



ПРИКЛАДНАЯ ЭЛЕКТРОХИМИЯ

APPLIED ELECTROCHEMISTRY

Тип статьи: научная, оригинальная

Article type: original

<https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.112.2-5>

Электролит меднения на основе комплексов оксиэтилендифосфоновой кислоты

А.Г. Холодкова[✉], А.А. Абрашов, Н.С. Григорян, Т.А. Ваграмян

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,
РФ, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9

e-mail: annaholodkova95@icloud.com

Аннотация. В настоящее время для электрохимического осаждения медных покрытий существуют различные электролиты, из которых наиболее применимыми в промышленности для непосредственного покрытия стали являются цианидные электролиты. Очевидно, использование цианидных электролитов является нежелательным ввиду их высокой токсичности, а в ряде стран, в том числе и в Российской Федерации, были установлены нормативы, запрещающие или строго регулирующие применение цианидов в различных технологических процессах.

В рамках данной исследовательской работы были получены результаты, касающиеся разработки альтернативного щелочного электролита меднения, основанного на оксиэтилендифосфоновой кислоте, с целью замены токсичных цианидных растворов. Проведенные исследования показали, что предлагаемый электролит на основе оксиэтилендифосфоновой кислоты способен обеспечить получение медных покрытий, обладающих не только высоким качеством, но и прочностью сцепления с основой из стали.

Эти результаты открывают новые перспективы в области разработки безопасных и эффективных альтернатив цианидным электролитам в процессах электроосаждения медных покрытий, способствуя снижению экологической нагрузки и повышению безопасности технологических процессов в промышленности.

Ключевые слова: электроосаждение меди, оксиэтилендифосфоновая кислота, щелочной электролит, бесцианидный электролит

Для цитирования: Холодкова А.Г., Абрашов А.А., Григорян Н.С., Ваграмян Т.А. Электролит меднения на основе комплексов оксиэтилендифосфоновой кислоты // Практика противокоррозионной защиты. – 2024. – Т. 29, № 2. – С. 50-58. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.112.2-5>

Статья получена 18.03.2024. Принята к публикации 27.04.2024. Опубликовано 01.06.2024.

Конфликт интересов. Абрашов А.А. является членом редакционной коллегии журнала «Практика противокоррозионной защиты» с 2018 г., но не имеет отношения к решению опубликовать данную статью. Статья прошла принятую в журнале процедуру рецензирования. Об иных конфликтах интересов авторы не заявляли.

Copper Plating Electrolyte Based on Oxyethylene Diphosphonic Acid Complexes

Anna G. Kholodkova[✉], Alexey A. Abrashov, Nelya S. Grigoryan, Tigran A. Vahramyan

Mendeleev University of Chemical Technology of Russia,
9, Miusskaya square, Moscow, 125047, Russian Federation

e-mail: annaholodkova95@icloud.com

Abstract. Currently, there are various electrolytes for the electrochemical deposition of copper coatings. The most used of them in industry for direct coating of steel are cyanide electrolytes. Obviously, the use of cyanide electrolytes is undesirable due to their high toxicity. In a number of countries, including the Russian Federation, standards have been established that prohibit or strictly regulate the use of cyanides in various technological processes. This study's outcomes are connected with the development of an alternative alkaline copper plating electrolyte based on hydroxyethylidene diphosphonic acid to replace toxic cyanide solutions.

The study has shown that the proposed electrolyte based on hydroxyethylidene diphosphonic acid is capable of ensuring to obtain copper coatings that are not only of high quality but also demonstrate adhesion strength to the steel base.

These results open up new vistas for the development of safe and effective alternatives to cyanide electrolytes in electrodeposition processes of copper coatings, helping to reduce the environmental load and improve the

safety of technological processes in industry.

Keywords: copper electroplating, hydroxyethylidene diphosphonic acid, alkaline electrolyte, cyanide-free electrolyte

For citation: Kholodkova, A. G., Abrashov, A. A., Grigoryan, N. S., & Vahramyan, T. A. (2024). Copper plating electrolyte based on oxyethylene diphosphonic acid complexes. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 29 (1), 50-58. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.112.2-5>

Received March 18, 2024. Accepted for publication April 30, 2024. Published June 01, 2024.

Conflict of interest. Abrashov A.A. has been a member of the editorial board of the journal "Theory and Practice of Corrosion Protection" since 2018, but was not involved in the decision to publish this article. The article passed the journal's peer review procedure. The authors declared no other conflicts of interest.

Введение

Медные покрытия широко применяются как в качестве самостоятельных покрытий, так и как подслой для нанесения других гальванических покрытий.

Электролиты, используемые для формирования медных покрытий, принято классифицировать на простые и сложные (комплексные). Несмотря на ряд преимуществ кислых электролитов, они не позволяют непосредственно осаждать медное покрытие на стальную основу. Наиболее применимыми в промышленности электролитами для покрытия стали являются цианидные электролиты меднения, они характеризуются высокой рассеивающей способностью, кроме того, ионы меди в вышеуказанных электролитах связаны в прочные комплексы, вследствие чего контактное выделение меди не наблюдается, позволяя получать покрытия, хорошо сцепленные со сталью. Однако использование цианидных электролитов нежелательно вследствие высокой токсичности [1].

В качестве замены цианидным электролитам было предложено достаточно большое количество различных электролитов с менее токсичными комплексообразователями меди: пиррофосфат, цитрат, этилендиаминтетрауксусная кислота (ЭДТА), глицерин, фосфорсодержащие органические кислоты и др. [2]. Несмотря на потенциальные преимущества, данные электролиты не получили широкого распространения в промышленности. Согласно литературным источникам, пиррофосфатный электролит, который считался наиболее перспективным, не обеспечивает прочного сцепления медного покрытия со стальной подложкой [1], этилендиаминовые электролиты, как было установлено ранее, достаточно токсичные, а большое количество предложен-

ных комплексных электролитов не обеспечивают необходимыми технологическими свойствами.

В связи с этим остается актуальной необходимость в разработке малотоксичных электролитов, позволяющих получать медные покрытия на стали с хорошей адгезией.

Из литературных источников известно о возможности применения для электроосаждения меди растворов на базе фосфорорганических кислот в качестве комплексообразователей [3, 4]. Согласно [5], константы устойчивости меди с пиррофосфатами и оксиэтилендифосфоновой кислотой (ОЭДФ) в щелочной среде ($pH \sim 8...9$) близки по значению. Однако при определенных значениях pH и соотношении ионов меди с ОЭДФ может наблюдаться отсутствие контактного выделения меди на стали, что, возможно, связано с образованием адсорбционной пленки, как это было показано в исследовании [6], которое заключалось в анализе поведения углеродистой стали при взаимодействии с раствором нитрилометилфосфоновой кислоты, являющейся соединением, аналогичным оксиэтилендифосфоновой кислоте. Результаты работы свидетельствуют о том, что процесс ингибирования контактного осаждения меди на поверхности стали осуществляется за счет формирования пассивирующих адсорбционных слоев. Образование этих слоев происходит посредством электрофильного замещения ионов меди ионами железа, которые формируются при коррозии стали в растворе. Кроме того, исследование подтверждает, что пассивирующие слои включают соединения одно- и двухвалентной меди, железа, фосфора и калия. Вероятно, аналогичные процессы будут наблюдаться при взаимодействии раствора оксиэтилендифосфоновой кислоты с углеродистой сталью. В связи

с чем нами была предпринята попытка более детально исследовать процесс электроосаждения меди из электролита, где ионы меди связаны с оксиэтилендифосфоновым лигандом.

Методики экспериментов

Для приготовления электролита меднения применялись химические реактивы марок «ч», «чда» и дистиллированная вода.

Все эксперименты проводились при концентрации меди, установленной в ходе предыдущих исследований, равной 0,1 М в пересчете на металл [7]. Такая концентрация была выбрана, поскольку для эффективно связывания меди требуется достаточное количество комплексообразователя, а при более высоких концентрациях медь выпадает в осадок в виде труднорастворимых соединений.

Эксперименты проводились при перемешивании растворов на магнитной мешалке Intelli-Stirrer MSH-300 со скоростью вращения 750 об/мин.

Предварительные исследования для выявления диапазона плотностей тока получения качественных осадков проводились при помощи угловой ячейки Хулла объемом 250 мл в течение 15 минут при силе тока 0,5 А.

Электроосаждение покрытий осуществлялось на образцы из углеродистой стали марки 08пс размером 2,5×2,0 см в ячейке объемом 250 мл. Диапазон плотностей тока составлял от 0,1 А/дм² до 2,5 А/дм². В качестве растворимого анода использовали медные пластины марки М1. Перед нанесением покрытия стальную поверхность обезжиривали венской известью, травили в 10%-ном растворе серной кислоты. После каждой операции подготовки поверхности образец промывали дистиллированной водой.

Определялся выход по току путем гравиметрического анализа в ходе электролиза, проведенного в ячейке объемом 250 мл. В качестве катодов использовались образцы стали 08пс, а в качестве анодов – медь марки М1. Образцы взвешивались до и после электролиза на аналитических весах серии GR-200 (A&D) с точностью до 0,1 мг. Выход по току рассчитывали по формуле:

$$BT = (\Delta m_{Cu} \cdot 100) / (I \cdot q_{Cu} \cdot t)$$

где Δm_{Cu} – изменение массы после электроосаждения, г;

I – сила тока, А;

q_{Cu} – электрохимический эквивалент меди, г/(А·ч);

t – время, затраченное на электроосаждение, ч.

Морфологию поверхности оценивали с помощью металлографического микроскопа METAM PB-21.

Определение блеска медных покрытий проводили с помощью блескомера Elcometer 480 при различных толщинах (5, 10 и 15 мкм) и плотностях тока (0,5, 1,0, 1,5 и 2,0 А/дм²). Прочность сцепления медных покрытий толщиной 10 мкм со стальной подложкой определялась методом нанесения сетки царапин ГОСТ 9.302-88 (метод рисков). Рассеивающая способность определялась с помощью ячейки Херинга-Блюма с внутренними размерами 500×25×50 мм.

Толщина пленок определялась эллипсометрическим методом с помощью эллипсометра SENreasech 4.0 фирмы SENTECH с быстродействующим монохроматором. Толщину формирующейся пленки определяли на стальных образцах марки 08пс. Предварительно стальной образец шлифовали абразивной бумагой Р-2000 и полировали пастой ГОИ №1 до значения шероховатости $R_z \sim 1,4$ мкм, что соответствует 9 классу шероховатости. Непосредственно перед проведением эксперимента образец обезжиривали венской известью и активировали в 10%-ном растворе серной кислоты. Затем образец погружали на 10 минут в исследуемый раствор, содержащий оксиэтилендифосфоновую кислоту и ионы меди, после чего образец промывали дистиллированной водой, высушивали и проводили измерение толщины. В качестве сравнения использовали аналогично подготовленный образец, который не погружали в исследуемый раствор.

С целью измерения шероховатости поверхности осажденных покрытий использовали профилометр Mitutoyo SurfTest SJ-310. Измерения проводили на стальной подложке (08пс), обработанной до достижения ше-

роховатости $R_z \sim 1,4$ мкм, согласно описанной ранее методике. После этого на подготовленную поверхность наносились медные покрытия разной толщины и при различных значениях плотности тока.

Для проведения поляризационных исследований использовали потенциостат IPC-Pro MF. В качестве вспомогательного использовался электрод из меди, электродом сравнения служил хлоридсеребряный. При построении графиков значения потенциала выражали относительно стандартного водородного электрода. Скорость развертки составляла 1 мВ/с в потенциодинамическом режиме.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования было установлено, что в отсутствие механического перемешивания диапазон катодных плотностей тока уменьшается из-за низкой концентрации ионов меди в составе электролита, поэтому все последующие эксперименты проводились при перемешивании.

Было изучено влияние концентрации ОЭДФ при установленной концентрации ионов двухвалентной меди на качество образующихся покрытий в угловой ячейке Хулла. При выборе концентрации меди, равной 0,1 М в пересчёте на металл, были учтены результаты предыдущих исследований, в рамках которых также был определен рабочий диапазон pH от 8,5 до 10,0, при котором получают покрытия наилучшего качества [7]. В результате проведенных экспериментов было выявлено, что при наименьшей концентрации лиганда, составляющей 0,6 М, из электролита осаждаются темные и матовые покрытия во всем исследуемом диапазоне плотностей тока, в то время как увеличение концентрации лиганда до 0,7...0,8 М приводит к формированию светлых мелкокристаллических покрытий. При дальнейшем увеличении концентрации комплексообразователя до 1,0 М рабочий диапазон катодных плотностей тока уменьшается. Таким образом, был установлен состав электролита, содержащий 0,7 М оксиэтилендифосфоновой кислоты и 0,1 М меди, позволяющий получать качественные медные покрытия в диапазоне катодных плотностей тока 0,1...2,5 А/дм², что соот-

ветствует в большинстве случаев рабочим интервалам, используемых для цианидных электролитов меднения.

Значимым параметром электролита меднения является адгезия покрытия, нанесенного на сталь. Установлено, что в изученном электролите при мольном соотношении металл : лиганд, равным 1,0 : 6,1, удается получить покрытия с хорошей адгезией (1 балл при тесте адгезии) в широком диапазоне катодных плотностей тока (от 0,1 до 2,5 А/дм²). Также выявлено, что увеличение температуры процесса электроосаждения до 45 °С не оказывает существенного влияния на адгезию.

Для изучения кинетики разряда меди были получены катодные поляризационные кривые меди (рис. 1). Исследования показали, что в рассматриваемом электролите потенциал медного катода сильно изменяется в отрицательную сторону в диапазоне низких плотностей тока. В пределах рабочего диапазона плотностей тока поляризация составляет от 350 до 1050 мВ, причем увеличение температуры деполяризует процесс, что ожидаемо. Вероятно, высокая поляризация в электролите связана с тем, что на поверхности стали образуется адсорбционная пленка аналогичная той, которая образуется с нитрилотриметилфосфоновой

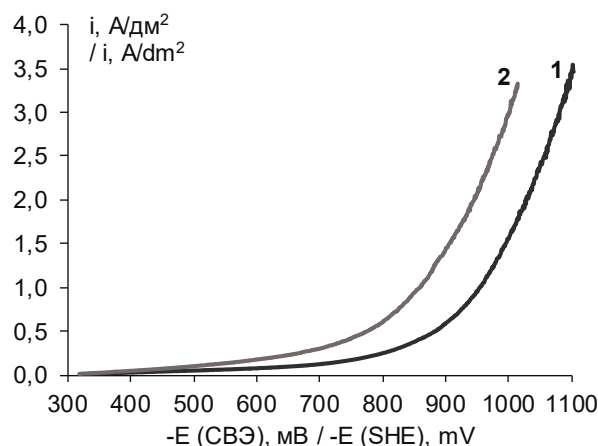


Рис. 1. Катодные поляризационные кривые осаждения меди 0,1 М Cu^{2+} ; 0,7 М ОЭДФ; pH 9,5, перемешивание; 1 – $T = 20$ °С; 2 – $T = 45$ °С

Fig. 1. Cathode polarization curves of copper deposition 0.1 M Cu^{2+} ; 0.7 M OEDF; pH 9.5, stirring; 1 – $T = 20$ °C; 2 – $T = 45$ °C

кислотой, как было показано в работе [6]. Возможно, образование пленки также препятствует контактному выделению меди.

Существование адсорбционной пленки на поверхности стали было подтверждено путем проведения измерений с использованием эллипсометра. Полученные данные показали, что толщина пленки составляет 20...30 нм, что свидетельствует о присутствии указанного слоя на поверхности материала.

С целью изучения анодного растворения меди в исследуемом электролите были проведены измерения анодных поляризационных кривых, результаты которых представлены на рис. 2. Обнаружение выраженных максимумов тока на кривых может быть объяснено формированием пленки, играющей ключевую роль в процессе ингибирования.

В изучаемом электролите была определена зависимость катодного выхода по току от плотности тока (рис. 3а) при температуре 20 °С, с ростом катодной плотности тока от 0,5 до 2,5 А/дм² выход по току снижается с

97% до 83%, такая зависимость является классической для комплексных растворов. С ростом температуры от 40 до 70 °С выход по току несколько увеличивался (рис. 3б), что может быть связано с уменьшением толщины пленки или ее десорбцией.

Была проанализирована зависимость анодного выхода по току от плотности (рис. 4а). В соответствии с полученной зависимостью, изображенной на рис. 4а, наблюдается минимум анодного выхода при плотности тока 1 А/дм², что коррелирует с максимумом на анодной поляризационной кривой, представленной выше. Таким образом, можно утверждать, что наблюдаемым минимум анодного выхода по току связан с образованием ингибирующей пленки при растворении медных анодов. Анализ рис. 4б показывает, что при увеличении температуры до 50 °С выход по току остается стабильным, однако, при повышении до 60 °С резко возрастает. Можно сделать вывод, что температура процесса, равная 60 °С, может препятствовать формированию ингибирующей пленки, как

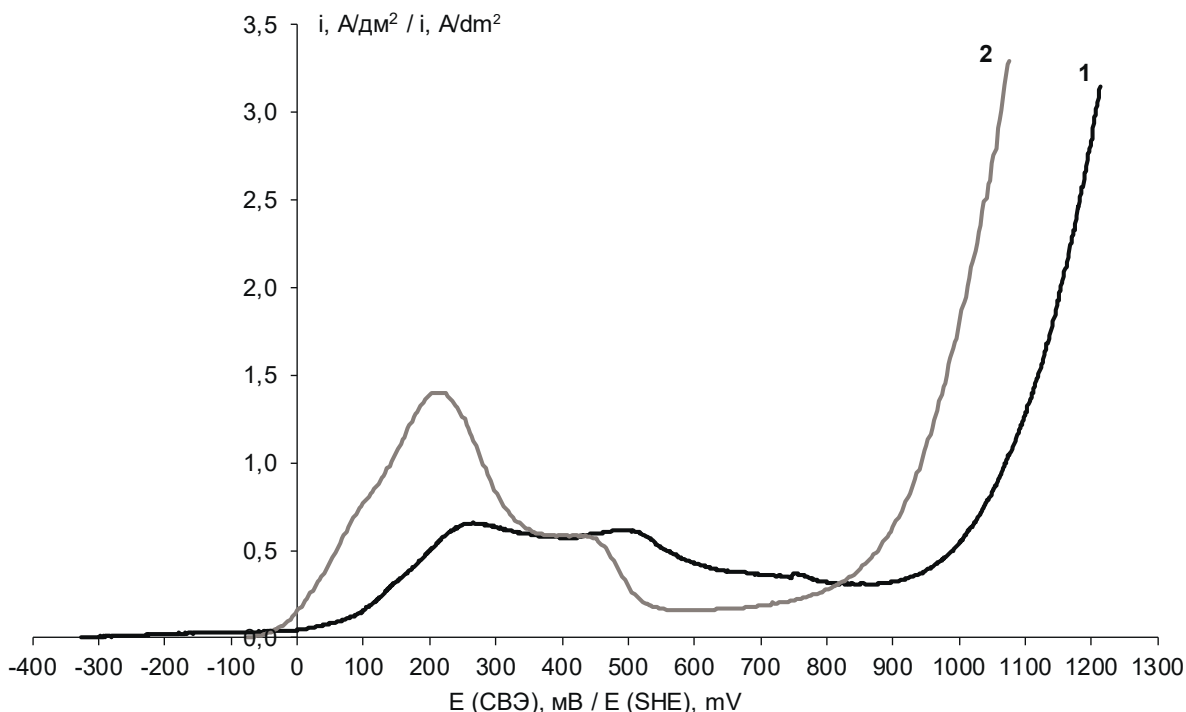


Рис. 2. Анодные поляризационные кривые растворения меди 0,1 М Cu^{2+} ; 0,7 М ОЭДФ; pH 9,5, перемешивание; 1 – $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$

Fig. 2. Anodic polarization curves of copper dissolution 0,1 M Cu^{2+} ; 0,7 M HEDP; pH 9.5, stirring; 1 – $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$

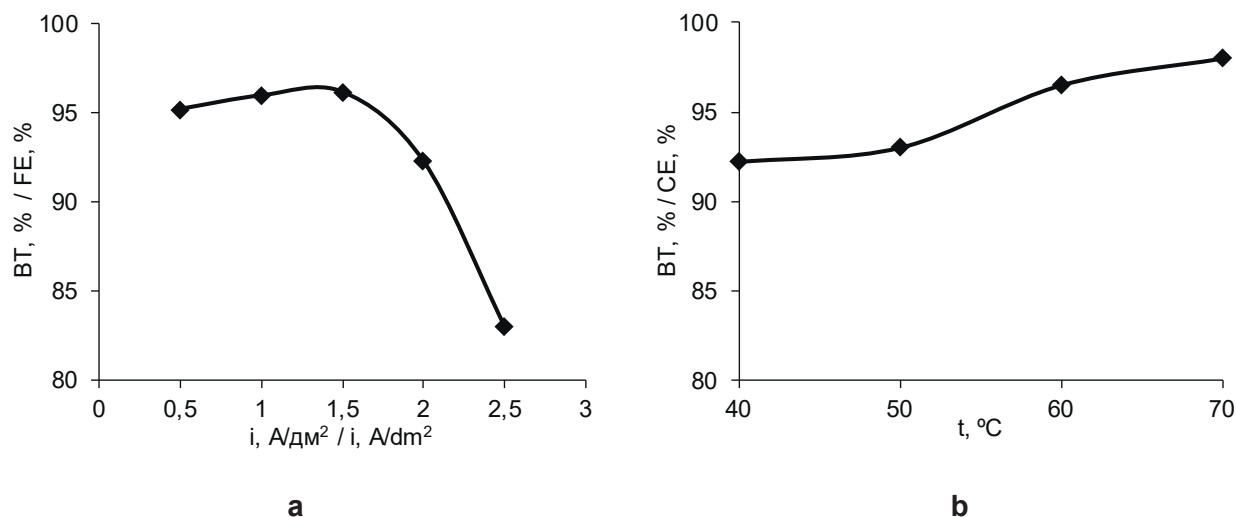


Рис. 3. Зависимость катодного выхода по току от плотности тока (а) и температуры (б)

Fig. 3. Dependence of cathode current output on current density (a) and temperature (b)

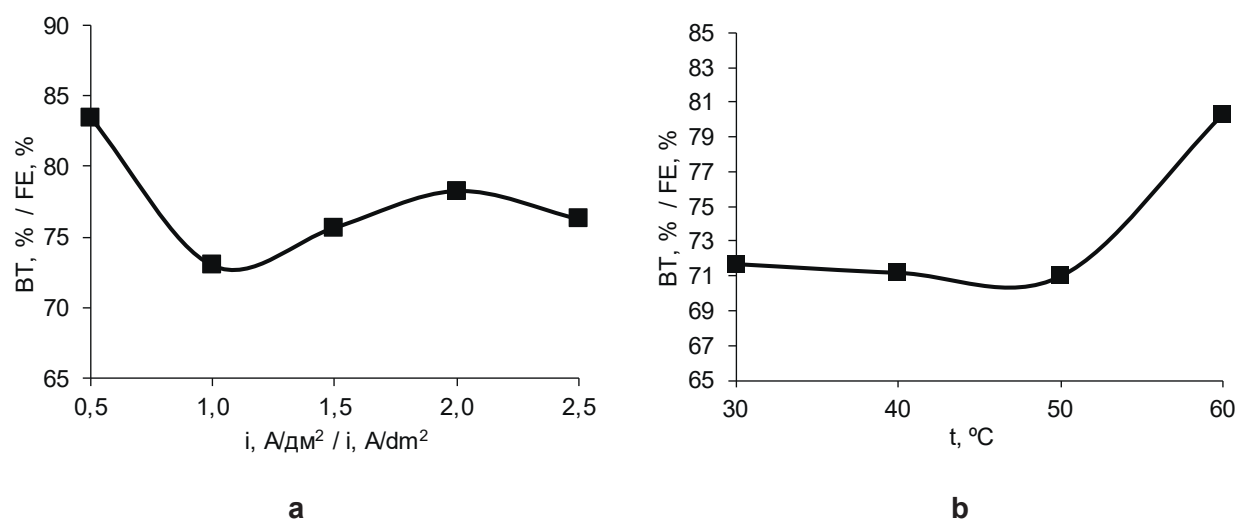


Рис. 4. Зависимость анодного выхода по току от плотности тока (а) и температуры (б)

Fig. 4. Dependence of the anode current output on current density (a) and temperature (b)

следствие, к увеличению анодного выхода по току.

В ходе исследования было выявлено, что рассеивающая способность рассматриваемого электролита составляет 11,5%, что выше значения пирофосфатного электролита меднения – 8,0%.

В исследуемом электролите наблюдается ухудшение блеска покрытия с увеличением плотности тока, однако, с увеличением температуры процесса электроосаждения данное влияние становится менее выраженным (рис. 5).

На рис. 6 представлены фотографии поверхности покрытия толщиной 10 мкм, полученного из исследуемого электролита при плотности тока – 0,5 и 1,0 A/dm². Покрытие характеризуется отсутствием трещин, что, вероятно, свидетельствует о небольших внутренних напряжениях. Было установлено, что покрытия хорошо повторяют рельеф подложки. Кроме того, из анализа рис. 7 и рис. 8 следует, что увеличение толщины покрытия сопровождается некоторым увеличением шероховатости поверхности. При этом повышение температуры обуслови-

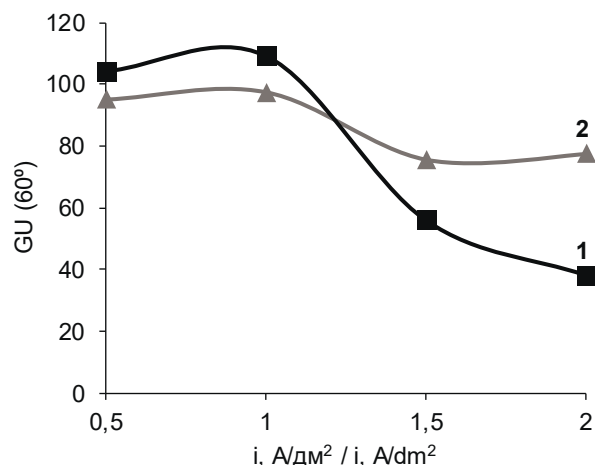
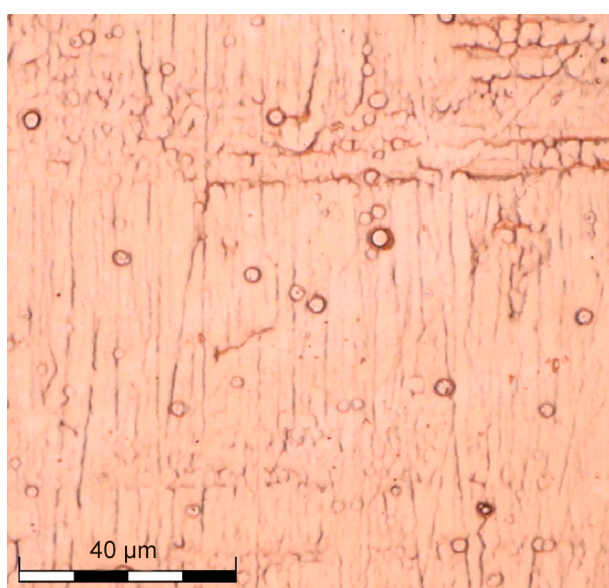
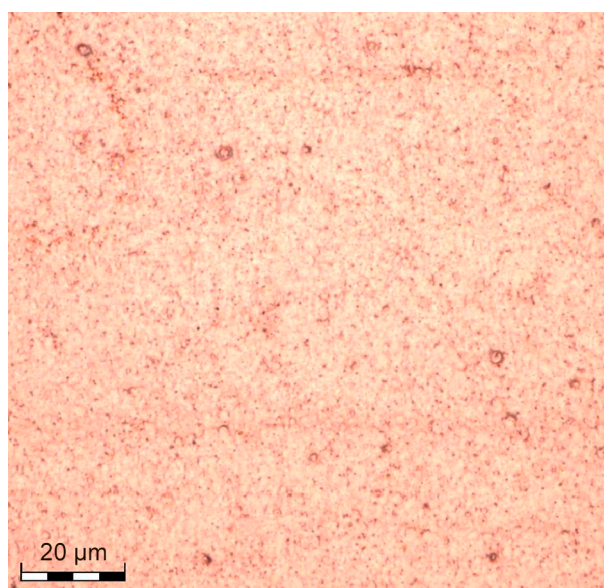


Рис. 5. Зависимость блеска покрытия от плотности тока $0,1 \text{ M Cu}^{2+}$; $0,7 \text{ M ОЭДФ}$; $\text{pH } 9,5$, перемешивание; 1 – $T = 20$ °C; 2 – $T = 45$ °C

Fig. 5. Dependence of coating gloss on current density 0.1 M Cu^{2+} ; 0.7 M HEDP ; $\text{pH } 9.5$, stirring; 1 – $T = 20$ °C; 2 – $T = 45$ °C



a



b

Рис. 6. Морфология поверхности покрытия при увеличении $129 \times 129 \text{ мкм}$ в зависимости от плотности тока; $\delta = 10 \text{ мкм}$, а – $i = 0,5 \text{ А/дм}^2$; б – $i = 1,0 \text{ А/дм}^2$

Fig. 6. Morphology of the coating surface at a magnification of $129 \times 129 \text{ μm}$ depending on the current density; $\delta = 10 \text{ μm}$, а – $i = 0.5 \text{ A/dm}^2$; б – $i = 1.0 \text{ A/dm}^2$

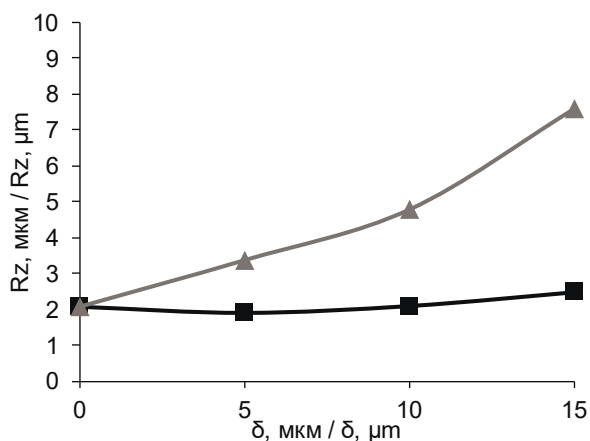


Рис. 7. Зависимость шероховатости (R_z) от толщины нанесенного покрытия $0,1 \text{ M Cu}^{2+}$; $0,7 \text{ M ОЭДФ}$; $\text{pH } 9,5$, перемешивание; $i = 1,0 \text{ А/дм}^2$; 1 – $T = 20$ °C; 2 – $T = 45$ °C

Fig. 7. Dependence of roughness (R_z) on the thickness of the applied coating 0.1 M Cu^{2+} ; 0.7 M HEDP ; $\text{pH } 9.5$, stirring; $i = 1.0 \text{ A/dm}^2$; 1 – $T = 20$ °C; 2 – $T = 45$ °C

вает более выраженную зависимость шероховатости от толщины покрытия, в то время как изменение плотности тока практически не оказывает влияния на шероховатость.

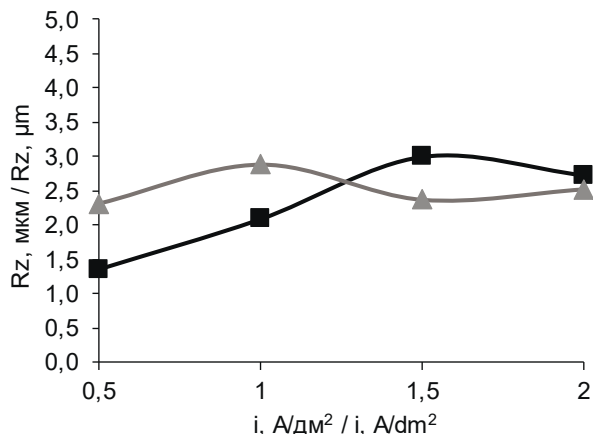


Рис. 7. Зависимость шероховатости (R_z) от плотности тока $0,1 \text{ M Cu}^{2+}$; $0,7 \text{ M OЭДФ}$; $\text{pH } 9,5$, перемешивание; $i = 1,0 \text{ A/dm}^2$; 1 – $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 7. Dependence of roughness (R_z) on current density 0.1 M Cu^{2+} ; 0.7 M HEDP ; $\text{pH } 9.5$, stirring; $i = 1.0 \text{ A/dm}^2$; 1 – $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; 2 – $T = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

Выводы

Было установлено, что ингибирование контактного осаждения меди происходит за счет образования пассивирующих адсорбционных пленок на поверхности стали.

Из полученных данных следует, что электролит меднения с комплексообразователем ОЭДФ при значениях pH от 8,5 до 10,0 и плотностях тока от 0,1 до 2,5 A/dm² позволяет осаждать компактные и хорошо сцепленные со стальной основой медные покрытия. Электролит по техническим характеристикам и возможностям пригоден в качестве замены цианидного электролита.

Литература

1. Агладзе Р.И., Ваграмян Т.А., Гофман Н.Т., Кудрявцев Н.Т. Прикладная электрохимия. – 3-е изд. // М.: Химия, 1984.
2. Li M.G., Wei G.Y., Li M., Wang J.F., Chen L. and Zhao X.X., Effect of HEDP copper electroplating from non-cyanide alkaline baths // *Surface Engineering*. – 2014. – V. 30, № 10. <https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000256>

3. Патент RU 2652328 C1. Электролит для электролитического осаждения меди. Писарев А.С., Серов А.Н., Желудкова Е.А., Абрашов А.А., Григорян Н.С., Калинкина А.А., Архипов Е.А., Ваграмян Т. А., 2018.

4. Patent CN 104152951 A. Cyanide-free alkali solution mill berry copper electroplating liquid and process. Xie Jinping, Guo Yan, Liang Yunrui, Zeng Zhenou, Wu Yaocheng, Huang Lingfei, 2019.

5. Minggang Li, Guoying Wei, Shuangshuang Hu, Shuhan Xu, Yejiang Yang and Qinfang Miao, Electrodeposition of cuzn alloys from the non-cyanide alkaline baths // *Surface Review and Letters*. – 2015. – V. 22, № 1. <https://doi.org/10.1142/S0218625X1550003>

6. Serov A.N., Grigoryan N.S., Makhina V.S., Vagramyan T.A., Abrashov A.A., Kasatkin V.E. and Arkhipushkin I.A. A study of sorption phenomena on steel surface in solutions of aminotris(methylenephosphonic acid) // *Int. J. Corros. Scale Inhib.* – 2021. – V. 10, № 3. – P. 932-942. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2021-10-3-7>

7. Немцев А.Д., Серов А.Н., Желудкова Е.А., Григорян Н.С., Абрашов А.А., Нырклов Н.П., Писарев А.С., Исследование процесса щелочного бесцианидного меднения // *Успехи в химии и химической технологии*. – 2018. – Т. 32, № 13. – С. 30-32.

References

1. Agladze, R. I., Vahramyan, T. A., Hoffman, N. T., & Kudryavtsev, N. T. (1984). *Applied electrochemistry*, 3-rd ed. Moscow: Khimiya. (in Russ.)
2. Li, M. G., Wei, G. Y., Li, M., Wang, J. F., Chen, L. and Zhao, X. X. (2014). Effect of HEDP on copper electroplating from non-cyanide alkaline baths. *Surface Engineering*, 30(10). <https://doi.org/10.1179/1743294414Y.0000000256>
3. Patent RU 2652328 C1. (2018). Electrolyte for electrolytic deposition of copper. Pisarev, A. S., Serov, A. N., Zheludkova, E. A., Abrashov, A. A., Grigoryan, N. S., Kalinkina, A. A., Arkhipov, E. A., Vagramyan, T. A.
4. Patent CN 104152951 A. (2019). Cyanide-free alkali solution mill berry copper electroplating liquid and process. Xie Jinping, Guo Yan, Liang Yunrui, Zeng Zhenou, Wu



Yaocheng, Huang Lingfei.

5. Minggang, Li, Guoying, Wei, Shuangshuang, Hu, Shuhan, Xu, Yeijong, Yang and Qinfang, Miao. (2015). Electrodeposition of cuzn alloys from the non-cyanide alkaline baths. *Surface Review and Letters*, 22(1). <https://doi.org/10.1142/S0218625X1550003>

6. Serov, A. N., Grigoryan, N. S., Makhina, V. S., Vagramyan, T. A., Abrashov, A. A., Kasatkin, V. E. and Arkhipushkin, I. A. (2021). A study of

sorption phenomena on steel surface in solutions of aminotris (methylenephosphonic acid). *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 10(3), 932-942. <https://doi.org/10.17675/2305-6894-2021-10-3-7>

7. Nemtsev, A. D., Serov, A. N., Zheludkova, E. A., Grigoryan, N. S., Abrashov, A. A., Nyrkov, N. P., & Pisarev, A. S. (2018). Study of the process of alkaline cyanide-free copper plating. *Successes in Chemistry and Chemical Technology*, 32(13), 30-32. (in Russ.)

Информация об авторах

Холодкова Анна Григорьевна, аспирант, Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева (РХТУ), г. Москва, Российская Федерация

Абрашов Алексей Александрович, к.т.н., доцент, РХТУ, г. Москва, Российская Федерация

Григорян Неля Сетраковна, к.т.н., доцент, РХТУ, г. Москва, Российская Федерация

Ваграмян Тигран Ашотович, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой, РХТУ, г. Москва, Российская Федерация

Information about authors

Anna G. Kholodkova, graduate student, Mendeleev University of Chemical Technology of Russia (MUCTR), Moscow, Russian Federation

Alexey A. Abrashov, Ph.D. of Technical Sciences, associate professor, MUCTR, Moscow, Russian Federation

Nelya S. Grigoryan, Ph.D. of Chemistry, associate professor, MUCTR, Moscow, Russian Federation

Tigran A. Vahramyan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department, MUCTR, Moscow, Russian Federation

Подписка на 2024 год продолжается!

Уважаемые коллеги!

Мы были бы рады видеть Вас в числе подписчиков журнала «Практика противокоррозионной защиты». Подписаться на журнал можно во всех отделениях связи России и стран СНГ:

- объединенный каталог «Пресса России»
– индекс 87750, 88009.

Стоимость годовой подписки печатной версии – 6600 рублей, в том числе НДС (10%). Подписная цена включает стоимость доставки.

Стоимость годовой подписки электронной версии журнала – 7200 рублей, в том числе НДС (20%).

Вы также можете оформить подписку в редакции, для этого позвоните по телефону (985) 776-10-21.