring section 10 µm. Взято из [17]

зовать в строительстве. Выход отдельных токсичных металлов Zn, Ni и Cu значительно снижался, а других (Cr) все же оставался выше соответствующих предельных значений.

В работе бразильских ученых [24] приводились исследования по созданию состава для затвердевания и стабилизации твердых гальванических отходов с минимальным потреблением обычного портландцемента, без дополнительных добавок, без расхода энергоресурсов и ресурсов окружающей среды. Ими показано, что при соблюдении определенных условий эффективность удержания для токсичных металлов и органических веществ может составлять 99% (за исключением алюминия (95%) и железа (98%)). Основным механизмом удерживания коррелировал с сорбционной и электроотрицательной плотностью гидроксильных групп из мелкодисперсных частиц твердых отходов пород, богатых филлосиликатами.

К большому нашему сожалению, гальванический аэрозоль, в отличие от сточных вод и шлама менее всего изучен как явление и мало изучено его влияние на окружающую среду и человека.

Нами были обнаружены частицы гальванического аэрозоля в городской среде на расстоянии более 500 м от цехов [52-53]. В частности, в городе Уссурийск недалеко от локомотиворемонтного депо мы обнаружили наночастицы с диаметром от 10 до 70 нм, которые составляли в пробе более 80% от общего числа частиц. Подобные наночастицы гальванического аэрозоля были обнаружены и в воздухе города Благовещенска вблизи (около 500 м) ОАО "Судостроительный завод имени Октябрьской революции".

Какие же это морфометрические характеристики наночастиц гальванического аэрозоля, которые должны нас насторожить? Во-первых, это частицы, имеющие диаметр от 10 до 120 нм и состоящие из токсичных металлов Cr, Fe и других. Металл в форме наночастиц, особенно диаметром менее 100 нм проявляет токсические свойства вне зависимости от типа металла [54-55]. Также стоит отметить огромную площадь поверхности (от 500 000 до 1 700 000 см²/см³), которая позволяет сор-

бировать на своей поверхности любые токсичные вещества, например, полиароматические углеводороды (ПАУ) и сажу [56-57].

Экологические эффекты от продуктов гальванического производства изучались на разных живых моделях, в частности:

- бактериях [58-60];
- водорослях [61-64];
- опосредовано на людях [10, 12, 13, 14, 16, 17, 65, 66 и др.].

Для достижения максимальной эффективности мер, направленных на снижение негативного воздействия промышленного аэрозоля, следует придерживаться комплексного подхода и комбинирования различных защитных мероприятий.

Разработка современных средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), способных улавливать и нейтрализовать наиболее опасные фракции и соединения ГА, могут существенно улучшить условия труда гальваников. СИЗОД должны служить последней мерой защиты и дополнять фильтровентиляционные установки и специальные вытяжные системы на рабочих местах гальваников. Для осуществления этой задачи необходимо получить достоверные данные по производным гальванических материалов, с четкой классификацией применяемых растворов по уровню вредности. Результаты таких исследований могут быть применены при подготовке проектов законодательных актов по ограничению использования наиболее опасных с гигиенической точки зрения типов и марок электродов.

Возможен и радикально альтернативный подход – внедрение роботизированных механизмов, что позволило бы уменьшить число профзаболеваний в гальванической отрасли. По сравнению с паллиативными методами борьбы с вредным воздействием факторов ГА такой подход является наиболее предпочтительным. Несмотря на максимальную экономическую затратность данного пути, необходимую для полного переоснащения промышленного парка гальванической отрасли, на сегодняшний день в данном направлении имеется положительная тенденция.

Литература

1. Винокуров Е.Г., Бурухина Т.Ф. Гальваническое производство в России: оценочный подход, задачи повышения ресурсной и экологической эффективности // *Технология металлов*. 2020. № 7. С. 2-6.
2. Крылов Е., Кочетков С., Лейтес И. Современные отечественные гальванические линии для производства ПП высокого класса // *Техноло-*

References

1. Vinokurov E.G., Burukhina T.F. Galvanic production in Russia: evaluation approach, tasks to increase resource and environmental efficiency. *Metal Technology*, 2020, no. 7, pp. 2-6.
2. Krylov E., Kochetkov S., Leites I. Modern domestic electroplating lines for high-class PP production. *Technologies in the Electronics Industry*, 2015, no. 5 (81), pp. 24-27.

- гии в электронной промышленности. 2015. № 5 (81). С. 24-27.
3. Makisha N., Yunchina M. Methods and solutions for galvanic waste water treatment // *MATEC Web of Conferences*. 2017. V. 106. Код 127894. doi: 10.1051/mateconf/201710607016.
4. Мавлетов М.Н., Березин Н.Б., Яруллин А.З., Фаррахов Г.Р., Нуруллин А.Б. Использование циркуляционной станции очистки промывной воды в гальванических производствах // *Вестник Технологического университета*. 2017. Т. 20, № 2. С. 51-53.
5. Дьяченко А.В., Ильин В.И. Разработка технических решений по уменьшению загрязнения окружающей среды гальваническим производством // *Экология промышленного производства*. 2009. № 3. С. 47-49.
6. Синякова М.А., Вольф И.В. Пути сокращения загрязнения природных вод тяжёлыми металлами гальванических производств // *Вода: химия и экология*. 2010. № 3 (21). С. 6-9.
7. Рубанов Ю.К., Токач Ю.Е., Огнев М.Н. Переработка шламов и сточных вод гальванических производств с извлечением ионов тяжелых металлов // *Современные наукоемкие технологии*. 2009. № 3. С. 82-83.
8. Il'yashchenko D.P., Chinakhov D.A., Gotovshchik Y.M. MAW productivity development and reduction of its harmful effect on human organisms // *Applied Mechanics and Materials*. 2014. 682, pp. 122-126.
9. Суржко О.А., Епишин В.В., Оковитая К.О. Термообработка шламов гальванических производств и использование их в производстве строительных материалов // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2015. № 7-4. С. 176-180.
10. Сухарникова М.А., Пикалов Е.С. Исследование возможности производства керамического кирпича на основе малопластичной глины с добавлением гальванического шлама // *Успехи современного естествознания*. 2015., № 10. С. 44-47.
11. Мороз В.В., Урецкий Е.А., Юхимук М.М. Математическая модель технологии очистки стоков окрасочного производства в рамках очистных сооружений гальванического производства // *Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. 2015. № 2 (92). С. 65-68.
12. Селиванов О.Г., Ширкин Л.А., Ильина М.Е., Васильев А.Н. Разработка технологии переработки отходов гальванического производства на экспериментальной установке модульного типа. *Фундаментальные исследования*. 2015. № 7-3. С. 568-572.
3. Makisha N., Yunchina M. Methods and solutions for galvanic waste water treatment // *MATEC Web of Conferences*, 2017. V. 106. Код 127894. doi: 10.1051/mateconf/201710607016.
4. Mavletov M.N., Berezin N.B., Yarullin A.Z., Farrakhov G.R., Nurullin A.B. The use of a circulating wastewater treatment plant in the galvanic industry. *Bulletin of the Technological University*, 2017, vol. 20, no. 2, pp. 51-53.
5. Dyachenko A.V., Il'in V.I. Development of technical solutions to reduce environmental pollution by electroplating production. *Ecology of Industrial Production*, 2009, no. 3, pp. 47-49.
6. Sinyakova M.A., Volf I.V. Ways to reduce pollution of natural waters by heavy metals from electroplating plants. *Water: Chemistry and Ecology*, 2010, no. 3 (21), pp. 6-9.
7. Rubanov Yu.K., Tokach Yu.E., Ognev M.N. Recycling of sludge and wastewater of galvanic plants with the extraction of heavy metal ions. *Modern Knowledge-intensive Technologies*, 2009, no. 3, pp. 82-83.
8. Il'yashchenko D.P., Chinakhov D.A., Gotovshchik Y.M. MAW productivity development and reduction of its harmful effect on human organisms. *Applied Mechanics and Materials*, 2014, vol. 682, pp. 122-126.
9. Surzhko O.A., Epishin V.V., Okovitaya K.O. Thermal treatment of galvanic sludge and its use in the production of building materials. *Actual Problems of Humanities and Natural Sciences*, 2015, no. 7-4, pp. 176-180.
10. Sukharnikova M.A., Pikalov E.S. Study of the possibility of producing ceramic bricks based on low plastic clay with the addition of galvanic sludge. *Advances of Modern Natural Science*, 2015, no. 10, pp. 44-47.
11. Moroz V.V., Uretsky E.A., Yukhimuk M.M. Mathematical model of the technology of wastewater treatment of paint production as part of the treatment facilities of electroplating production. *Bulletin of Brest State Technical University. Water construction, Heat Power Engineering and Geoecology*, 2015, no. 2 (92), pp. 65-68.
12. Selivanov O.G., Shirkin L.A., Il'ina M.E., Vasil'ev A.N. Development of the technology of electroplating wastes recycling at the experimental unit of modular type. *Fundamental Research*, 2015, no. 7-3. pp. 568-572.
13. Tsybul'skaya O.N., Ksenik T.V., Kisel A.A., Yudakov A.A., Perfiliev A.V., Chirikov A.Yu., Buravlev I.Yu. Decontamination of chromium-containing wastes from galvanic production. *Bulletin of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2015, no. 4 (182), pp. 104-112.

13. Цыбульская О.Н., Ксеник Т.В., Кисель А.А., Юдаков А.А., Перфильев А.В., Чириков А.Ю., Буравлев И.Ю. Обезвреживание хромосодержащих отходов гальванического производства // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2015. № 4 (182). С. 104-112.
14. Golokhvast K.S., Shvedova A.A. Galvanic Manufacturing in the cities of Russia: Potential source of ambient nanoparticles. *Plos One*. 2014. V. 9, Issue 10. e110573.
15. Kulmala M., Vehkamäki H., Petaja T., Dal Maso M., Lauri A., Kerminen V.-M., Birmili W., McMurry P.H. Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. *Aerosol Science* 35, 2004, pp. 143-176.
16. Симоненков Д.С. Химический состав антропогенного аэрозоля над промышленными центрами Сибири, Дальнего Востока и Казахстана. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Томск. 2015. 23 с.
17. Kirichenko K.Yu., Vakhniuk I.A., Ivanov V.V., Tarasenko I.A., Kosyanov D.Yu., Medvedev S.A., Soparev V.P., Drozd V.A., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Complex study of air pollution in electroplating workshop // *Scientific Reports*. 2020. 10. Article number: 11282.
18. Винокуров Е.Г., Скичко А.С., Мухаметова Г.М., Кожухарь О.Ю., Бурухина Т.Ф., Мешалкин В.П. Исследование и моделирование процесса подавления биodeградации растворов для химического никелирования // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. 2020. № 4 (91). С. 103-122.
19. Михайлов Б.Н., Михайлов Р.В. Экологические и ресурсосберегающие аспекты хромирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10 (81). С. 228-235.
20. Михайлов Б.Н., Михайлов Р.В. Экологические и ресурсосберегающие аспекты гальванотехники // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2015. № 2 (97). С. 173-183.
21. Ога Р.Н., Мавлютова А.А. Экологическая безопасность в рамках гальваники, как фактор качества продукции // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов «Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе». 2014. С. 179-181.
22. Gurjanov A.V., Zharinov I.O., Zharinov O.O. Environmental safety of galvanic cyber-
14. Golokhvast K.S., Shvedova A.A. Galvanic Manufacturing in the cities of Russia: Potential source of ambient nanoparticles. *Plos One*, 2014, vol. 9, no. 10, e110573.
15. Kulmala M., Vehkamäki H., Petaja T., Dal Maso M., Lauri A., Kerminen V.-M., Birmili W., McMurry P.H. Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations. *Aerosol Science* 35, 2004, pp. 143-176.
16. Simonenkov D.S. Chemical composition of anthropogenic aerosol over industrial centers of Siberia, the Far East, and Kazakhstan. *Abstract of the PhD thesis. Tomsk*, 2015., p. 23.
17. Kirichenko K.Yu., Vakhniuk I.A., Ivanov V.V., Tarasenko I.A., Kosyanov D.Yu., Medvedev S.A., Soparev V.P., Drozd V.A., Kholodov A.S., Golokhvast K.S. Complex study of air pollution in electroplating workshop. *Scientific Reports*, 2020, no. 10, 11282.
18. Vinokurov E.G., Skichko A.S., Muhametova G.M., Kozhuhar O.YU., Buruhina T.F., Meshalkin V.P. Issledovanie i modelirovanie processa podavleniya biodegradacii rastvorov dlya himicheskogo nikelirovaniya. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. Seriya Estestvennye nauki*. 2020, no. 4 (91), pp. 103-122.
19. Mihajlov B.N., Mihajlov R.V. Ekologicheskie i resursosberegayushchie aspekty hromirovaniya. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, no. 10 (81), pp. 228-235.
20. Mihajlov B.N., Mihajlov R.V. Ekologicheskie i resursosberegayushchie aspekty galvanotekhniki. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2015, no. 2 (97). pp. 173-183.
21. Oga R.N., Mavlyutova A.A. Ekologicheskaya bezopasnost' v ramkah galvaniki, kak faktor kachestva produkcii. *Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov, molodyh uchyonih i specialistov «Energoberezhenie i innovacionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse»*, 2014, pp. 179-181.
22. Gurjanov A.V., Zharinov I.O., Zharinov O.O. Environmental safety of galvanic cyber-

- production // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. 548(5). 052042.
23. Reese A., Voigt N., Zimmermann T., Irrgeher J., Pröfrock D. Characterization of alloying components in galvanic anodes as potential environmental tracers for heavy metal emissions from offshore wind structures // *Chemosphere*. 2020. 257. 127182.
24. Souza Barreto L.S., Ghisi E., Godoi C., Santos Oliveira F.J. Reuse of ornamental rock solid waste for stabilization and solidification of galvanic solid waste: Optimization for sustainable waste management strategy // *Journal of Cleaner Production*. 2020. V. 275. 122996.
25. Фомичев В.Т., Вурдова Н.Г. Решение экологических проблем в гальванике // В сборнике: Экологическая безопасность и экономика городских и теплоэнергетических комплексов. Материалы Международной научно-практической конференции. 1999. С. 162-165.
26. Рябухин А.Г., Кошелев И.В. Безотходная технология очистки промывных и сточных вод гальваники и травления металлов // *Известия Челябинского научного центра УрО РАН*. 2002. № 4. С. 111-120.
27. Бродский В.А., Колесников В.А., Ильин В.И. Подходы к интенсификации электрофлотационного процесса извлечения труднорастворимых соединений Ni из сточных вод гальванических производств // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2010. Т. 18, № 3. С. 41.
28. Корчик Н.М. Очистка сточных вод гальванического производства с возвратом воды на операции промывки // *Водоочистка*. 2010. № 9. С. 21-25.
29. Перельгин Ю.П., Зорькина О.В., Безбородова О.Е., Зуева Т.В., Флягин А.А. Новый подход к очистке сточных вод и отработанных электролитов гальванических производств // *Водоочистка, водоподготовка, водоснабжение*. 2010. № 2. С. 54-57.
30. Перельгин Ю.П., Бикунова М.В., Ласьков Н.Н., Шеин А.И. Расчет оптимальных значений водородного показателя при осаждении ионов тяжёлых металлов в сточных водах промышленных предприятий // *Региональная архитектура и строительство*. 2017. № 3. С. 111-116.
31. Харламова Т.А., Колесников А.В., Бродский В.А., Кондратьева Е.С. Перспективные электрохимические процессы в технология очистки сточных вод // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2013. Т. 21, № 1. С. 54.
32. Харламова Т.А., Колесников А.В., Силос О.В., Алафердов А.Ф., Семенов Ю.В., Жуков В.Ю. Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод.
24. Souza Barreto L.S., Ghisi E., Godoi C., Santos Oliveira F.J. Reuse of ornamental rock solid waste for stabilization and solidification of galvanic solid waste: Optimization for sustainable waste management strategy. *Journal of Cleaner Production*, 2020, vol. 275, 122996.
25. Fomichev V.T., Vurdova N.G. Reshenie ekologicheskikh problem v galvanike. V sbornike: *Ekologicheskaya bezopasnost i ekonomika gorodskikh i teploenergeticheskikh kompleksov. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, 1999, pp. 162-165.
26. Ryabuhin A.G., Koshelev I.V. Bezotходnaya tekhnologiya ochistki promyvnykh i stochnykh vod galvaniki i travleniya metallov. *Izvestiya CHelyabinskogo nauchnogo centra UrO RAN*, 2002, no. 4, pp. 111-120.
27. Brodskij V.A., Kolesnikov V.A., Ilin V.I. Podhody k intensivkacii elektroflotacionnogo processa izvlecheniya trudnorastvorimyh soedinenij Ni iz stochnykh vod galvanicheskikh proizvodstv. *Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti*, 2010, vol. 18, no. 3, pp. 41.
28. Korchik N.M. Ochistka stochnykh vod galvanicheskogo proizvodstva s vozvratom vody na operacii promyvki. *Vodoochistka*, 2010, no. 9, pp. 21-25.
29. Perelygin YU.P., Zorkina O.V., Bezborodova O.E., Zueva T.V., Flyagin A.A. Novyj podhod k ochistke stochnykh vod i otrabotannykh elektrolitov galvanicheskikh proizvodstv. *Vodoochistka, vodopodgotovka, vodosnabzhenie*, 2010, no. 2, pp. 54-57.
30. Perelygin YU.P., Bikunova M.V., Laskov N.N., Shein A.I. Raschet optimalnykh znachenij vodorodnogo pokazatelya pri osazhdenii ionov tyazhyolykh metallov v stochnykh vodah promyshlennykh predpriyatij. *Regionalnaya arhitektura i stroitelstvo*, 2017, no. 3, pp. 111-116.
31. Harlamova T.A., Kolesnikov A.V., Brodskij V.A., Kondrateva E.S. Perspektivnye elektrohimiicheskie processy v tekhnologiya ochistki stochnykh vod. *Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti*, 2013, vol. 21, no. 1, pp. 54.
32. Harlamova T.A., Kolesnikov A.V., Silos O.V., Alaferdov A.F., Semenov YU.V., Zhukov V.YU. Perspektivnye elektrohimiicheskie processy v tekhnologiyah obezvrezhivaniya stochnykh vod. CH.SH. Elektrokoagulyaciya. *Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti*, 2015, vol. 23, no. 2, pp. 47-57.
33. Kolesnikov A.V., Kryuchkova L.A., Kisilenko P.N., Kolesnikov V.A. Elektroflotacionnoe izvlechenie ionov tyazhyolykh cvetnykh metallov v sostave mnogokomponentnykh smesey iz stochnykh vod galvanicheskikh proizvodstv. *Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti*, 2015, vol. 23, no. 4, pp. 43-50.

- Ч.П. Электрокоагуляция // Гальванотехника и обработка поверхности. 2015. Т. 23, № 2. С.47-57.
33. Колесников А.В., Крючкова Л.А., Кисиленко П.Н., Колесников В.А. Электрофлотационное извлечение ионов тяжёлых цветных металлов в составе многокомпонентных смесей из сточных вод гальванических производств // Гальванотехника и обработка поверхности. 2015. Т. 23, № 4. С. 43-50.
34. Руденок В.А. Утилизации концентрированных гальванических растворов // Гальванотехника и обработка поверхности. 2015. Т. 23, № 2. С. 44-46.
35. Салихов Р.С. Исследование эффективности полимерного флокулянта при очистке сточных вод гальванических производств // Альманах мировой науки. 2016. № 6-2 (9). С. 128-130.
36. Перелыгин Ю.П. Некоторые вопросы экологии гальванического производства // Гальванотехника и обработка поверхности. 2018. Т. 26, № 2. С. 57-61.
37. Лойко А.В., Каграманов Г.Г., Фарносова Е.Н., Балашова Е.Ю. Удаление кадмия из стоков промывных ванн гальванообработки // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2018. № 5 (125). С. 34-38.
38. Хейн Т.А., Колесников В.А. Влияние природы ПАВ и флокулянта на электрофлотационный процесс извлечения смеси гидроксидов цветных металлов из сточных вод гальванохимических производств // Гальванотехника и обработка поверхности. 2018. Т. 26, № 4. С. 51-58.
39. Наумов В.И., Наумов Ю.И., Галкин А.Л., Сазонтёва Т.В. Утилизация шламов гальванических производств // Гальванотехника и обработка поверхности. 2009. № 3. С. 41-47.
40. Климов Е.С., Давыдова О.А., Бузаева М.В., Семенов В.В., Подольская З.В., Ваганова Е.С., Шарифзянов Р.Б., Ваганов А.С. Экологическая безопасность ферритизированных гальванических шламов // Безопасность жизнедеятельности. 2010. № 9 (117). С. 26-32.
41. Абдрахимов В.З., Пичкуров С.Н., Кайракбаев А.К., Абдрахимова Е.С. Снижение экологического ущерба флоре и фауне за счет использования гальванического шлама и отходов гравитации циркон-илименитовых руд в производстве стенового материала // Экологические системы и приборы. 2017. № 2. С. 44-52.
42. Белкин А.А., Колесников А.Г. Методика исследования гальванических шламов // Международный академический вестник. 2018. № 2 (22). С. 2-6.
43. Качалина А.О., Козьмич К.В., Шилова Н.А., Татаринцева Е.А. Изучение токсичности сорбционных материалов на основе гальваношла-
34. Rudenok V.A. Utilizacii koncentrirovannykh gal'vanicheskikh rastvorov. Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti. 2015. vol. 23, no 2. pp. 44-46.
35. Salihov R.S. Issledovanie effektivnosti polimernogo flokulyanta pri ochildke stochnykh vod galvanicheskikh proizvodstv. Almanah mirovoj nauki, 2016, no. 6-2 (9), pp. 128-130.
36. Perelygin YU.P. Nekotorye voprosy ekologii galvanicheskogo proizvodstva. Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti, 2018, vol. 26, no. 2, pp. 57-61.
37. Lojko A.V., Kagramanov G.G., Farnosova E.N., Balashova E.YU. Uдалenie kadmiya iz stokov promyvnykh vann galvanobrabotki. Vodochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie, 2018, no 5 (125), pp. 34-38.
38. Hejn T.A., Kolesnikov V.A. Vliyanie prirody PAV i flokulyanta na elektroflotacionnyj process izvlecheniya smesi gidroksidov cvetnykh metallov iz stochnykh vod galvanohimicheskikh proizvodstv. Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti, 2018, vol. 26, no. 4, pp. 51-58.
39. Naumov V.I., Naumov YU.I., Galkin A.L., Sazonteva T.V. Utilizaciya shlamov galvanicheskikh proizvodstv. Galvanotekhnika i obrabotka poverhnosti, 2009, no. 3, pp. 41-47.
40. Klimov E.S., Davydova O.A., Buzaeva M.V., Semenov V.V., Podolskaya Z.V., Vaganova E.S., SHarifzyanov P.B., Vaganov A.S. Ekologicheskaya bezopasnost ferritizirovannykh galvanicheskikh shlamov. Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti, 2010, no. 9 (117), pp. 26-32.
41. Abdrahimov V.Z., Pichkurov S.N., Kajrakbaev A.K., Abdrahimova E.S. Snizhenie ekologicheskogo ushcherba flore i faune za schet ispolzovaniya galvanicheskogo shlama i othodov gravitacii cirkon-ilimenitovykh rud v proizvodstve stenovogo materiala. Ekologicheskie sistemy i pribory, 2017, no. 2, pp. 44-52.
42. Belkin A.A., Kolesnikov A.G. Metodika issledovaniya galvanicheskikh shlamov. Mezhdunarodnyj akademicheskij vestnik, 2018, no. 2 (22), pp. 2-6.
43. Kachalina A.O., Kozmich K.V., SHilova N.A., Tatarinceva E.A. Izuchenie toksichnosti sorbcionnykh materialov na osnove galvanoshlama. Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «Innovacionnye puti resheniya aktualnykh problem prirodopolzovaniya i zashchity okruzhayushchej sredy». Otv. red. I.V. Starostina, 2018, pp. 121-125.
44. Kolosova A., Pikalov E., Selivanov O. Sanitary and hygienic assessment of ceramic bricks containing galvanic sludge. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2021, 1259 AISC, pp. 464-470.

- ма // Международная научно-техническая конференция «Инновационные пути решения актуальных проблем природопользования и защиты окружающей среды». Отв. ред. И.В. Старостина. 2018. С. 121-125.
44. Kolosova A., Pikalov E., Selivanov O. Sanitary and hygienic assessment of ceramic bricks containing galvanic sludge // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2021. 1259 AISC, P. 464-470.
45. Giurlani W., Zangari G., Gambinossi F., Passaponti M., Salvietti E., Di Benedetto F., Caporali S., Innocenti M. Electroplating for Decorative Applications: Recent Trends in Research and Development // *Coatings*. 2018. 8. 260.
46. Торлова А.С., Пикалов Е.С. Современные методы утилизации гальванических шламов в производстве керамических изделий // Сборник материалов научно-практических конференций «Дни науки студентов Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых». 2018. С. 690-696.
47. Петрина Д.Е., Перовская К.А. Исследование экологической безопасности строительной керамики, получаемой с использованием техногенных отходов // В книге: Актуальные проблемы экологии: теория, практика, образование. Материалы научно-практической конференции, проведенной в рамках межрегионального молодежного экологического форума «Экореновация-2018». 2019. С. 181-186.
48. Vitkalova I.A., Uvarova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Lanthanum oxide application for modifying the properties of chemically resistant ceramics produced with galvanic sludge additive // *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. 2020. 8(8), 81, P. 4544-4547.
49. Huang R., Huang K.-L., Lin Z.-Y., Wang J.-W., Lin C., Kuo Y.-M. Recovery of valuable metals from electroplating sludge with reducing additives via vitrification // *Journal of Environmental Management*. 2013. V. 129. P. 586-592.
50. Al-Kindi G.Y. Evaluation the solidification/stabilization of heavy metals by Portland Cement // *Journal of Ecological Engineering*. 2019. V. 20 (3). P. 91-100.
51. Xia M., Muhammad F., Li S., Lin H., Huang X., Jiao B., Li D. Solidification of electroplating sludge with alkali-activated fly ash to prepare a non-burnt brick and its risk assessment // *RSC Advances*. 2020. V. 10, Issue 8. P. 4640-4649.
52. Голохваст К.С., Соболева Е.В., Памирский И.Э., Гульков А.Н. Индикация в снеге наночастиц металлов гальванического производства // Вода: химия и экология. 2013. № 9. С. 98-102.
53. Giurlani W., Zangari G., Gambinossi F., Passaponti M., Salvietti E., Di Benedetto F., Caporali S., Innocenti M. Electroplating for Decorative Applications: Recent Trends in Research and Development. *Coatings*, 2018, no. 8. 260.
46. Torlova A.S., Pikalov E.S. Sovremennye metody utilizacii galvanicheskikh shlamov v proizvodstve keramicheskikh izdelij. *Sbornik materialov nauchno-prakticheskikh konferencij «Dni nauki studentov Vladimirsikogo gosudarstvennogo universiteta imeni Aleksandra Grigor'evicha i Nikolaya Grigorevicha Stoletovyh»*, 2018, pp. 690-696.
47. Petrina D.E., Perovskaya K.A. Issledovanie ekologicheskoy bezopasnosti stroitelnoj keramiki, poluchaemoj s ispolzovaniem tekhnogennyh othodov. V knige: *Aktualnye problemy ekologii: teoriya, praktika, obrazovanie. Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii, provedennoj v ramkah mezhtseionalnogo molodezhnogo ekologicheskogo foruma «Ekorenovaciya-2018»*, 2019, pp. 181-186.
48. Vitkalova I.A., Uvarova A.S., Pikalov E.S., Selivanov O.G. Lanthanum oxide application for modifying the properties of chemically resistant ceramics produced with galvanic sludge additive. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 2020, 8(8), 81, pp. 4544-4547.
49. Huang R., Huang K.-L., Lin Z.-Y., Wang J.-W., Lin C., Kuo Y.-M. Recovery of valuable metals from electroplating sludge with reducing additives via vitrification. *Journal of Environmental Management*. 2013, vol. 129, pp. 586-592.
50. Al-Kindi G.Y. Evaluation the solidification/stabilization of heavy metals by Portland Cement. *Journal of Ecological Engineering*, 2019, vol. 20 (3), pp. 91-100.
51. Xia M., Muhammad F., Li S., Lin H., Huang X., Jiao B., Li D. Solidification of electroplating sludge with alkali-activated fly ash to prepare a non-burnt brick and its risk assessment. *RSC Advances*, 2020, vol. 10, no. 8, pp. 4640-4649.
52. Golohvast K.S., Soboleva E.V., Pamirskij I.E., Gulkov A.N. Indikaciya v snege nanochastich metallov galvanicheskogo proizvodstva. *Voda: himiya i ekologiya*, 2013, no. 9, pp. 98-102.
53. Golokhvast K.S., Shvedova A.A. Galvanic manufacturing in the cities of Russia: potential source of ambient nanoparticles. *PLOS One*, 2014, vol. 9(10), e110573.
54. Piperigkou Z., Karamanou K., Engin A.B., Gialeli C., Docea A.O., Vynios D.H., Pavão M.S.G., Golokhvast K.S., Shtilman M.I., Argiris A., Shishatskaya E., Tsatsakis A.M. Emerging aspects of nanotoxicology in health and disease: from agriculture and food sector to cancer

53. Golokhvast K.S., Shvedova A.A. Galvanic manufacturing in the cities of Russia: potential source of ambient nanoparticles // *PLOS One*. 2014. 9(10). e110573.
54. Piperigkou Z., Karamanou K., Engin A.B., Gialeli C., Docea A.O., Vynios D.H., Pavão M.S.G., Golokhvast K.S., Shtilman M.I., Argiris A., Shishatskaya E., Tsatsakis A.M. Emerging aspects of nanotoxicology in health and disease: from agriculture and food sector to cancer therapeutics // *Food and Chemical Toxicology*. 2016. V. 91. P. 42-57.
55. Engin A.B., Neagu M., Nikitovic D., Henrich-Noack P., Docea A.O., Shtilman M.I. Golokhvast K.S., Tsatsakis A.M. Mechanistic understanding of nanoparticles' interactions with extracellular matrix: The cell and immune system // *Particle and Fibre Toxicology*. 2017. 14. P. 22.
56. Arias S., Molina F., Agudelo J.R. Palm oil biodiesel: An assessment of PAH emissions, oxidative potential and ecotoxicity of particulate matter // *Journal of Environmental Sciences (China)*. 2021. V. 101. P. 326-338.
57. Mendoza C., Orozco L.Y., Palacio J., López A.F., Agudelo J.R. Genotoxic and Mutagenic Activity of Particulate Matter Gathered in a High Emitter Automotive Diesel Engine Operated with Different Palm Oil-Derived Biofuels. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*, 2021, vol. 143, no. 6, 062301.
58. Kudryavtsev V.N., Gradova N.B., Vinokurov E.G. Influence of chromium compounds of various valence on microorganism growth. *Proceedings of the AESF Annual Technical Conference*, 1993, pp. 169-173.
59. Kanakalakshmi A., Janaki V., Shanthi K., Kamala-Kannan S. Biosynthesis of Cr(III) nanoparticles from electroplating wastewater using chromium-resistant *Bacillus subtilis* and its cytotoxicity and antibacterial activity. *Artificial Cells Nanomedicine and Biotechnology*, 2017, vol. 45, no. 7, pp. 1304-1309.
60. Мухаметова Г.М., Винокуров Е.Г., Бабусенко Е.С., Скопинцев В.Д. Биодegradация растворов для химического никелирования // *Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология*. 2018. Т. 61, № 9-10. С. 89-97.
61. Benvenuti T., Rodrigues M.A.S., Arenzon A., Bernardes A.M., Zoppas-Ferreira J. Toxicity effects of nickel electroplating effluents treated by photoelectrooxidation in the industries of the Sinos River Basin // *Brazilian Journal of Biology*. 2015. V. 75, no. 2 (suppl.), P. S17-S24.
62. Ilyas N., Ilyas S., Sajjad-ur-Rahman Yousaf, S., Zia A., Sattar S. Removal of copper from an electroplating industrial effluent using the native therapeutics. *Food and Chemical Toxicology*, 2016, vol. 91, pp. 42-57.
63. Zabochnicka-Swiatek M., Krzywonos M., Kalaji H.M., El-Sheery N.I., Bien J.B. Influence of clinoptilolite on the efficiency of heavy metal removal from wastewater by *Chlorella vulgaris*. *Desalination and Water Treatment*, 2018, vol. 117, pp. 49-57.
64. Muhametova G.M., Vinokurov E.G., Babusenko E.S., Skopincev V.D. Biodegradaciya rastvorov dlya himicheskogo nikelirovaniya. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Seriya: Himiya i himicheskaya tekhnologiya*, 2018. vol. 61. no. 9-10, pp. 89-97.
65. Benvenuti T., Rodrigues M.A.S., Arenzon A., Bernardes A.M., Zoppas-Ferreira J. Toxicity effects of nickel electroplating effluents treated by photoelectrooxidation in the industries of the Sinos River Basin. *Brazilian Journal of Biology*, 2015, vol. 75, no. 2 (suppl.), pp. S17-S24.
66. Ilyas N., Ilyas S., Sajjad-ur-Rahman Yousaf, S., Zia A., Sattar S. Removal of copper from an electroplating industrial effluent using the native

and modified spirogyra // *Water Science and Technology*. 2018. V. 78, № 1. P. 147-155.

63. Zabochnicka-Swiatek M., Krzywonos M., Kalaji H.M., El-Sheery N.I., Bien J.B. Influence of clinoptilolite on the efficiency of heavy metal removal from wastewater by *Chlorella vulgaris* // *Desalination and Water Treatment*. 2018. V. 117. P. 49-57.

64. Jayakumar R., Rajasimman M., Karthikeyan C. Column studies on sorption of Cr (VI) from aqueous and electroplating wastewater using acid-treated marine brown algae *Sargassum myriocystum* // *Energy Sources. Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects*. 2019. doi: 10.1080/15567036.2019.1680768

65. Kalahasthi R.B., Rao R.H., Murthy R.B., Kumar M.K. Effect of chromium(VI) on the status of plasma lipid peroxidation and erythrocyte antioxidant enzymes in chromium plating workers // *Chem Biol Interact*. 2006.164(3). P. 192-199.

66. Murgia N., Muzi G., Dell' Omo M., Montuschi P., Melchiorri D., Ciabattoni G., Abbritti E.P., Orazi N., Sapia I.E., Abbritti G. Induced sputum, exhaled breath condensate and nasal lavage fluid in electroplating workers exposed to chromium // *Int. J. Immunopathol. Pharmacol*. 2006. 19 (Suppl. 4). P. 67-71.

64. Jayakumar R., Rajasimman M., Karthikeyan C. Column studies on sorption of Cr (VI) from aqueous and electroplating wastewater using acid-treated marine brown algae *Sargassum myriocystum*. *Energy Sources. Part A: Recovery Utilization and Environmental Effects*, 2019, doi: 10.1080/15567036.2019.1680768.

65. Kalahasthi R.B., Rao R.H., Murthy R.B., Kumar M.K. Effect of chromium(VI) on the status of plasma lipid peroxidation and erythrocyte antioxidant enzymes in chromium plating workers. *Chem Biol Interact*, 2006, 164(3), pp. 192-199.

66. Murgia N., Muzi G., Dell' Omo M., Montuschi P., Melchiorri D., Ciabattoni G., Abbritti E.P., Orazi N., Sapia I.E., Abbritti G. Induced sputum, exhaled breath condensate and nasal lavage fluid in electroplating workers exposed to chromium. *Int. J. Immunopathol. Pharmacol*, 2006, 19(4 Suppl), pp. 67-71.

Сведения об авторах

Вахнюк Игорь Анатольевич, аспирант, инженер Департамента промышленной безопасности, тел.: 890496281088, e-mail: vakhnyuk,ia@mail.ru

Кириченко Константин Юрьевич, кандидат биологических наук, доцент Департамента природно-технических систем и техносферной безопасности, тел.: 89502857657, e-mail: kirichenko2012@gmail.com

Голохваст Кирилл Сергеевич, доктор биологических наук, член-корр. РАО, профессор РАН, профессор Департамента природно-технических систем и техносферной безопасности, тел.: 89146907603, e-mail: droopy@mail.ru

Шабалина Екатерина Геннадьевна, специалист Школы естественных наук Дальневосточного федерального университета, тел.: 89502831167, e-mail: ekt89@mail.ru

Information about authors

Vakhnyuk Igor Anatolyevich, postgraduate student, engineer of the Industrial Safety Department, tel.: 890496281088, e-mail: vakhnyuk.ia@mail.ru

Kirichenko Konstantin Yurievich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Natural and Technical Systems and Technosphere Safety, tel.: 89502857657, e-mail: kirichenko2012@gmail.com

Golokhvast Kirill Sergeevich, Doctor of Biological Sciences, Corresponding Member RAO, Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor of the Department of Natural and Technical Systems and Technosphere Safety, tel.: 89146907603, e-mail: droopy@mail.ru

Shabalina Ekaterina Gennadievna, specialist of the School of Natural Sciences Far Eastern Federal University, tel.: 89502831167, e-mail: ekt89@mail.ru

Для цитирования

И.А. Вахнюк, К.Ю. Кириченко, К.С. Голохваст, Е.Г. Шабалина. Сравнительная оценка токсичности гальванического аэрозоля двух электрохимических процессов в биоиспытании на морских микроводорослях // *Гальванотехника и обработка поверхности*. 2021. Т. 29, № 1. С. 9-22.

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_9

For citation

I.A. Vakhnyuk, K. Yu. Kirichenko, K.S. Golokhvast, E.G. Shabalina. Overview of studies on the human and environmental effects of galvanic production particles. *Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti*, 2021, vol. 29, no. 1, pp. 9-22.

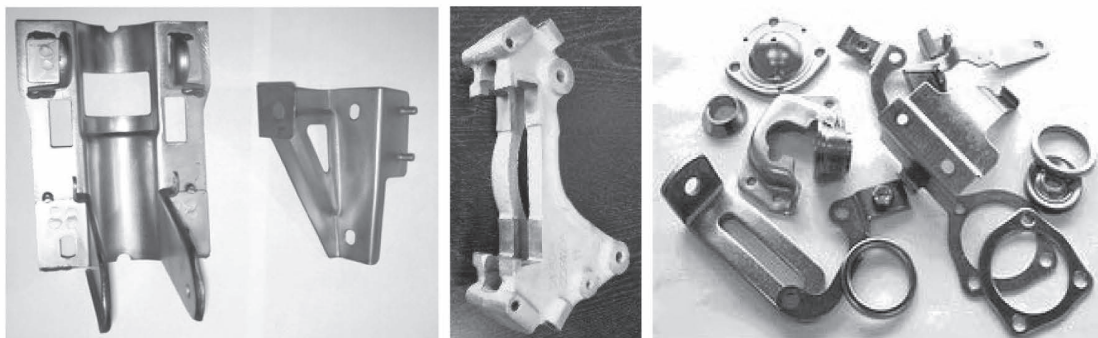
DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_9

ООО «АРБАТ»

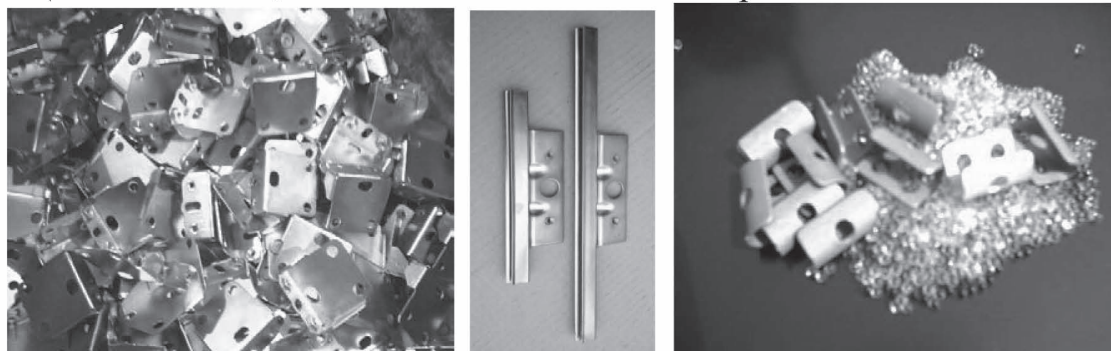
445017, г. ТОЛЬЯТТИ, Молодежный бульвар 22-110,
тел/факс 8482-254632, факс 8482-220352

**ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, БЛЕСКООБРАЗУЮЩИЕ ДОБАВКИ,
ХИМИЧЕСКАЯ ПРОДУКЦИЯ ДЛЯ ГАЛЬВАНОТЕХНИКИ,
ХРОМИТИРОВАНИЕ без Cr(VI)**

Подробнее на: www.galvanicrus.ru



Цинкование в щелочном и слабокислом электролитах



Хромирование без Cr(VI)

Механическое цинкование

Наша продукция:

Блескообразующие композиции **НТЦ-Р** для щелочного цинкования,

Дипо-цинк А и Б для слабокислого цинкования;

Добавки **ЦМ-1А** и **ЦМ-2А** для механического цинкования;

Композиции **Хромит-1А** и **Хромит-2А** для бесцветного и радужного пассивирования (хромирования) цинковых покрытий, не содержит Cr(VI);

Смесь БФЦ-А для хромирования алюминия;

Стеарат СФ-А для пропитки «мылом» фосфатированных заготовок перед холодным выдавливанием.

Фирма «АРБАТ» производит более 30 химических продуктов для машиностроения

Наши партнеры:

Свыше 40 предприятий применяют продукцию фирмы «АРБАТ»

Научно-производственное предприятие "СЭМ.М"

НПП "СЭМ.М" – предприятие, специализирующееся в области гальванотехники, образовано в 1994 г. выпускниками и сотрудниками старейшей в России кафедры Технологии электрохимических производств РХТУ им. Д.И.Менделеева

Мы предлагаем блескообразующие добавки и специальные композиции собственных разработок для гальванических процессов:

- химическое обезжиривание
- электрохимическое обезжиривание
- травление сталей
- цинкование щелочное
- цинкование слабокислое
- пассивация цинковых покрытий - радужная, бесцветная, с голубым оттенком
- пассивация цинковых покрытий на основе соединений хрома (III)
- кадмирование бесцианистое
- никелирование блестящее и матовое
- никелирование из сульфатных электролитов
- никелирование химическое блестящее
- хромирование
- свинцевание
- оловянирование и нанесение сплавов олова
- меднение из кислых и щелочно-тарtratных электролитов
- меднение печатных плат
- патинирование меди и ее сплавов
- травление и химическое оксидирование алюминия
- холодное чернение сталей
- фосфатирование
- адгезионное оксидно-титановое покрытие под ЛКП



ЦКН

зарегистрированный товарный знак
Научно-производственного предприятия "СЭМ.М"

Мы осуществляем разработку, внедрение и сервисное сопровождение электрохимических технологий, отвечающих современным техническим и экологическим требованиям.

**НПП "СЭМ.М" – это стабильное качество,
разумная ценовая политика,
квалифицированные консультации.**

Тел/факс +7-495-978-94-42 +7-901-517-94-42
E-mail: npp-semm@yandex.ru <http://bestgalvanik.ru>



Погружной Электрохимический Модуль

ПЭМ – решение экологических проблем гальванического цеха:

- прекращение сброса отработанных растворов благодаря их регенерации
- создание замкнутых технологических циклов

ПЭМ – не требует ни одного квадратного метра дополнительной площади:

- устанавливается непосредственно в рабочую ванну для регенерации раствора
- устанавливается в ванну улавливания для извлечения из промывной воды ионов, заносимых в неё с деталями

ПЭМ – начальные затраты в 50-500 раз ниже, чем в других методах:

- стоимость одного ПЭМ с комплектующими – от 34 тысяч рублей
- для питания пригодны простейшие источники тока мощностью 0,2-2 кВт

ПЭМ – низкие эксплуатационные расходы:

- электроэнергия – 1-5 кВт·ч в сутки
- трудозатраты на обслуживание – 0,5 ч в неделю

ПЭМ – срок окупаемости – 3-4 месяца



Запросы направлять проф. Кругликову Сергею Сергеевичу
Тел. моб.: 8-916-616-96-99

Email: skruglikov@mail.ru

ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ХИМИКО-ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ И ПОДГОТОВКИ ПЕРЕД ОКРАШИВАНИЕМ ОТ ООО «СОНИС»

- ОБЕЗЖИРИВАНИЕ
- ТРАВЛЕНИЕ
- ЦИНКОВАНИЕ
- ХРОМАТИРОВАНИЕ
- МЕДНЕНИЕ
- НИКЕЛИРОВАНИЕ
- ХРОМИРОВАНИЕ
- ФОСФАТИРОВАНИЕ
- ХОЛОДНОЕ ЧЕРНЕНИЕ

Мы помогаем цеховым
технологам находить
оптимальные решения!



Современные блескообразующие добавки
для цинкования

Качество выше – затраты ниже!

| «Колцинк АЦФ-2» | «Колсид АР-НТ» |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Бесцианистый щелочной | Аммонийно-хлоридный |
| <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая рассеивающая способность- процесс идеален для цинкования сложнопрофилированных изделий 2. Высокоблестящие нетемнеющие покрытия без “пузырей” осаждаются в широком диапазоне параметров 3. Толщину покрытий можно увеличивать до 35 мкм и выше 4. Покрытия пластичные – выдерживают ударные нагрузки, развальцовки, изгибы и т.д. | <ol style="list-style-type: none"> 1. При разогреве электролита до 55 °С и выше качество покрытий сохраняется 2. Электролит пенится мало 3. Цинковать можно в барабанах и на подвесках 4. Покрытия получают без пригаров на выступающих частях и отлично поддаются хромированию 5. Шелушение покрытий отсутствует до значительных толщин (25 мкм и выше) 6. Работает при высоком содержании железа в ванне |



Начиная с 1995 года, более 500 предприятий России и стран СНГ перешли на цинкование с добавками от **ООО «СОНИС»**

Ждём Ваших обращений!

Тел.: (495) 545-76-24

517-46-51

info@sonis-co.ru

www.ooo-sonis.pf

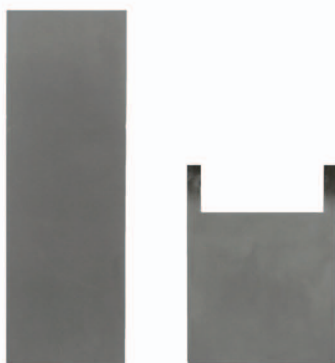
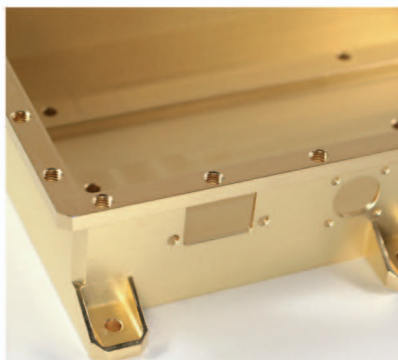


Научно-производственное предприятие «ЭКОМЕТ»

Технологии и оборудование для гальванических производств

Химические продукты от Российского производителя

- подготовка поверхности
- добавки для гальванических процессов
 - цинкование
 - меднение
 - никелирование
 - оловянирование
 - хромирование и пр.
- обработка алюминия и его сплавов
- электролиты золочения и серебрения
- лаковые покрытия (катафорез)
- травление, активация и электрополирование
- временная консервация и пассивация деталей



Услуги

- внедрение технологических процессов
- нанесение серебра, золота и его сплавов
- изготовление платинированных титановых анодов
- химический анализ гальванических растворов



Гальваническое оборудование

- фильтровальные установки Мефиаг
- фильтровальные материалы
- химически стойкие насосы
- выпрямители ФлексКрафт
- пластиковые теплообменники Калорпласт
- ячейки Хулла

Почтовый адрес: 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 31, корпус 4, ИФХЭ РАН, «ЭКОМЕТ»

Тел./факс: (495) 955-45-54, 955-40-33, 954-86-61

Электронная почта: info@ecomet.ru • Интернет: www.ecomet.ru или ecomet.ru



Schlötter

Galvanotechnik

ЛИДЕР В ГАЛЬВАНОТЕХНИКЕ

Гальванические линии
 Гальванические технологии
 Защитные антикоррозионные покрытия
 Функциональные покрытия
 Декоративные покрытия
 Технологии и химикаты для производства печатных плат



**РАСТВОР ХИМИЧЕСКОГО НИКЕЛИРОВАНИЯ
 ОТ КОМПАНИИ SCHLOETTER ИМЕЕТ
 СРОК СЛУЖБЫ ДО ДВУХ МЕСЯЦЕВ.
 А КАК ЧАСТО СВОЙ РАСТВОР
 ХИМИЧЕСКОГО НИКЕЛИРОВАНИЯ МЕНЯЕТЕ ВЫ?**

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЛИНИИ



Линии гальванических покрытий
 Линии для различных технологических процессов изготовления печатных плат



ИННОВАЦИОННЫЕ НАСОСЫ И ТЕХНОЛОГИИ ФИЛЬТРОВАНИЯ



INNOVATIVE PUMP
 AND FILTER TECHNOLOGY

Центробежные насосы с магнитной муфтой
 Погружные центробежные насосы
 Фильтрующие станции и оборудование,
 фильтрующие элементы



MAZURCZAK
 THERMOPROZESSE

НАГРЕВ · БЕЗОПАСНОСТЬ · КАЧЕСТВО



Погружные нагреватели
 ROTKAPPE® / GALMATHERM® / GALMAFORM®
 Оборудование контроля и регулирования температуры и уровня

- Датчики температуры
- Поплавковые датчики уровня
- Электропроводные стержневые датчики уровня
- Контроллеры температуры и уровня

Теплообменники SINOTHERM®



Официальный представитель в России
 компания «ХИМСНАБ», г. Казань
 +7 (843) 214-52-25 / info@chemp.ru / www.chemp.ru



Щелочное цинкование

Цинкамин-02 (блескообразователь)
ДС-ЦО (очиститель)
БНК (усилитель блеска)

Слабокислое цинкование

ЛГ-50 (А, И) ЛГ-09 (А, Б)

Цианистое цинкование

ДС-3

Осаждение сплавов

Цинкамин-ZF (цинк-железо)

Цинкамин-ZN (цинк-никель)

Никелирование

НХС-1, 2, 3



Лучшая химия для гальванотехники



Пассивирующие концентраты (CrVI-free)
Финишная обработка покрытий

Ирида-ХромТри (А, В, АF, ВF, К)

Ирида-СилХром

Силатек-08 (top-coat)

Коррозионностойкие пленки полностью свободные от шестивалентного хрома радужного, голубого и черного цветов



606008, г. Дзержинск, Нижегородская обл., а/я175; тел/факс: (8313) 25-23-46, +7-951-902-91-65
E-mail: igor@chimsn.ru http: www.chimsn.ru



ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

- Добавки для гальваники
LIKONDA, КЕММИКС
- Выпрямительные агрегаты
FlexKraft с пультами ДУ
- Фильтровальные установки
Mefiag
- Электронагреватели
SCANDYMET
- Проектирование и изготовление
оснастки для гальваники
- Изоляция подвесочных
приспособлений



Тел.: (831) 275-82-60, 275-82-61, 275-82-62

www.galvanotech.ru

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГАЛЬВАНИКИ

НАСОСЫ ФИЛЬТРЫ НАГРЕВАТЕЛИ МЕШАЛКИ



ООО «ТД «Элма» Санкт-Петербург, пр. Просвещения 85
тел./факс: (812) 490-75-03; моб. тел.: (911) 921-48-02
www.td-elma.ru; info@td-elma.ru

H₂O

ООО «Баромембранная технология»

г. Владимир

СОВРЕМЕННЫЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОДОПОДГОТОВКИ И ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

- Технологические решения и оборудование для гальванических производств, производств печатных плат и участков травления**
 - Глубокая очистка сточных вод до нормативных показателей ГОСТ 9.314-90, кат.1, 2, 3 «Единая система защиты от коррозии и старения. Вода для гальванического производства и схемы промывок. Общие требования» для создания экологически чистого производства с замкнутым циклом по воде
 - Очистка сточных вод от тяжелых металлов до требуемых нормативов ПДК для слива в канализацию
 - Регенерация отработанных травильных растворов кислот и электролитов
 - Переработка СОЖ, очистка моющих и обезжиривающих растворов
 - Очистка сточных вод станций нейтрализации
 - Промышленная водоподготовка
- Модернизация и реконструкция существующих и строительство новых очистных сооружений**
- Создание безотходных технологий, обеспечивающих замкнутый цикл по воде и рабочим растворам**
- Внедрение инновационных ресурсов и энергосберегающих технологий**

Реализовано более 100 локальных и комплексных очистных сооружений





Свидетельства НП СРО ОПВО и ОСВО на допуск к строительно-монтажным и проектным работам
 Собственное производство оборудования по стандарту ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001:2015)
 Декларация о соответствии Техническому регламенту Таможенного союза ЕврАзЭС

Россия, 600033, Владимир, ул. Элеваторная, 6
 Тел.: (4922) 52-23-43, Факс: (4922) 52-23-52
 E-mail: vladimir@vladbmt.ru
 www.vladbmt.ru

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_32

УДК 621.357.7

Operation of Chromate-Based Solutions without Dumping: Industrial Experience

S.S. Kruglikov¹, E.S. Kruglikova²

¹ D. Mendeleev University of Chemical Technology,
9, Miusskaya Sq., Moscow, 125047, Russia; e-mail: skruglikov@mail.ru

² Moscow Polytechnic University,
38, Bolshaya Semyonovskaya str., Moscow, 107023, Russia

Regeneration of several types of chromate-based solutions used for the treatment of zinc-plated parts including silver-containing “black chromate” has been implemented in several dozen plating shops in Russia, USA and Germany since 1996. Regeneration includes oxidation of trivalent chromium into chromate, removal of zinc ions from the solution and stabilization of its pH. Regeneration eliminates frequent replenishments – additions of chromate and periodic dumping, stabilizes the composition of the solution and thus the quality of the chromate treatment. Operation costs are considerably reduced especially in the case of black chromate due to complete recycling of silver ions. One of the big plating shops using the process for more than 10 years is located in Chicago – “Gatto Industrial Platers, Inc.”. Now similar processes are used in Russia for the regeneration of solutions used for the treatment of copper, copper-based alloys and cadmium- or zinc-plated parts.

Keyword: chromium, chromate-based solutions, electromembrane electrolysis, electrochemical processes, regeneration, plating industry

Безотходная эксплуатация растворов на основе хромата: промышленный опыт

С.С. Кругликов¹, Е.С. Кругликова²

¹ Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,
125047 Москва, Миусская пл., 9; e-mail: skruglikov@mail.ru

² Московский политехнический университет,
107023, Москва, Большая Семеновская, 38,

Регенерация нескольких видов растворов на основе хромата, используемых для обработки оцинкованных деталей, в том числе серебросодержащего “черного хроматирования”, осуществляется с 1996 года в нескольких десятках гальванических цехов России, США и Германии. Регенерация включает окисление трехвалентного хрома в хроматы, удаление ионов цинка из раствора и стабилизацию его

pH. Регенерация исключает частые пополнения – добавления хромата и периодические сбросы, стабилизирует состав раствора и тем самым качество обработки хромата. Эксплуатационные расходы значительно снижаются, особенно в случае черного хромирования, за счет полной утилизации ионов серебра. Один из крупных гальванических цехов, использующих этот процесс уже более 10 лет, находится в Чикаго – “Gatto Industrial Platers, Inc.”. Сейчас аналогичные процессы используются в России для регенерации растворов, используемых для обработки меди, сплавов на основе меди и кадмиевых или цинковых деталей.

Ключевые слова: безотходная технология, конверсионные покрытия, мембранный электролизер, регенерация, хромирование, хромирование, электрохимические процессы

1. Introduction

This article is summarizing information on the application of immersed electrochemical modules (IEMs) which has appeared in the literature for last 5 years.

1.1. Major types of chromate-based solutions

Chromate-based solutions have different applications in the plating industry (Tables 1& 2).

In the processes # 1, # 3 and # 8 chromate-containing solutions are subjected to electrolysis and in the processes # 2, # 4, # 5, # 6 and # 7 hexavalent chromium reacts chemically as an oxidant with the surface of parts which are treated in the solution. The only exception is the process # 4, where the surface of aluminum has been already oxidized in the previous stage.

Oxidation is a major chemical reaction of the material of any surface, when it is brought in contact with any chromate-containing solution. Chromate ions which take part in this reaction are

reduced to trivalent chromium. For example, during the chromate treatment of zinc-plated parts zinc is oxidized and chromate is reduced to trivalent chromium:



Oxidized material either passes completely into the solution (descaling, stripping) or is partially incorporated into the film formed on the surface (conversion coatings). Reduction of chromate into trivalent chromium takes place also in the process of etching of plastics and is one of cathodic reactions in chromium plating, electropolishing and anodizing of aluminum. All these processes result in the built-up of trivalent chromium ions and stripped metal ions like zinc, cadmium, copper, etc. in the process solutions.

In the absence of electrolysis the operation of any chromate-based solution depends on its redox-potential, E , which is expressed for the reaction (1) by the following equation:

$$E = E^0 + \frac{RT}{3F} \ln \frac{C_1 C_2^8}{C_3}, \quad (2)$$

Table 1. Applications of electrochemical processes for the regeneration of chromate-based solutions

| № | Process | Results of the Regeneration |
|---|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Chromium plating | Removal of cationic impurities: Fe^{3+} , Cu^{2+} , etc. |
| 2 | Etching of plastics | Reoxidation of Cr^{3+} to Cr(VI) |
| 3 | Aluminum anodizing | Removal of Al^{3+} and other cations |
| 4 | Sealing of oxide films on aluminum | Reoxidation of Cr^{3+} to Cr(VI) removal of Al^{3+} |
| 5 | Stripping of Cu, Cd, etc. | Removal of metal cations, reoxidation of Cr^{3+} to Cr(VI) , acidification |
| 6 | Bright dipping, descaling, pickling | Removal of metal cations, reoxidation of Cr^{3+} to Cr(VI) , acidification |
| 7 | Chromate conversion coatings | Stabilization of the quality of coatings by maintaining constant composition of the solutions, removal of metal cations, pH-adjusting |
| 8 | Electropolishing | Removal of metal cations, reoxidation of Cr^{3+} to Cr(VI) |
| 9 | Rinse water in reclaim tanks after processes 1 to 8 | Recycling of chromic acid free of cationic impurities, reduction of water consumption |

Table 2. Principal components of chromate-based solutions for different process

| Principal Components |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CrO ₃ |
| CrO ₃ , H ₂ SO ₄ |
| Na ₂ Cr ₂ O ₇ or K ₂ Cr ₂ O ₇ H ₂ SO ₄ or Na ₂ SO ₄ |
| CrO ₃ , Na ₂ CrO ₇ or K ₂ CrO ₇ H ₂ SO ₄ or Na ₂ SO ₄ HNO ₃ |
| CrO ₃ H ₂ SO ₄ |
| CH ₃ COOH or H ₃ PO ₄ AgNO ₃ |

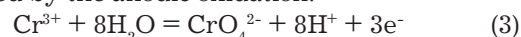
here E° is the standard redox potential of the solution; R is the universal gas constant; T is the absolute temperature; F is Faraday's number; C_1 , C_2 and C_3 are the concentrations of chromate, hydrogen and trivalent chromium ions.

It follows from the equation (2) that E value is especially sensitive to the concentration of hydrogen ions, i.e. to the pH value. If no chemicals are added to the solution in the course of its operation, the redox potential and the quality of the chromate treatment would gradually change. Periodic additions of chromate and an acid can compensate the growth of trivalent chromium concentration and prevent the decrease of the redox potential. However we know from the industrial experience that the operation at increasing concentrations of all solution components has to be stopped finally. For example, for zinc chromate treatment the operation is usually stopped and the solution is dumped, when the concentration of zinc ions reaches 10 to 20 g/l. Similar behavior is observed in other chromate-based solutions operating without passing electric current.

The built-up of trivalent chromium is observed also in chromium plating, electropolishing and aluminum anodizing solutions. Here it is caused by cathodic reduction of chromate and can be controlled usually by proper choice of cathode-to-anode surface ratio. However the built-up of iron in chromium or electropolishing baths as well as the built-up of aluminum ions in the anodizing solutions may be the reason for solutions dumping. For example, the operation of chromium plating solution is usually stopped, when the content of iron ions reaches 10-14 g/l.

1.2. Regeneration as a combination of the electrochemical reaction and the ionic transport through ion-exchange membranes

It is obvious that a conversion of trivalent chromium into hexavalent one can be easily performed by the anodic oxidation:



It is very important that the reaction (3) ensures simultaneous regeneration of both the chromate and the acid just in quantities equivalent to the consumption of these solution components in the reaction (1).

Various metal ions, such as zinc, iron, cadmium, copper, aluminum, etc. are other products of the reaction (1) are built up in the chromate solutions. It is impossible to convert them back into metal state directly in the chromate solution, since chromate ions will be reduced at the cathode and no metal will be deposited on it, if the cathode is placed into the chromate solution. Therefore the solution to be regenerated is contained in the anode compartment of an electrolytic cell and the metal cations are transferred into the cathode compartment through a cation-exchange membrane which separates the anode and the cathode compartments (Fig. 1).

The behavior of zinc ions in the cathode compartment depends on the solution pH: at higher

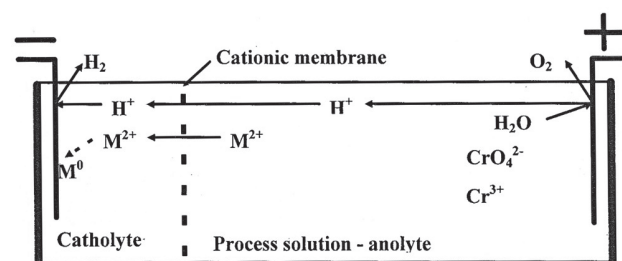


Fig.1. Two-chamber cell with cation-exchange membrane used for the regeneration of zinc passivating solutions

Here t_i is the transport number of a particular ion species; c_i , u_i and z_i are their molar concentrations, mobilities and charge numbers respectively.

It follows from the equation (4) that all chromate-based solutions may be classified on the basis of the concentration of free acid:

- (A) Low acidity;
- (B) High acidity.

A majority of chromate-based solutions belong to (A)-type and a typical examples of (A)-type are zinc and cadmium passivating solutions. Therefore the specific energy consumption for the removal of zinc or cadmium from a passivating solution will be lower than that for the removal of metal ions from solutions with high acidity. However, if the upper limit for the built-up of these ions is high enough, t_i will increase proportionally and will, at least partially, compensate high concentration of hydrogen ions.

Regeneration of a conventional chrome plating solution containing iron ions is an example of a process with very low efficiency since for the concentrations of iron (1 to 10 g/l) and chromic acid (250 g/l) molar concentrations ratio is rather low, and taking into account the difference in their mobilities, we should expect very low value of the transport

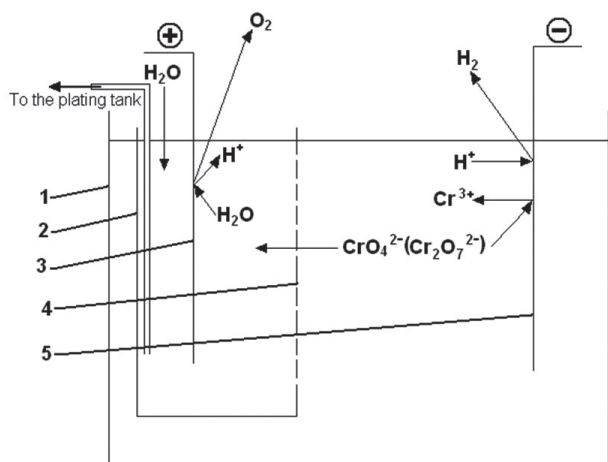


Fig. 4. Reclaim tank with an immersed electrochemical module: 1 - Reclaim tank; 2 - Immersed anodic module; 3 - Anode; 4 - Anionic membrane; 5 - Cathode

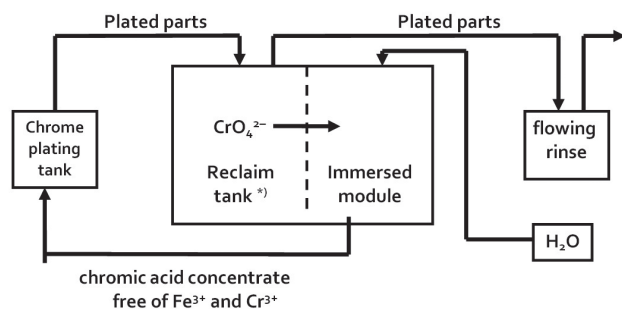


Fig. 5. Flowsheet diagram for reclaim tank with immersed electrochemical module

number of iron ions. The cell used for the removal of iron is similar to that shown in Fig.1.

Therefore it may turn out more economical to recover pure chromic acid from a contaminated solution by the electrolytic transfer of chromate ions from the contaminated solution into the anode compartment through an anion-exchange membrane using a cell shown in Fig. 3.

An interesting example is the regeneration of so-called "black-zinc chromating solution" which is rather expensive, since it contains silver nitrate as an additive. The regeneration process was implemented first on industrial scale in 1993 at "Assmus Metallveredelung" plating shop near Frankfurt (Germany). A couple of years later regeneration of similar solution was implemented at "Gatto Industrial Platers" in Chicago.

Electrochemical regeneration reduces sharply the costs related with making up fresh solutions, costs of replenishments and waste treatment. Practically 100% of silver is circulating in a closed loop, since silver powder deposited at the cathode is dissolved in nitric acid and is returned back into the process tank.

Conventional zinc passivating solutions (yellow, blue, etc.) are being regenerated successfully at tens of plating shops in Russia. The implementation started on large scale in the course of 90ties.

Zinc ions transferred into the cathode compartment can be removed from the catholyte in the form of metal deposited at the cathode (if pH of the catholyte is high enough) or they are accumulated there as zinc sulfate (if pH of the catholyte is maintained below 1). Practically all shops prefer not to have dealt with the removal of dendrites which can destroy the membrane and therefore maintain low pH in the catholyte.

2.2. Passivating of cadmium

Regeneration of cadmium passivating solutions is running in a number of shops in Russia and principally proceeds similarly to the regeneration of zinc passivating solutions. Same solution is used at some shops for both zinc and cadmium.

2.3. Chromate treatment of copper and its alloys

The process is used for about ten years at several shops in ship-building industry and in the manufacture of refrigerators. It is one of most efficient economically, since the solution contains usually only chromic and sulfuric acids. Therefore cheap lead anodes which show highest current efficiency can be used. Copper ions transferred

through the membrane are discharged at the cathode and form copper deposit.

2.4. Processes with restricted concentration of sulfate ions in the chromate-based solutions

Sulfuric acid or acidified sulfate solutions are usually used as the catholyte in the majority of the electrochemical regeneration processes. However there are a number of chromate-based solutions with restricted concentration of sulfate ions. An example of such process is the recovery of chromic acid free of all cationic impurities, including iron, from reclaim tanks installed in chromium plating lines. The process is performed using membrane half-cells immersed into the reclaim tanks. It exists in two versions:

(1) Reclaim tank with a single (anodic) immersed electrochemical module (Figs. 4 & 5)

(2) Reclaim tank with 2 modules (cathodic and anodic) (Fig.6).

Both versions have their advantages and disadvantages. Version (1) is cheaper, consumes by 50% less energy and reduces the input of chromates into the next rinsing tanks more effectively due to lower voltage and the cathodic reduction of those chromate ions which had not passed through the membrane into the anolyte.

Version (2) can, in principle, recycle 100% of chromic acid brought with plated parts into the reclaim tank, whereas in the version (1) only about 50% is recycled and the rest of chromic acid in the reclaim tank is reduced at the cathode to trivalent chromium.

At present time several tens of chromium plating shops in Russia are successfully using version (1) and quite recently few of them have started to use version (2).

Сведения об авторах

Кругликов Сергей Сергеевич - д.х.н., профессор,
e-mail: skruglikov@mail.ru

Кругликова Елена Сергеевна – к.т.н., доцент

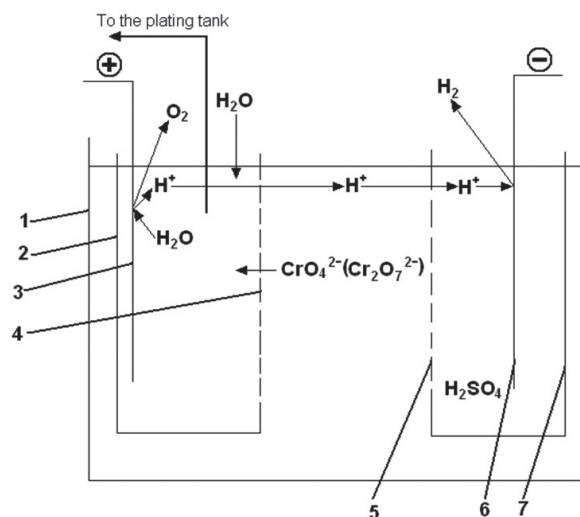


Fig. 6. Reclaim tank with 2 modules (cathodic and anodic)
1 - Reclaim tank; 2 - Anodic module; 3 - Anode; 4 - Anionic membrane; 5 - Cationic membrane; 6 - Cathode; 7 - Cathodic module

2.5. Other processes

Only very few examples and very little information are known to the authors concerning the regeneration of bright dipping, descaling, electropolishing, pickling and etching solutions.

Conclusions

1. Both economical and environmental considerations speak in favor of wide-range implementation of electrochemical regeneration of all chromate-based solutions used in the plating industry.

2. Regeneration ensures better control of the quality of any chromate process solution.

3. Equipment used for the regeneration is not expensive and electric energy consumption is low.

Information about authors

Sergey S. Kruglikov - Dr. Sc. (Chem.), Prof., e-mail:
skruglikov@mail.ru

Elena S. Kruglikova – Cand. Sci. (Eng.), ass. Prof.

Для цитирования

С.С. Кругликов, Е.С. Кругликова. Безотходная эксплуатация растворов на основе хромата: промышленный опыт // Гальванотехника и обработка поверхности. 2021. Т. 29, № 1. С. 32-37.

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_32

For citation

S.S. Kruglikov, E.S. Kruglikova. Operation of Chromate-Based Solutions without Dumping: Industrial Experience. *Galvanotekhnika i obrabotka poverkhnosti*. 2021, vol. 29, no. 1, pp. 32-37.

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_32

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_38

УДК 66.2;544.6;546.76

Закономерности снижения концентрации фенола, цианидов и тиоцианатов комбинированным электрохимическим методом из хлоридно-сульфатных и аммиачных растворов

Т.А. Харламова, Ю.Ю. Атаманова

Московский государственный областной университет,
141014, Московская обл. г. Мытищи, ул. Веры Волошиной, 24.
Тел. 8(495)7800943, доб.1342, e-mail: 9168787573@mail.ru, julia@atamanova.com

В статье рассматривается комбинированный электрохимический метод снижения концентрации токсичных соединений из модельных фенолсодержащих хлоридно-сульфатных растворов и аммиачных трехкомпонентных систем, содержащих фенол (C_6H_5OH), цианиды (CN^-) и тиоцианаты (CNS^-) (табл.1). Эксперименты проводили в монополярном насыпном электролизере цилиндрической формы, позволяющем совместить электрофлоотокоагуляцию (ЭФК) с окислительной деструкцией, в статическом и проточном режимах. Использованы два конструктивно одинаковых электролизера с рабочими объемами 0,2л и 4л, рассчитанные на токовые нагрузки 10А и 100 А, соответственно. Анод состоял из двух частей: насыпной части из стальной стружки и расположенной внутри корпуса электролизера перфорированной титановой трубки, покрытой ОРТА (оксидно-рутениево-титановым покрытием) которая служила токоподводом. Для разделения насыпного анода и катода по внутренней поверхности катода укладывалась полиэтиленовая сетка с размером ячеек 0,8 см и ткань бельтинг. Пенный продукт отделяли механически из верхней части электролизера. Показано, что предложенная конструкция монополярного насыпного электролизера позволяет эффективно снижать токсичные вещества органической и неорганической природы из их смеси. Экспериментальным путем определен режим электрохимической обработки, позволивший получить высокие органолептические показатели обработанных растворов при глубокой степени удаления токсичных компонентов: содержание фенола из сульфатно-хлоридного раствора снижается на 99,2%, из аммиачного трехкомпонентного раствора на 92,3%, содержание тиоцианатов на 97,3% и цианидов на 42,3% (табл. 3, 7). Наибольшая скорость снижения концентрации компонентов наблюдается в первые 20–25 минут электрохимической обработки. Элементным анализом шлама доказано, что из аммиачного раствора ЭФК удаляется до 70–75% фенола, а снижение концентрации CN^- и CNS^- ионов происходит преимущественно за счет их окислительной деструкции. На основании экспериментальных данных рассчитаны затраты электроэнергии на извлечение 1 г суммы удаленных токсичных компонентов в зависимости от их начальной концентрации и степени извлечения (табл. 4, 8).

Ключевые слова: фенол, цианиды, тиоцианаты, электролиз, окислительная деструкция, электрофлоотокоагуляция, монополярный электролизер, насыпной анод.

Regularities of decreasing the concentration of phenol, cyanides and thiocyanates by the combined electrochemical method from chloride-sulfate and ammonia solutions

T.A. Kharlamova, Yu.Yu. Atamanova

Moscow State Regional University, 141014, Moscow Region, Mytishchi,
Vera Voloshina str., 24. tel. 8(495)7800943, ext. 1342, e-mail: 9168787573@mail.ru

The article discusses a combined electrochemical method for reducing the concentration of toxic compounds from model phenol-containing chloride-sulfate solutions and three-component ammonia systems containing phenol (C_6H_5OH), cyanides (CN^-), and thiocyanates (CNS^-) (Table 1). The experiments were carried out in a cylindrical monopolar bulk electrolyzer, which allows combining electroflotocoagulation (EPC) with oxidative destruction, in static and flow modes. Two structurally identical electrolyzers with working volumes of 0.2L and 4L, designed for current loads of 10A and 100A, respectively, were used. The anode consisted of two parts: a bulk part made of steel shavings and a perforated titanium tube, located inside the cell body, covered with an ORTA (ruthenium-titanium oxide coating), which served as a current lead. To separate the bulk anode and the cathode, a polyethylene mesh with a mesh size of 0.8 cm and a belting cloth were laid along the inner surface of the cathode. The frothy product was mechanically separated from the top of the cell. It is shown that the proposed design of a monopolar bulk electrolyzer makes it possible to effectively reduce toxic substances of organic and inorganic nature from their mixture. The mode of electrochemical processing was experimentally determined, which made it possible to obtain high organoleptic characteristics of the treated solutions with a deep degree of removal of toxic components: the phenol content from the sulfate-chloride solution decreases by 99.2%, from the ammonia three-component solution by 92.3%, the thiocyanate content by 97, 3% and cyanides by 42.3% (Table 3. 7). The highest rate of decrease in the concentration of components is observed in the first 20-25 minutes of electrochemical processing. Elemental analysis of the sludge proved that up to 70-75% of phenol is removed from the ammonia solution of EPA, and the decrease in the concentration of CN^- and CNS^- ions occurs mainly due to their oxidative destruction. Based on the experimental data, the electricity consumption for the extraction of 1 g of the amount of removed toxic components was calculated, depending on their initial concentration and the degree of extraction (Table 4. 8).

Keywords: phenol, cyanides, thiocyanates, electrolysis, oxidative destruction, electroflotocoagulation, monopolar electrolyzer, bulk anode.

Введение

Из-за отсутствия в подавляющем случае локальных очистных сооружений гальванические цеха сбрасывают на очистные сооружения предприятия отработанные технологические растворы и промывные воды с самых разных операций обработки металлических поверхностей, образуя высокотоксичные сточные воды смешанного состава. В них могут содержаться вещества как органической, так и неорганической природы, в частности, катионы металлов, ПАВ, красители, этилен- и пропиленгликоли, фенолы, цианистые соединения и др. Обзор научно-технической литературы свидетельствует о том, что электрохими-

ческие методы являются наиболее подходящими для обезвреживания сточных вод относительно небольшого объема, содержащих вещества различной природы [1-7]. С помощью электрохимических методов согласно современной классификации, предложенной авторами [8], можно выделить или разделить токсичные вещества (методы разделения и выделения), разрушить до нетоксичных составляющих (методы превращения), а также возможно комбинированное воздействие (комбинированные методы). Совмещение электрохимических методов разнонаправленного действия имеет положительный опыт применения [9-11]. Настоящее сообщение относится к ра-

ботам в данном направлении с использованием электролизера, позволяющим совместить электрофлокоагуляцию (ЭФК) с окислительной деструкцией, с целью снижения концентрации токсичных компонентов типичных для сточных вод гальванических производств.

Методика эксперимента

Насыпной электролизер. Установка для обработки растворов состояла из монополярного насыпного электролизера, емкости для приема обработанного раствора, перистальтического насоса, источника постоянного тока ВРР 15В/100 А, 1500 Вт.

Корпус монополярного насыпного электролизера представлял собой полый стальной двухстенный цилиндр, внутренняя часть которого, расположенная на расстоянии 0,5 см от внешней части, перфорирована и одновременно служила катодом. Внутри корпуса расположен анодный токоподвод, выполненный из титановой трубки, которая проходит через отверстие в днище электролизера. Часть расположенной внутри корпуса титановой трубки перфорирована и покрыта ОРТА (оксидно-рутениево-титановым покрытием). Через трубку отработанный раствор выводился из реакционной зоны. По внутренней поверхности катода укладывалась полиэтиленовая сетка с размером ячеек 0,8 см и ткань бельтинг для изоляции насыпного анода от катода. Все пространство между изолирующей прокладкой и анодным токоподводом заполнялось стальной стружкой. Обрабатываемый раствор подавался в электролизер через верхний патрубок. Центральная стальная трубка соединена со сливной трубкой резиновым шлангом, которая устанавливалась на таком уровне, чтобы стальная стружка во время работы была полностью заполнена раствором. Обрабатываемый раствор через патрубок поступал в полость корпуса электролизера, проходил через перфорацию катода, насыпной анод, перфорацию

анодного токоподвода и через сливную трубку выводился из электролизера в приемную емкость.

В работе использованы два конструктивно одинаковых электролизера с рабочими объемами 0,2 л и 4 л, рассчитанные на токовые нагрузки 10 А и 100 А, соответственно. Пенный продукт отделяли механически с верхней части электролизера.

Перед началом проведения экспериментов с помощью перистальтического насоса заполняли раствором полость электролизера, включали постоянный ток и при статическом режиме проводили его непрерывную обработку в течение определенного времени. При проведении процесса в проточном режиме обрабатываемый раствор подавали сверху вниз вдоль перфорированного анода с определенной скоростью, собирали в приемной емкости и после полного осаждения шлама определяли остаточную концентрацию компонентов.

Насыпной объем стальной стружки поддерживали на постоянном уровне по мере его расходования. Основным технологическим параметром в работе являлась удельная плотность тока, т.е. сила тока, приходящаяся на 1 г стальной стружки i_v [А/г].

Объектами исследования служили модельные фенолсодержащие хлоридно-сульфатные растворы и аммиачные трехкомпонентные системы, содержащие фенол (C_6H_5OH), цианиды (CN^-) и тиоцианаты (CNS^-) в виде простых солей NH_4CN и NH_4CNS в соотношении 10:1:5,6 (табл. 1). Все компоненты являются высокотоксичными и типичными для современного гальванического производства [12]. Фоновый солевой состав $Na_2SO_4 + NaCl$ с общей концентрацией 5 г/л.

Степень снижения концентрации компонентов α (%) рассчитывали, как отношение разницы между начальной и конечной концентрацией компонента к его начальной концентрации по формуле:

$$\alpha (\%) = [(Co - Cкон.) / Co] \cdot 100 \%$$

Количественное содержание исследуемых компонентов определяли спектрофотометрически.

Таблица 1. Химический состав модельного аммиачного раствора
Table 1. Chemical composition of the model ammonia solution

| № | Показатели Indicators | Концентрация, мг/л Concentration, mg/L |
|---|---------------------------------------|-------------------------------------------|
| 1 | Фенол (C_6H_5OH) | 300 |
| 2 | Цианиды (CN^-) | 30,28 |
| 3 | Тиоцианаты (CNS^-) | 169,49 |
| 5 | Аммиак общий ($NH_4^+ + NH_3$) | 10 220 |
| 6 | pH | 8 |
| 9 | ООУ*, (Total organic Carbone - TOC) % | 62 |

*ООУ- общий органический углерод

Таблица 2. Влияние объемной плотности тока на скорость осаждения железосодержащего шлама и органолептическую характеристику обработанного фенолсодержащего хлоридно-сульфатного раствора

Table 2. Influence of the volumetric current density on the sedimentation rate of the iron-containing sludge and the organoleptic characteristics of the treated phenol-containing chloride-sulfate solution

| № п/п | i_v , А/г i_v , A/g | Скорость осаждения шлама, м/ч The settling velocity of the sludge m/h | Органолептическая оценка раствора после обработки Organoleptic evaluation of the solution after treatment | |
|----------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| | | | Цвет Colour | Запах Smell |
| 1 | $2,5 \cdot 10^{-3}$ | 2,0 | окрашен (зеленый) | сильный |
| 2 | $6,2 \cdot 10^{-3}$ | 1,5 | окрашен (оранжевый) | сильный |
| 3 | $2,5 \cdot 10^{-2}$ | 1,5 | б/цв | сильный |
| 4 | $5 \cdot 10^{-2}$ | 0,8 | б/цв | без запаха |
| 5 | $7,5 \cdot 10^{-2}$ | 0,6 | б/цв | без запаха |

Таблица 3. Влияние скорости протока раствора на степень снижения концентрации фенола
Table 3. Effect of the flow rate of the solution on the degree of decrease in the concentration of phenol

| № | Скорость протока раствора, л/ч Solution flow rate, l / h | Концентрация фенола после обработки, мг/л* Concentration of phenol after treatment, mg/l* | Степень снижения, % Degree of reduction, % |
|---|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1 | 8 | 70 | 30 |
| 2 | 1,5 | 13,5 | 86,5 |
| 3 | 0,5 | 0,85 | 99,2 |

*Исходная концентрация фенола 100 мг/л

ким методом с использованием известных методик [13, ГОСТ 31863-2012].

Результаты и их обсуждение

1. Электрохимическая обработка фенолсодержащего хлоридно-сульфатного раствора в проточном режиме

С целью выбора условий для оптимального соотношения окислительного деструктивного процесса и ЭФК были проведены эксперименты с фенолсодержащим раствором в проточном режиме с использованием электролизера объемом 0,2 л.

Влияние удельной плотности тока. При $i_v < 5 \cdot 10^{-2}$ А/г и скорости протока раствора ~1,5 л/ч органолептические показатели обработанного раствора оказались не удовлетворительными, на что указывает появление окраски и неприятного резкого запаха. Данный факт свидетельствует о не достижении оптимального соотношения окислительного деструктивного процесса и ЭФК. При увеличении удельной плотности тока до $i_v = 5 \cdot 10^{-2}$ А/г и выше было отмечено снижение скорости осаждения железосодержащего шлама

и улучшение органолептических показателей обработанного раствора, что отражено в табл. 2.

Влияние скорости протока раствора. Исследовано влияние скорости протока раствора на удаление фенола при экспериментально выбранной $i_v = 5 \cdot 10^{-2}$ А/г. Для этого проведена серия экспериментов, в которых скорость протока изменяли в пределах от 0,5 до 8 л/ч. Полученные результаты (табл. 3) показывают, что при уменьшении скорости протока раствора в ~16 раз степень снижения концентрации фенола возрастает почти в ~3 раза: с 30% до 99,2%, а обработанный раствор приобретает хорошие органолептические показатели (отсутствие цвета и запаха).

Из выполненного весового анализа насыпного анода следует, что выход по току железа при $i_v = 5 \cdot 10^{-2}$ А/г и скорости протока раствора через электролизер 0,5 л/ч составил ~68%.

При дальнейшем снижении скорости протока возникли трудности с отводом тепла, в то время как степень снижения концентрации фенола возросла незначительно.

Таблица 4. Затраты электроэнергии на удаление 1 г фенола из сульфатно-хлоридного раствора
Table 4. Energy consumption for the removal of 1 g of phenol from a sulfate-chloride solution

| № | Исходная концентрация, мг/л Initial concentration, mg/l | Концентрация после обработки, мг/л Concentration after treatment, mg/l | Количество удаленного фенола, мг Amount of removed phenol, mg | Время обработки, ч Processing time, h | Затраты электроэнергии, кВт·ч/г Energy consumption, kWh /g |
|---|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 1 | 100 | 70 | 6 | 0,025 | 0,062 |
| 2 | 100 | 17 | 17,3 | 0,133 | 0,112 |
| 3 | 100 | 0,85 | 19,8 | 0,4 | 0,303 |

Таблица 5. Влияние объемной плотности тока на снижение концентрации компонентов аммиачного раствора

Table 5. Effect of the volume current density on the decrease in the concentration of the components of the three-component ammonia solution

| № п/п | Показатели Indicators | Концентрация, мг/л Concentration, mg / l | | | Степень снижения, % Degree of reduction, % | |
|-------|-----------------------|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------|
| | | Исходная Initial | После обработки* After processing | | $i_v = 0,03$ А/г $i_v = 0,03$ А/г | $i_v = 0,05$ А/г $i_v = 0,05$ А/г |
| | | | $i_v = 3 \cdot 10^{-2}$ А/г $i_v = 3 \cdot 10^{-2}$ А/г | $i_v = 5 \cdot 10^{-2}$ А/г $i_v = 5 \cdot 10^{-2}$ А/г | | |
| 1 | Фенолы | 300 | 99,8 | 50,3 | 66,7 | 83,4 |
| 2 | Цианиды | 30,28 | 28,12 | 23,79 | 7,1 | 22 |
| 3 | Тиоцианаты | 169,49 | 79,09 | 26,15 | 53,3 | 84,6 |
| 4 | Аммиак общий | 1022 | | | | |
| 5 | ООУ, % | 62 | 49,7 | 26,7 | 19,8 | 56,9 |
| 6 | pH | 8 | 9 | 9 | - | - |

*Общее время обработки 25 минут

Энергопотребление. На основании экспериментальных данных рассчитаны затраты электроэнергии на удаление 1 г фенола из сульфатно-хлоридного раствора комбинированным методом в зависимости от времени его обработки и глубины удаления фенола, которые приведены в табл. 4.

2. Электрохимическая обработка аммиачного трехкомпонентного раствора в статическом режиме

Влияние удельной плотности тока. С целью определения влияния удельной плотности тока на эффективность снижения токсичных компонентов из аммиачного раствора проведена серия экспериментов в электролизере объемом 4 л при двух различных токовых нагрузках в статических условиях. Усредненные результаты химических анализов растворов после электролиза при $i_v = 3 \cdot 10^{-2}$ А/г и $i_v = 5 \cdot 10^{-2}$ А/г приведены в табл. 5.

Из анализа результатов (табл. 5) следует, что с ростом i_v в ~1,7 раз наблюдается повышение степени извлечения компонентов: фенола в ~1,2 раза, цианидов в ~3,1 раза, тиоцианатов в ~1,6 раза. Вода после электролиза приобрела слабозеленую окрас-

ку и существенно более сильный запах аммиака, что, вероятно, связано с переходом некоторого количества связанного аммиака в летучий. Скорость осаждения шлама при $i_v = 0,5$ А/г составила 0,8 м/ч.

Влияние продолжительности электролиза. Продолжительность обработки зависит от очень многих факторов, и в первую очередь от начальной концентрации токсичных компонентов, однако анализ литературных данных показывает, что даже для многокомпонентных сильно загрязненных стоков рекомендуемое оптимальное время ЭК обработки обычно не превышает 45–60 минут [9, 10], так как при снижении концентрации примесей эффективность процесса снижается. Поэтому с целью определения влияния продолжительности электролиза на степень снижения концентраций компонентов провели эксперименты в течение 50-ти минут при $i_v = 5 \cdot 10^{-2}$ А/г. Усредненные результаты химического анализа проб воды за указанное время и промежуточной пробы (25 минут) приведены в табл. 7.

Растворы после электролиза приобретают хорошие органолептические показатели, о чем свидетельствует отсутствие цвета и запаха.

Согласно [14], при электролизе сточных вод с содержанием цианидов и тиоцианатов в одинаковой концентрации электрохимическое окисление CN^- ионов происходит более интенсивно. В нашем случае при сочетании деструктивного окисления и ЭФК и при соотношении в исходном растворе $CNS^-:CN^- = 6:1$ преимущественно удаляются первые.

В экспериментах по длительности электролиза была получена закономерность снижения содержания фенола и ООУ из аммиачного раствора путем фиксирования значений этих показателей с интервалом в 5 минут в течение общего времени электролиза 25 минут (табл. 6).

Степень снижения концентрации фенола и ООУ из аммиачного раствора от времени электролиза наглядно показана на рисунке.

Из рис. 1 следует, что степени снижения концентрации фенола и ООУ носят сходный возрастающий характер с ростом общего времени электролиза.

Полученные результаты по снижению ООУ свидетельствуют о глубине удаления фенола из системы.

3. Электрохимическая обработка аммиачного трехкомпонентного раствора в проточном режиме

Электролизер объемом 4л заполняли аммиачным трехкомпонентным раствором и обрабатывали его вначале без протока в течение 50-ти минут при $i = 0,05$ А/г ($I=100$ А), а затем обеспечивали проточный режим со скоростью ~4,8 л/ч. Общее время непрерывного электролиза составило 6 часов. Отбор проб производился после включения протока раствора через промежутки времени 1,2,4 и 6 часов и результаты приведены в табл. 6 и 7.

Из результатов табл. 6 следует, что остаточная концентрация фенола изменяется незначительно, что указывает на стабильную работу электролизера. Общий химический анализ пробы аммиачного раствора, отобранной за время непрерыв-

Таблица 6. Влияние продолжительности обработки на снижение концентрации фенола и ООУ из аммиачного раствора

Table 6. Influence of the duration of treatment on the decrease in the concentration of phenol and TOC from ammonia solution

| № | Время обработки, мин Processing time, min | Показатели Indicators | |
|---|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------|
| | | Концентрация фенола, мг/л Concentration of phenol, mg/l | ООУ, % TOC, % |
| 1 | - | 300 | 62 |
| 2 | 5 | 210 | 52,6 |
| 3 | 10 | 140 | 44 |
| 4 | 15 | 124 | 38,4 |
| 5 | 20 | 80 | 31,9 |
| 6 | 25 | 55 | 27 |

Таблица 7. Влияние продолжительности электролиза на степень снижения концентрации компонентов аммиачного раствора

Table 7. Effect of the duration of electrolysis on the degree of decrease in the concentration of an ammonia solution

| № п/п | Показатели Indicators | Концентрация, мг/л Concentration, mg/l | | | Степень снижения, % Degree of reduction, % |
|-------|--------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| | | Исходная Initial | Время 25 мин Time 25 min | Время 50 мин Time 50 min | |
| 1 | Фенол | 300 | 49,02 | 21,2 | 93,0 |
| 2 | Цианиды | 30,28 | 24,1 | 19,4 | 35,9 |
| 4 | Тиоцианаты | 169,49 | 27,5 | 8,00 | 94,8 |
| 5 | Аммиак общ. | 1022 | - | 681 | 33,4 |
| 6 | ООУ,% | 62,0 | - | 20,6 | 66,8 |

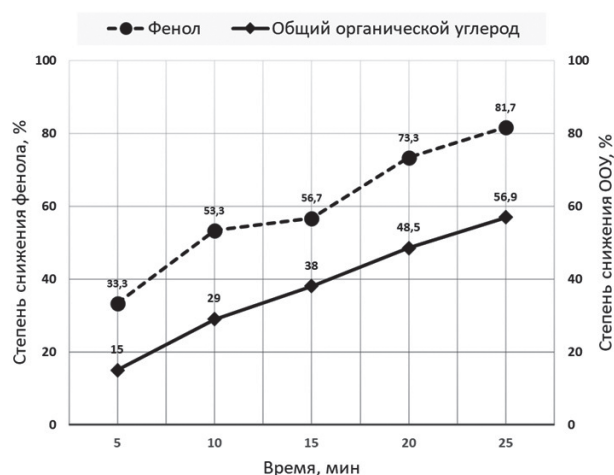


Рис. 1. Зависимость степени снижения фенола и ООУ от времени электрохимической обработки

Fig. 1. Dependence of the degree of reduction of phenol and TOC on the time of electrochemical treatment

ной работы электролизера в проточном режиме, представлен в таблице 9.

Из таблиц 8 и 9 следует высокая степень извлечения фенола и тиоцианатов. Соотношение компонентов в обработанном растворе изменилось и составило $C_6H_5OH:CN^-:CNS^- = 5:3,6:1$ вследствие преимущественного удаления фенола и CNS^- -ионов.

Элементный анализ шлама. Образующийся при работе электролизера шлам был высушен

при 30 °С до постоянного веса и проанализирован. Элементный анализ высушенного шлама показал, что в нем практически отсутствует азот, но имеется высокое содержания С и Н. Отсутствие азота указывает на то, что снижение CN^- и CNS^- - ионов происходит в основном за счет их деструктивного окисления на аноде. Из количественного содержания в шламе углерода и водорода рассчитано, что до 70-75% фенола удаляется из раствора за счет ЭФК, и, следовательно, на долю деструктивного окисления приходится соответственно 30-25%.

Энергопотребление. Расход электроэнергии на 1 г суммы удаленных компонентов в зависимости от остаточного значения ООУ в обработанном аммиачном растворе приведен в табл. 10.

Выводы

Исследован процесс удаления токсичных компонентов органической и неорганической природы (фенола, цианидов, тиоцианатов) из сульфатно-хлоридных и аммиачных растворов на электролизере, позволяющем комбинировать ЭФК и окислительную деструкцию. Экспериментальным путем определен режим электрохимической обработки, позволивший получить высокие органолептические показатели обработанных растворов при глубокой степени удаления токсичных компонентов: содержание фенола из сульфатно-хло-

Таблица 8. Остаточная концентрация и степень снижения фенола при обработке аммиачного трехкомпонентного раствора в проточном режиме

Table 8. Residual concentration and the degree of reduction of phenol when processing an ammonia three-component solution in a flow-through mode

| Компонент Component | Интервал отбора пробы, ч Sampling interval, h | Остаточная концентрация, мг/л Concentration, mg / l | Степень снижения, % Degree of reduction, % |
|------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Фенол Phenol | 1 | 26,3 | 91,3 |
| | 2 | 20,8 | 93,3 |
| | 4 | 24,0 | 92,0 |
| | 6 | 23,4 | 92,3 |

Таблица 9. Результаты химического анализа аммиачного раствора после обработки в проточном режиме

Table 9. Results of chemical analysis of ammonia three-component solution after treatment in the flow mode

| № п/п | Параметр Parameter | Концентрация, мг/л Concentration, mg / l | | Степень снижения, % Degree of reduction, % |
|-------|-----------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------|
| | | Исходная Initial | После обработки After processing | |
| 1 | Фенол | 300 | 23 | 92,3 |
| 2 | Цианиды | 30,28 | 17,3 | 42,9 |
| 3 | Тиоцианаты | 169 | 4,65 | 97,3 |
| 5 | ООУ | 62,0 | 21,0 | 66,1 |

Таблица 10. Затраты электроэнергии на электрохимическую обработку аммиачного раствора
Table 10. Energy consumption for electrochemical treatment of an ammonia solution

| № | Содержание ООУ, % ТОС, % | Затраты электроэнергии, кВт ч/г Energy consumption, kVt h/g |
|---|--------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1 | 49,7 | 0,098 |
| 2 | 26,7 | 0,115 |
| 3 | 20,6 | 0,164 |

ридного раствора снижается до 99,2%, из аммиачного трехкомпонентного раствора убыль фенола достигает 92,3%, тиоцианатов 97,3% и цианидов 42,3%. Наибольшая скорость снижения концентрации компонентов наблюдается в первые 20-25 минут электрохимической обработки. Элементным анализом шлама доказано, что из аммиач-

ного раствора ЭФК удаляется до 70-75% фенола, а снижение концентрации CN^- и CNS^- ионов происходит преимущественно за счет окислительной деструкции. Рассчитаны затраты электроэнергии на извлечение 1 г суммы удаленных компонентов в зависимости от их начальной концентрации и степени извлечения.

Литература

1. Аунг П, Хейн Т.А., Колесников А.В. Исследование процессов электрофлотационного извлечения смеси труднорастворимых соединений меди и никеля в присутствии органических композиций, применяемых в обработке поверхности металлов // Гальванотехника и обработка поверхности. 2020. Т. 28, №4. С. 38-48. DOI: 10.47188/0869-5326_2020_28_4_38
2. Mousset E., Frunzo L., Esposito G., van Hullebusch E.D., Oturan N., Oturan M.A. A complete phenol oxidation pathway obtained during electro-Fenton treatment and validated by a kinetic model study // *Appl. Catal. B-Environ.* 2016. V.180. P. 189-193.
3. Sirés I., Brillas E., Oturan M. A., Rodrigo M. A., Panizza M. Electrochemical advanced oxidation processes: Today and tomorrow. A review // *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2014. V. 21, № 14. P. 8336-8367.
4. Chaplin B. P. Critical review of electrochemical advanced oxidation processes for water treatment applications // *Environmental Science: Processes & Impacts.* 2014. V. 16, № 6. P. 1182-1203.
5. Martínez-Huitle C.A., Rodrigo M.A., Sirés I., Scialdone O. Single and coupled electrochemical processes and reactors for the abatement of organic water pollutants: a critical review // *Chem. Rev.* 2015. V.115. P. 13362-13407.
6. Hanay Ozge, Hasar Halil. Effect of anions on removing Cu^{+2} , Mn^{+2} and Zn^{+2} in electrocoagulation process using aluminum electrodes // *J.Hazardous Mater.* 2011. V. 189, № 1-2. P.572-576.
7. Колесников В.А., Крючкова Л.А., Ильин В.И., Колесников А.В. Электрофлотационное извлечение ионов металлов, находящихся в составе

References

1. Aung Pyae, Hein T.A., Kolesnikov A.V. Investigation of the processes of electroflotation extraction of a mixture of sparingly soluble copper and nickel compounds in the presence of organic compositions used in surface treatment of metals. *Galvanotekhnika I Obrabotka Poverkhnosti*, 2020, vol. 28, no. 4, pp.38-48. DOI: 10.47188/0869-5326_2020_28_4_38 (in Russian)
2. Mousset E., Frunzo L., Esposito G., van Hullebusch E.D., Oturan N., Oturan M.A. A complete phenol oxidation pathway obtained during electro-Fenton treatment and validated by a kinetic model study. *Appl. Catal. B-Environ.*, 2016, vol. 180, pp. 189-193.
3. Sirés I., Brillas E., Oturan, M. A., Rodrigo, M. A., & Panizza M. Electrochemical advanced oxidation processes: Today and tomorrow. A review. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2014, vol. 21, no. 14, pp. 8336-8367.
4. Chaplin B. P. Critical review of electrochemical advanced oxidation processes for water treatment applications. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2014, vol. 16, no. 6, pp. 1182-1203.
5. Martínez-Huitle C.A., Rodrigo M.A., Sirés I., Scialdone O. Single and coupled electrochemical processes and reactors for the abatement of organic water pollutants: a critical review. *Chem. Rev.*, 2015, vol. 115, pp. 13362-13407.
6. Hanay Ozge, Hasar Halil. Effect of anions on removing Cu^{+2} , Mn^{+2} and Zn^{+2} in electrocoagulation process using aluminum electrodes. *J. Hazardous Mater.* 2011, vol. 189, no. 1-2, pp.572-576.
7. Kolesnikov V.A., Kryuchkova L.A., Ilyin V.I., Kolesnikov A.V. Electroflotation extraction of metal ions contained in multicomponent systems from waste waters of galvanic production. *Galvanotekhnika I Obrabotka Poverkhnosti*, 2015, vol. 23, no. 1, pp.51-59. (in Russian)

многокомпонентных систем, из сточных вод гальванического производства // Гальванотехника и обработка поверхности. 2015. Т. 23, №1. С.51–59.

8. Колесников В.А., Ильин В.И. Экология и ресурсосбережение в электрохимических производствах. Механические и физико-химические методы очистки промывных и сточных вод. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2004. 220 с.

9. Ситников С.Ю. Коаксиальный электролизер с осевым узкоцилиндрическим электродом и его применение для очистки воды от соединений железа // Автореф. к.т.н. Казань. 2000.

10. Zhou Thiam M., Brillas E., Sirés I. Two-step mineralization of Tartrazine solutions: study of parameters and by-products during the coupling of electrocoagulation with electrochemical advanced oxidation processes // Appl. Catal. 2014. B 150–151. P. 116–125.

11. Bouyakoub A.Z., Kacha S., Ouhib R., Bellebia S., Lartiges B. Combined treatment of a textile effluent containing reactive dyes by coagulation-flocculation and electroflotation // Journal of Water Science. 2010. V. 23, № 1. P. 89–103.

12. Электрофлотационная технология очистки сточных вод промышленных предприятий / В.А. Колесников, В.И. Ильин, Ю.А. Капустин и др. Под ред. В.А. Колесникова. М.: Химия. 2007.

13. Лейте В. Определение органических загрязнений питьевых, природных и сточных вод. М.: Химия. 1975. 200 с.

14. Лурье Ю.Ю., Генкин В.Е. Электрохимическая очистка сточных вод, содержащих цианистые соединения // Журн. прикл. химии. 1960. Т.33, № 2. С.384–389.

8. Kolesnikov V.A., Ilyin V.I. Ekologiya i resursosberezhenie v elektrohimiicheskikh proizvodstvakh. Mekhanicheskie i fiziko-himiicheskije metody ochistki promyvnyh i stochnyh vod [Ecology and resource conservation in electrochemical industries. Mechanical and physicochemical methods of cleaning rinsing and waste water]. Moscow: RKhTU im. D.I. Mendeleev. 2004, 220 p. (in Russian)

9. Sitnikov S.Yu. Koaksial'nyj elektrolizer s osevym uzkokilindricheskim elektrodom i ego primenenie dlya ochistki vody ot soedinenij zheleza [Coaxial electrolyzer with axial narrow-cylindrical electrode and its application for water purification from iron compounds]. Abstract of Ph.D. Kazan. 2000, 16 p. (in Russian)

10. Zhou Thiam M., Brillas E., Sirés I. Two-step mineralization of Tartrazine solutions: study of parameters and by-products during the coupling of electrocoagulation with electrochemical advanced oxidation processes. Appl. Catal., 2014, B 150–151, pp. 116–125.

11. Bouyakoub A.Z., Kacha S., Ouhib R., Bellebia S., Lartiges B. Combined treatment of a textile effluent containing reactive dyes by coagulation-flocculation and electroflotation. Journal of Water Science, 2010, vol. 23, no. 1, pp. 89–103.

12. V.A. Kolesnikov, V.I. Ilyin, Yu.A. Kapustin et al. Elektroflotacionnaya tekhnologiya ochistki stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij [Electroflotation technology of wastewater treatment of industrial enterprises]. Ed. V.A. Kolesnikov. Moscow: Khimiya. 2007. (in Russian)

13. Leyte V. Opredelenie organicheskikh zagryaznenij pit'evykh, prirodnyh i stochnyh vod [Determination of organic pollution of drinking, natural and waste water]. Moscow: Khimiya. 1975. 200 p. (in Russian)

14. Lurie Yu.Yu., Genkin V.E. Elektrohimiicheskaya ochistka stochnyh vod, sodержashchih cianistye soedineniya [Electrochemical treatment of waste water containing cyanide compounds]. Zhurnal Prikladnoy Khimii, 1960, vol. 33, no. 2, pp.384–389. (in Russian)

Сведения об авторах

Харламова Татьяна Андреевна – профессор, д.т.н., тел. 8 916 8787573, e-mail: 9168787573@mail.ru

Атаманова Юлия Юрьевна – аспирант, тел. 8 916 5247788, e-mail: julia@atamanova.com

Для цитирования

Т.А. Харламова, Ю.Ю. Атаманова. Закономерности снижения концентрации фенола, цианидов и тиоцианатов комбинированным электрохимическим методом из хлоридно-сульфатных и аммиачных растворов // Гальванотехника и обработка поверхности. 2021. Т. 29, № 1. С. 38–46.

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_38

Information about authors

Kharlamova Tatyana Andreevna - Professor, Dr. Sci. (Eng.), phone: 8 916 8787573. e-mail: 9168787573@mail.ru

Atamanova Yulia Yurievna – Ph.D-student, phone: 8 916 5247788, e-mail: julia@atamanova.com

For citation

T. A. Kharlamova, Yu. Yu. Atamanova. Regularities of decreasing the concentration of phenol, cyanides and thiocyanates by the combined electrochemical method from chloride-sulfate and ammonia solutions. Galvanotekhnika I obrabotka poverkhnosti, 2021, vol. 29, no. 1, pp. 38–46.

DOI: 10.47188/0869-5326_2021_29_1_38

СРОКИ ПРОВЕДЕНИЯ И УСЛОВИЯ УЧАСТИЯ В 2021 ГОДУ

Курсы: «Гальванотехника и гальвано – химическая обработка поверхности металлов»

| Группа (шифр) | Дата проведения | Стоимость, руб. |
|-----------------------|--------------------------|-----------------|
| Группа № 68 (КГ - 68) | 17 мая – 21 мая | 33700 – 00 |
| Группа № 69 (КГ - 69) | 18 октября – 27 октября* | 40300 – 00 |
| Группа № 70 (КГ - 70) | 15 ноября – 19 ноября | 33700 – 00 |

*Посещение 19-й Международной выставки технологий, оборудования и материалов для обработки поверхности и нанесения покрытий «ExpoCoating Moscow 2021»

Курсы: «Аналитический контроль в гальваническом производстве»

| Группа (шифр) | Дата проведения | Стоимость, руб. |
|------------------------|-------------------------|-----------------|
| Группа № 27 (АКГ - 27) | 12 апреля – 16 апреля** | 33500 – 00 |
| Группа № 28 (АКГ - 28) | 11 октября – 15 октября | 33500 – 00 |

** Посещение 19-ой международной выставки лабораторного оборудования и химических реактивов «Аналитика Экспо 2021»

Стоимость обучения НДС не облагается. Оплата перечислением.

Регистрация слушателей день начала курсов с 10-00 до 11-00 часов в МХО им. Д.И. Менделеева по адресу: Москва, Колокольников переулоч, д. 17.

Проезд: м. «Сухаревская» и далее пешком по ул. Сретенка в сторону центра до Колокольников переулочка.

Участникам курсов бронируются места:

- в гостинице «Вега» (Измайловский гостиничный комплекс). Проезд: м. «Партизанская». Поселение в гостиницу в комнате 414 корпуса «Вега» (4 этаж). Стоимость одного места проживания составит 2000 – 4000 руб. в сутки.

Платежные реквизиты МОО МХО им. Д. И. Менделеева:

**ИНН 7710056339, р/сч. 4070381030000000060 Банк ВТБ (ПАО), г. Москва
Кор/сч. 30101810700000000187, БИК 044525187, КПП 770201001**

В графе «назначение платежа» следует указать соответствующий **шифр**.

Прибывшие на курсы должны предоставить копию платежного поручения с отметкой банка об оплате. Об участии в курсах следует заявить по телефону не позднее, чем за 3 дня до начала занятий, указав потребность в гостинице и дату приезда. В заявке просим указать: реквизиты предприятия, кто подписывает договор (ФИО полностью) и на основании какого документа.

Телефон для подачи заявок и справок:

тел/факс: (495) 625-86-00, (495)742-04-22,

(977) 543-49-01 – МХО им. Д.И. Менделеева

e-mail: mosmho@yandex.ru http: www.mmho.ru

Календарь выставок, конференций и семинаров 2021 года Exhibitions, Conferences, Seminars

1. **13-15 апреля 2021 года** - 23-я Международная Выставка электронных компонентов, модулей и комплектующих **ExpoElectronica** и **ElectronTechExpo 2021**. МВЦ "Крокус Экспо", Павильон №3, зал 14.

2. **13-16 апреля 2021 года** - 19-я Международная специализированная выставка **Аналитика Экспо 2021**. МВЦ "Крокус Экспо", павильон 3, зал 13.

3. **28-30 сентября 2021 года** - 14-я Международная специализированная выставка технологий и оборудования **"Термообработка - 2021"**. "Экспоцентр", Москва, Павильон №7, зал 1.

4. **26-28 октября 2021 года** - 19-я Международная выставка материалов и оборудования для обработки поверхности, нанесения покрытий и гальванических производств **Expo Coating 2021**. МВЦ "Крокус Экспо", Павильон №3.

СОВРЕМЕННОЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ



ООО «ГРАНИТ-М»

Россия, 393462, Тамбовская обл., г. Уварово, ул. Большая Садовая, 29,

Тел./ факс в г. Уварово: 8(47558) 4-67-17, 4-68-98, 4-67-15

Тамбовское представительство: 392036 г. Тамбов, ул. Лаврова, д.5 кв.1

Тел./факс в г. Тамбов: 8(4752) 72-97-52

E-mail: oogranitm68@granit-m.ru • granit@tamb.ru • bark@granit-m.ru

www.granit-m.ru

Шаблон для авторов

DOI:

УДК 544.6;546.56;546.742

Заголовок статьи, отражающий ее содержание
(Шриф Times New Roman, 14, п/ж, выравнивание по центру)

(Пустая строка)

© 2020 А. А. Автор¹, Б. Б. Автор², В. В. Автор³, и т.д.

(Пустая строка)

¹ Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская пл., 9. Тел. +7*****, e-mail: *****

² Всероссийский институт научной и технической информации РАН, 125190 Москва, ул. Усиевича, 20 Тел. +7*****, e-mail: *****

³ Ивановский государственный химико-технологический университет, 153000 Иваново, Шереметевский проспект, 7

(пустая строка)

Аннотация

Текст аннотации, в котором должно содержаться не менее 150-250 слов. В аннотации подчеркивается цель работы и полученные фактические, в том числе количественные, результаты.

(пустая строка)

Ключевые слова: 5-10 слов или словосочетаний (не более 2-х слов в словосочетании)

(пустая строка)

Далее следует текст на английском языке

UDC 544.6;546.56;546.742

Title of the article

© 2021 A. A. Author¹, B. B. Author², V. V. Author³, ...

D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Moscow, 125047, Miusskya Sq., 9. Phone: +7(***)*****, e-mail: *****

²All-Russian Institute for Scientific and Technical Information of Russian Academy of Sciences, 20, ul. Usievich, Moscow, A-190, Russian Federation

³Ivanovo State University of Chemistry and Technology, 7, Sheremetievskiy ave., Ivanovo, 153000, e-mail: np0920@yandex.ru

(пустая строка)

Abstract

Текст аннотации на английском языке, в котором должно содержаться не менее 150-250 слов. В аннотации подчеркивается цель работы и полученные фактические, в том числе количественные, результаты.

(пустая строка)

Keywords: electroflotation, wastewater treatment, copper, nickel, organic compositions, purifying liquid, penetrant, solvent, varnish

Введение

Данный шаблон содержит правила и примеры оформления рукописи для представления в журнал «Гальванотехника и обработка поверхности».

Весь текст набирается шрифтом Times New Roman, 14 и выравнивается «по ширине». Подписи к рисункам, таблицам делают тем же шрифтом, но с размером 12. Размер всех полей устанавливают 20 мм.

Во ВВЕДЕНИИ отражают актуальность, современное состояние проблемы, описывают кратко достигнутые другими исследователями и авторами настоящей статьи результаты, обозначаются нерешенные проблемы. Введение заканчивают описанием цели и задач исследования. Объем ВВЕДЕНИЯ не должен превышать 2,5 страниц (Шрифт Times New Roman, 14, выравнивание по ширине).

Описывая современное состояние рассматриваемой проблемы необходимо цитировать оригинальные работы, опубликованные в отечественных непереводных [1], переводных [2] и зарубежных [3] журналах, книгах на русском [4] или иностранном языке [5], а также индексируемые в международных базах данных WoS или Scopus материалы конференций [6]. Ссылки на литературу даются цифрами в квадратных скобках в порядке упоминания в тексте. Список литературы и его аналог на английском языке (REFERENCES) прилагается в конце статьи. Библиографическое описание указанных типов работ различное для раздела ЛИТЕРАТУРА (ГОСТ) и REFERENCES, в которых и отражены примеры для соответствующих типов цитируемых источников. Списки литературы (References), обрабатываются (размечаются) в наукометрических базах данных (РИНЦ, Scopus, WoS) автоматически, поэтому все перечисленные данные необходимо представлять в том порядке и по правилам с сохранением указанной пунктуации и форматирования, которые указаны в примерах, что позволит их корректно обработать.

Как правило, рекомендуемое количество цитируемых работ составляет 25-60, в зависимости от области исследования, в том числе российских авторов (~40-50%).

Ссылки на неопубликованные работы (диссертации, авторефераты) или не индексируемые в международных базах данных труды, сборники тезисов докладов конференций или учебные пособия и т.п. не допускаются.

Ссылки на ГОСТ даются в тексте статьи (ГОСТ 6.301-79) и не приводятся в списке литературы.

Цитирование книг, монографий следует ограничить (не более 10% в списке литературы).

В статье должны использоваться физические единицы и обозначения, принятые в Международной системе единиц: СИ (ГОСТ 9867-61). В качестве исключения, допускается использование распространенных внесистемных единиц (электрон-Вольт (эВ) или литр (л) и т.п.), если это способствует ясности изложения материала.

Точка не ставится после: «УДК», заглавия статьи, авторов, адресов, заголовков и подзаголовков, названий таблиц, размерностей (с – секунда, г – грамм, мин – минута, сут – сутки, град – градус, Дж, Кл).

Пробел не ставится перед знаком « % » (40%), при указании валентности (хром(III)) и при указании температуры (15 °С).

Заряд иона обозначается надстрочными символами, а обозначение химического элемента всегда прямым шрифтом (Cu^{2+}).

Между цифрами и словами ставится знак « – ». Например, U изменяется в диапазоне 3–18 (не 3-18).

Формулы следует набирать с помощью редакторов формул, встроенных в текстовую программу. Предпочтительно использование стандартного редактора формул - MS Equation или редактора MathType.

$$E = E^{\circ} + \frac{2,3RT}{nF} \lg a_{\text{Cu}^{2+}} \quad (1)$$

Все формулы должны быть пронумерованы цифрами в круглых скобках. Ссылки на формулы указываются цифрами в круглых скобках, например, уравнение (1).

Большинство обозначений физических величин следует набирать курсивным (наклонным) шрифтом, а не прямым (j – плотность тока, U – напряжение, E – электродный потенциал и т.п.). Исключения составляют символы математических функций \exp , \lg , \ln , \lim , \sin , и т.д., а также греческие символы (λ , τ , γ , Φ , κ , Σ) и индексы, образованные от фамилий: E_F , (от Fermi), θ_D (от Debye) и т.д., или от сокращений слов: $Q_{\text{Дж}}$ (от Joule), ВТ (от «выход по току»), СЕ (от «current efficiency») и т.д.

Материалы и методы исследования

В этом разделе в первую очередь описываются исходные реактивы, материалы и составы растворов. При описании реактивов, использовавшихся при выполнении экспериментальной работы, необходимо указать квалификацию реактива (ос.ч., х.ч., ч.д.а. ч., техн.). Описать необходимо все реактивы, использованные в работе, в том числе вспомогательные (растворители, газы, кислоты и щелочи и т.д.). Если использованные реагенты очищали в лабораторных условиях перед проведением эксперименты, указывают метод очистки.

Для различных смесей, добавок, материалов и т.п. указывают производителя продукта, ТУ или ГОСТ, которым соответствует данная продукция. Например, «...была проведена дополнительная фильтрация раствора с помощью обеззоленных фильтров «Синяя лента» с диаметром пор 1 мкм (ТУ 2642-001-13927158-2003) или «В качестве блескообразующей добавки использовали ЦКН-01 (ТУ 2499-002-40195348, НПП СЭМ.М)»).

Далее в деталях описываются экспериментальные методы, способы, которые использовались для получения образцов, результатов. Обычно сначала дается общая схема экспериментов/исследования, затем они представляются настолько подробно и с таким количеством деталей, чтобы любой компетентный специалист мог воспроизвести их, пользуясь лишь текстом статьи. В случаях, когда методика проведения эксперимента, синтеза соединения не является оригинальной, а описана ранее, достаточно указать общую схему проведения исследования и дать ссылку в индексируемом журнале на работу, содержащую его описание.

Описание экспериментов приводят подробно, чтобы сделать возможным их воспроизведение.

Затем описываются физико-химические и/или физико-механические и/или аналитические методики, использованные для получения экспериментальных результатов. Необходимо указать, марку, модель задействованного оборудования и условия проведения опытов. При описании приборной базы указывают название модели прибора и производителя.

Статистические процедуры представляются кратко, поскольку в большинстве случаев используются либо хорошо известные способы статистического анализа, либо их модификации.

Если статья посвящена теоретическому исследованию, то название этого раздела заменяется на «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ» или «МЕТОДЫ РАСЧЕТА».

В теоретической работе в разделе «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ» или «МЕТОДЫ РАСЧЕТА» приводят математические выкладки с такой степенью подробности, чтобы можно было легко воспроизвести их и проверить правильность полученных результатов. Включите все необходимые данные, формулы, уравнения, назовите, какие преобразования над ними совершались.

Результаты и обсуждение

Раздел «РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ» должен содержать экспериментальные или теоретические данные, полученные в ходе исследования. Результаты даются в виде таблиц, графиков, диаграмм, уравнений, фотографий, рисунков. Все способы представления результатов количественного исследования (текст, таблицы и рисунки) должны дополнять, а не повторять друг друга. В этом разделе приводятся факты и их интерпретация, сопоставление с данными других исследователей (если есть такая возможность), предположения о полученных фактах.

Рисунки. Рисунки должны быть в черно-белом (не сером и не цветном) исполнении, отображать разумное количество информации и не быть перегруженными (рис. 1, 2). На подписях к осям обозначения переменных отделять от единиц измерения запятой (V , м/с (m/s)). Подписи к осям обязательно приводятся на русском и английском языках. Метки делений на осях располагают наружу. Все символы и надписи на рисунках должны быть четко видны и выполнены с использованием шрифта Times New Roman, размером 12. Все кривые нумеруются и расшифровываются в подрисуночной подписи, которая приводится на русском и английском языках. Разрешение рисунков должно быть не менее 600 точек на дюйм. Все рисунки должны быть пронумерованы и иметь подписи. Допускается использование цветных рисунков. В электронной версии статьи цветные рисунки бесплатны. В печатной версии статьи цветные рисунки по умолчанию печатаются бесплатно в градациях серого цвета или за дополнительную плату издательству в цветном. Ссылки на рисунки в тексте даются как рис.1, рис.2.

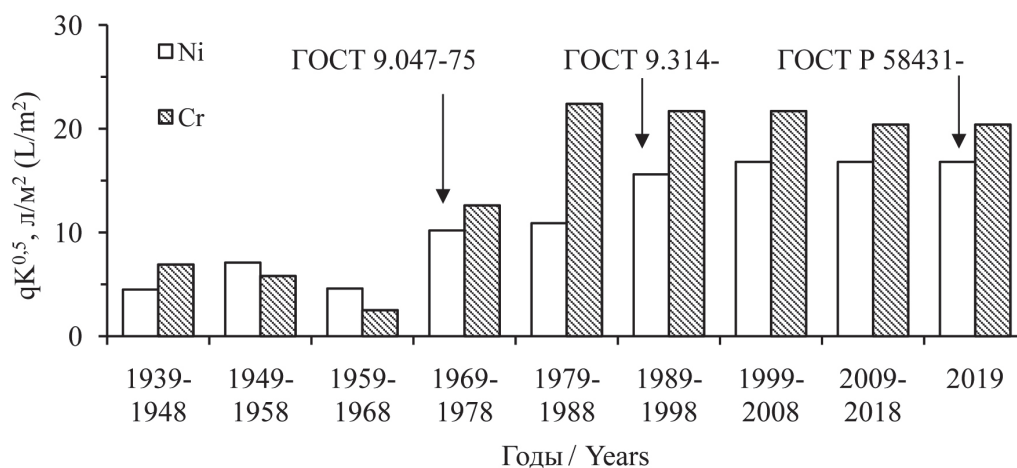


Рис. 1. Динамика удельного потребления воды на промывки ($qK^{0.5}$) после никелирования и хромирования
Fig. 1. Dynamics of specific washing water consumption ($qK^{0.5}$) after Nickel and Chromium plating

(пустая строка)

Каждый график, каждая таблица должны быть представлены и описаны в тексте.

Обычно текстовое описание иллюстрационного материала состоит из трех элементов. Первый указывает, что именно представлено в виде графика (таблицы и т.п.), и где это можно найти в статье. Второй описывает наиболее важные черты этого графика, а третий уже комментирует.

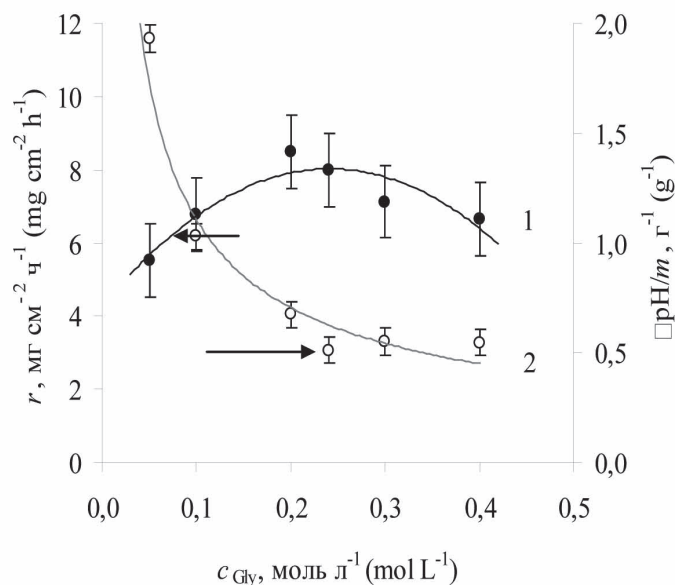


Рис. 2. Влияние концентрации глицина на скорость осаждения (1) и удельное изменение pH раствора после осаждения покрытий (2). Состав (моль/л) раствора: $NiSO_4 - 0.12$, $NaH_2PO_2 - 0.36$, $HGly - 0.05 - 0.40$, $H_2Succ - 0.2$, $Pb^{2+} - 10^{-5}$; pH – 5.8.

Fig. 2. Effect of the glycine concentration on the deposition rate (1) and the specific change in the pH of the solution after deposition of the coatings (2). Composition (mol/L) of the solution: $NiSO_4 - 0.12$, $NaH_2PO_2 - 0.36$, $HGly - 0.05 - 0.40$, $H_2Succ - 0.2$, $Pb^{2+} - 10^{-5}$; pH – 5.8.

(пустая строка)

Таблицы должны быть пронумерованы и снабжены подписями на русском и английском языках. Все графы в таблицах должны иметь заголовки на русском и английском языках и быть разделены вертикальными и горизонтальными линиями. Сокращения слов в таблицах не допускаются. Ссылки на таблицы даются следующим образом: табл.1, табл.2 и т.д.

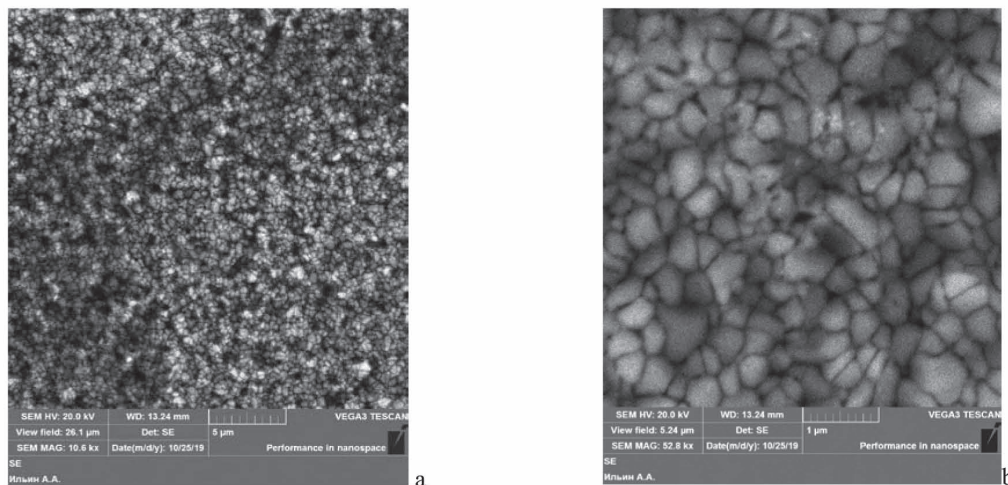


Рис. 3. СЭМ изображения поверхности серебряного электрода при различных увеличениях/ Масштаб: а – 5 мкм, б – 1 мкм.

Fig. 3. SEM images of the silver electrode surface at different magnifications Scale: а – 5 μm, б – 1 μm.

(пустая строка)

Таблица 5. Затраты электроэнергии на извлечение суммы тяжелых металлов
Table 5. Electricity consumption for the extraction of the amount of heavy metals

| Номер пробы Sample number | Время извлечения, ч Retrieval time, h | j , А/дм ² j , A/dm ² | Удельные затраты электроэнергии Specific power consumption | |
|------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|
| | | | кВт·ч/м ³ kW·h/m ³ | кВт·ч/г kW·h/g |
| Проба I Sample No. 1 | 0,5 | 5 | 2,2 | 0,022 |
| | | 10 | 4,3 | 0,042 |
| Проба II Sample No. II | 1,5 | 10 | 9,8 | 0,010 |

(пустая строка)

В этом разделе можно:
перечислить основные результаты, независимо от того, поддерживают или опровергают они проверяемую гипотезу, находятся в согласии или в противоречии с данными других исследователей;

- обобщить результаты;
- сравнить результаты с данными других исследователей;
- привести возможные объяснения сходства и противоречий с другими исследованиями;
- напомнить о цели и гипотезе исследования;
- обсудить соответствуют ли полученные результаты гипотезе исследования;
- указать на ограничения исследования и обобщения его результатов;
- предложить практическое применение;
- предложить направление для будущих исследований.

Заключение

Заключение должно содержать главные идеи основного текста статьи. Эту часть раздела надо тщательно отредактировать, чтобы не повторять формулировки, приведенные в предыдущих разделах. Желательно сравнить полученные результаты с теми, которые планировалось получить, а также показать их новизну и практическую значимость, прописать ограничения, с которыми столкнулись в ходе работы. В конце приводятся выводы и рекомендации, определяются основные направления дальнейших исследований в данной области.

Благодарности (если необходимо)

Работа выполнена в рамках РНФ (темы НИР и т.п.) № 0226-2019-0052.

Работа выполнена при финансовой поддержке РХТУ им. Д.И. Менделеева (проект № 3-2020-004).

Авторы благодарят д.х.н., профессора И. О. Фамилия за проведение консультаций, И. О. Фамилия – за предоставление качественных фотографий образцов, выполненных с использованием растрового электронного микроскопа и т.п.

Литература

(Оформление по ГОСТ Р 7.0.5-2008 + doi: если есть)

Статья в отечественном непереводном журнале

1. 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

Статья в отечественном переводном журнале (ссылка на русскоязычную версию)

2. Винокуров Е.Г. Вероятностно-термодинамическая модель выбора лигандов при разработке составов растворов для электроосаждения сплавов и мультивалентных металлов // Физикохимия поверхности и защита материалов. 2010. Т. 46, № 5. С. 543–547.

Статья в зарубежном журнале

3. Oliveira A.L.M., Costa J.D., Sousa M.B. de, Alves J.J.N., Campos A.R.N., Santana R.A.C., Prasad S. Studies on electrodeposition and characterization of the NiWeFe alloys coatings. Journal of Alloys and Compounds. 2015. V. 619, № 1. P. 697-703. doi: 10.1016/j.jallcom.2014.09.087.

или

Oliveira J. A. M., Raulino A. M. D., Raulino J. L. C, Campos A. R. N., Prasad S., Santana R. A. C. de. Effect of Current Density and pH in Obtaining the Ni-Fe Alloy by Electrodeposition. Revista Materia. 2017. V. 22, № 1. e11773. doi: 10.1590/S1517-707620170001.0105.

Книга на русском языке

4. Колесников В.А., Меньшутина Н. В., Десятков А. В. Оборудование, технологии и проектирование систем очистки сточных вод. М. : ДеЛи плюс, 2016. 289 с.

Книга на английском (иностранном) языке

5. Gruhn G., Kafarov V.V., Meshalkin V.P., Neumann W. *Zuverlässigkeit von Chemieanlagen*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1979. 257 p.

Glasman-Deal H. *Science Research Writing for Non-Native Speakers of English*. Imperial College London, UK, 2010, 127 p.

Тезисы докладов, статья в материалах индексируемой конференции

6. Kudryavtsev V.N., Vinokurov E.G., Schachameyer S.R., Azarko O.E., Kuznetsov V.V.. [Engineering properties of hard chromium coatings electrodeposited from Cr(III) bath]. *Proceedings of the 83rd AESF Annual Technical Conference*. Cleveland, 1996, pp. 433-438.

References

Статья в отечественном непереводном журнале

1. 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).

Статья в отечественном переводном журнале (ссылка на англоязычную версию)

2. Vinokurov E.G. Thermodynamic Probability Model of Ligand Selection in Solutions Designed for Electrodeposition of Alloys and Multivalent Metals. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 2010, vol. 46, no. 5, pp. 615-619. doi:10.1134/S2070205110050205.

Статья в зарубежном журнале

3. Oliveira A.L.M., Costa J.D., Sousa M.B. de, Alves J.J.N., Campos A.R.N., Santana R.A.C., Prasad S. Studies on electrodeposition and characterization of the Ni-Fe alloys coatings. *Journal of Alloys and Compounds*. 2015. V. 619, № 1. P. 697-703. doi: 10.1016/j.jallcom.2014.09.087.

или

Oliveira J. A. M., Raulino A. M. D., Raulino J. L. C, Campos A. R. N., Prasad S., Santana R. A. C. de. Effect of Current Density and pH in Obtaining the Ni-Fe Alloy by Electrodeposition. *Revista Materia*. 2017. V. 22, № 1. e11773. doi: 10.1590/S1517-707620170001.0105.

Книга на русском языке

4. Kolesnikov V.A., Menshutina N.V., Desyatov A.V. *Oborudovaniye, tekhnologii i proyektirovaniye sistem ochistki stochnykh vod* [Equipment, processes and design of wastewater treatment systems]. Moscow, DeLi Plus, 2016. 289 p. (in Russian)

Книга на английском (иностранном) языке

5. Gruhn G., Kafarov V.V., Meshalkin V.P., Neumann W. *Zuverlässigkeit von Chemieanlagen*, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1979. 257 p.

Glasman-Deal H. *Science Research Writing for Non-Native Speakers of English*. Imperial College London, UK, 2010, 127 p.

Тезисы докладов, статья в материалах индексируемой конференции

6. Kudryavtsev V.N., Vinokurov E.G., Schachameyer S.R., Azarko O.E., Kuznetsov V.V.. [Engineering properties of hard chromium coatings electrodeposited from Cr(III) bath]. *Proceedings of the 83rd AESF Annual Technical Conference*. Cleveland, 1996, pp. 433-438.

Сведения об авторах

Аунг Пьяе – аспирант, e-mail: aungpyae05@gmail.com (автор, ответственный за переписку)

Хейн Тху Аунг – к.т.н., e-mail: spiritlay@yandex.ru

Колесников Артём Владимирович – к.т.н., доцент e-mail: artkoles@list.ru

Information about authors

Aung Pyae – Postgraduate student, e-mail: aungpyae05@gmail.com

Hein Thu Aung – Ph.D., e-mail: spiritlay@yandex.ru

Kolesnikov A. V. – Cand. Sci. (Eng.), Senior researcher, e-mail: artkoles@list.ru

Журнал «Гальванотехника и обработка поверхности» К сведению подписчиков!

Подписка на журнал производится через местные почтовые отделения.

Журнал включен в Объединенный каталог «Пресса России» 2021/1; каталог стран СНГ 2021/1;
Каталог Украины 2021/1; адресный каталог «Библиотечный каталог» 2021/1.

Агентство АРЗИ. Индекс **87867**.

В редакции также можно приобрести:

| Журнал "Гальванотехника и обработка поверхности" и книги | Цена, руб |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2020 год (4 номера) | 1000 |
| 2019 год (4 номера) | 900 |
| 2018 год (4 номера) | 900 |
| 2017 год (4 номера) | 900 |
| 2016 год (4 номера) | 900 |
| 2015 год (4 номера) | 800 |
| 2014 год (4 номера) | 800 |
| Фосфатирование. (Изд. 2-е, дополн. и перераб.) Григорян Н.С., и др. | 300 |
| Цинкование. Техника и технология. Окулов В.В. (Электронная версия) | 100 |
| Электролитическое хромирование. Солодкова Л.Н., Кудрявцев В.Н. | 300 |
| Организация гальванического производства. Оборудование, расчет производства, нормирование. Виноградов С.С. Электронная версия. | 100 |
| Экологически безопасное гальваническое производство. (Изд. 2-е, дополн. и перераб.) Виноградов С.С. Электронная версия. | 100 |
| Промывные операции в гальваническом производстве. Виноградов С.С. Электронная версия. | 100 |
| Никелирование. Мамаев В.И., Кудрявцев В.Н. | 300 |
| Оксидирование алюминия и его сплавов. Скопинцев В.Д. | 300 |

Все цены включают стоимость пересылки; НДС не облагается.

ООО "Гальванотех" находится с 01.01.08 УСНО, № 107412 А от 31.03.2015

Адрес редакции: 125047 г. Москва, Миусская пл., д. 9, РХТУ им. Д.И. Менделеева

Кафедра ТЭП. Главный редактор **Кругликов С.С.**

Тел: (499) 978-59-90; **E-mail:** gtech@muctr.ru

Интернет-сайт журнала: www.galvanotehnika.info

За вышеуказанные журналы и книги деньги перечислять на р/с журнала. Ниже приведен образец заполнения платежного поручения:

Банк плательщика

| | | |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------------------|
| Сбербанк России ПАО, г. Москва Банк получателя | БИК Сч.№ | 044525225 3010181040000000225 |
| ИНН 7708253114; КПП 770801001 ООО «Гальванотех» Получатель | Р/с | 40702810738000034332 |
| Назначение платежа: и Полный почтовый адрес предприятия (для рассылки) | | |

Интернет-сайт Российского общества гальванотехников: www.galvanicrus.ru

Адреса организаций и фирм, поместивших рекламу**ООО "АРБАТ" (стр. 23)**

445012, г. Тольятти, Молодежный бульвар
22-110, тел/факс (8482) 25-46-32, факс (8482)
22-03-52, E-mail: arbat00@mail.ru

ООО "БМТ" (стр. 31)

600033 г. Владимир, ул. Элеваторная 6;
E-mail: vladimir@vladbmt.ru, www.vladbmt.ru;
(4922) 522343, 522348, факс (4922)522314

Гальванические технологии (стр. 30)

г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 178-
Е; тел. (831)275-82-60, 275-82-62, 415-75-16;
info@galvanotech.ru

ООО "ГРАНИТ-М" (стр. 48)

393462 г.Уварово, Тамбовской обл.,
ул.Б.Садовая, 29, тел/факс (47558) 467-17;
468-98; г.Тамбов тел/факс (4752) 72-97-52

НАВИКОМ (стр. с3)

150007, г. Ярославль, ул. Университет-
ская д.21;тел (4852)741-121, 741-567;E-mail:
commerce@navicom.yar.ru;www.navicom.yar.ru

РТС Инжиниринг (стр. с2)

Москва, ул. Атарбекова, д.4; тел.: (495)
964-47-48, факс: (495) 964-47-39; e-mail:
main@rts-engineering.ru; http://www.rts-
engineering.ru

ООО "СОНИС" (стр. 26)

108841, г. Троицк, ул. Полковника Куроч-
кина, д. 19, пом. 12; тел:(495)545-76-24, 517-
46-51; факс: 8(499)272-24-08; E-mail:bmb@
sonis-co.ru; www.sonis-co.ru

ООО ПК "НПП СЭМ.М" (стр. 24)

1125047, Москва, Миусская пл., д. 9; тел/
факс: 8(495)978-94-42, +7(901)517-94-42: npp-
semm@yandex.ru; www.bestgalvanik.ru

ООО "ХИМСИНТЕЗ" (стр. 29)

606008, г. Дзержинск Нижегородской
обл., а/я 175; тел/факс: (8313) 25-23-46,
+7(951)902-91-65;e-mail: chimsn@kis.ru

НПП "ЭКОМЕТ" (стр. 27)

119071, Москва, Ленинский пр., д.31,
стр.5, ИФХ и Э РАН,тел: (495) 955-40-33; тел/
факс (495) 955-45-54; E-mail: info@ecomet.ru;
www.ecomet.ru

ЗАО "ХИМСНАБ" (стр. 28)

420030, г.Казань, ул. Набережная, 4. тел:
(843)214-52-25; E-mail: info@chemp.ru, www.
chemp.ru

ТД "Элма" (стр. 30)

Тел.: +7(812)490-75-03, +7(812)921-48-02;
e-mail: info@td-elma.ru; www. info@td-elma.ru

Информация для авторов журнала "Гальванотехника и обработка поверхности" размещена на сайте
www.galvanotekhnika.info

Заказ № 2068. Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии ООО «АльфаСтайлС»
107023, г. Москва, ул. Электrozаводская, дом 21, этаж 3,
помещение СХИХ, комната 157,160



ООО «НАВИКОМ» представляет

программное обеспечение «СМАРТ-Контроль»



Программное обеспечение «СМАРТ-Контроль» позволяет осуществлять управление выпрямительными агрегатами «ПУЛЬСАР» с удаленного персонального или промышленного компьютера.

Функциональные возможности:

- Сбор, отображение и хранение (архивирование и выгрузка) данных о работе агрегата выпрямительного (АВ), в том числе следующих параметров:
 - ✓ Ток
 - ✓ Напряжение
 - ✓ Полярность
 - ✓ Время
 - ✓ Режим работы (ручной/по программе)
- Управление параметрами работы:
 - ✓ Ток
 - ✓ Напряжение
 - ✓ Полярность
 - ✓ Запуск/останов
 - ✓ Запуск программы
- Просмотр и редактирование программ (как встраиваемых в АВ, так и хранимых в ПК).
- Протоколирование выбранных пользователем параметров АВ.
- Ведение архива протоколов (хранение, визуализация, экспорт в файл, вывод на печать).
- Работа с диагностическими данными (сбор, хранение, визуализация, экспорт в файл для целей удаленной диагностики, импорт из файла).
- Возможность управления несколькими АВ одновременно.
- Несколько уровней пользователей: оператор, технолог, администратор; управление доступом к функциональным блокам программы.

RS-485/ Ethernet/ Modbus



Способы коммуникации:

- Подключение к АВ по выбору пользователя:
 - RS-485
 - TCP/IP
- Подключение к нескольким агрегатам (в том числе входящим в состав выпрямительного комплекса).

Программное обеспечение «СМАРТ-Контроль» имеет демонстрационную и лицензированную версии!

Доступность полного функционала программы определяется наличием в файле-лицензии серийного номера агрегата (модуля управления). Вы можете приобрести ПО и лицензии как для управления одним выпрямителем, так и несколькими выпрямителями.

Уровни доступа пользователей

| Функционал | Демо-версия | Лицензированная версия | | |
|--------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------|----------|---------------|
| | | Оператор | Технолог | Администратор |
| Редактирование списка выпрямителей | + | - | - | + |
| Редактирование списка пользователей | - | - | - | + |
| Просмотр данных с выпрямителей | + | + | + | + |
| Просмотр данных с силовых блоков | - | - | - | + |
| Выгрузка накопленных данных в файл во внутреннем формате программы | + | + | + | + |
| Выгрузка накопленных данных в файл в форматах txt/dbf/xls | - | + | + | + |
| Прямое управление выпрямителями | - | + | + | + |
| Управление запуском программ | - | + | + | + |
| Редактирование программ | - | - | + | + |
| Изменение настроек выпрямителя | - | - | - | + |

Заказать программное обеспечение «СМАРТ-Контроль» возможно, указав данную потребность при заполнении опросного листа или обратившись в ООО «Навиком» по тел./факс: (4852) 74-11-21, 74-15-67 или на e-mail: commerce@navicom.org.

Получить информацию о возможностях программного обеспечения, ознакомиться с интерфейсом программы, скачать демо-версию ПО «СМАРТ-Контроль» и «Краткие рекомендации по настройке ПО «СМАРТ-Контроль» Вы можете в соответствующем разделе сайта нашей компании <http://www.navicom.org/>.



19-я Международная
выставка материалов
и оборудования
для обработки
поверхности,
нанесения покрытий
и гальванических
производств

26|27|28
ОКТАБРЯ
2021

Москва, Крокус Экспо



Организатор — компания MVK
Офис в Санкт-Петербурге

MVK Международная
Выставочная
Компания

+7 (812) 380 6000
expocoating@mvk.ru

Подробнее о выставке:
expocoating-moscow.ru

12+