

УДК 544.6

*С. Г. ДЕРІБО, В. М. АРТЕМЕНКО, С. А. ЛЕЩЕНКО, А. М. КОРОГОДСЬКА***ОСОБЛИВОСТІ АНОДНОЇ ПОВЕДІНКИ СРІБЛА І ЙОГО ЮВЕЛІРНИХ СПЛАВІВ У РОЗЧИНАХ НА ОСНОВІ РОДАНИДА КАЛІЮ**

Досліджено анодну поведінку електродів зі срібла та ювелірного сплаву СrM925 в розчинах роданиду калію. Встановлено області потенціалів, що відповідають активному розчиненню аноду та його переходу в активно-пасивний стан. Визначені кінетичні закономірності анодних процесів на сріблі та його сплаві, представлено механізм процесу електрохімічного полірування. Обґрунтовано оптимальні концентрації роданиду калію. Показано, що додавання до електроліту гліцерину сприяє підвищенню якості полірування при мінімальних втратах металу. Запропоновані режими проведення процесу.

Ключові слова: електрохімічне полірування, срібло, ювелірний сплав СrM925, роданид калію, гліцерин, кінетичні закономірності, режими полірування.

Исследовано анодное поведение серебра и ювелирного сплава СrM925 в растворах роданида калия. Установлены области потенциалов, которые отвечают активному растворению анода и его перехода в активно-пассивное состояние. Определенные кинетические закономерности анодных процессов на серебре и его сплаве, представлен механизм процесса электрохимического полирования. Обоснованы оптимальные концентрации роданида калия. Показано, что добавление к электролиту глицерина способствует повышению качества полирования при минимальных потерях металла. Предложены режимы проведения процесса.

Ключевые слова: электрохимическое полирование, серебро, ювелирный сплав СrM925, роданид калия, глицерин, кинетические закономерности, режимы полирования.

Anodic behavior of electrodes from silver and silver alloy СrM925 in solutions of potassium rhodanide in a wide range of concentrations was investigated. It has been established that with increasing concentration of ligand (potassium rhodanide), both the peak values of the current density of active dissolution of silver and the current density in the region of the active-passive state of the anode increase as the peak increases. The method of polarization measurements determines the potential regions corresponding to the active dissolution of the anode and its transition to the active-passive state, where the electrolytic polishing process of silver and its alloy occurs exactly. The kinetic regularities of silver anode behavior in potassium rhodanide solution are determined and the nature of the slow stages during electrochemical polishing is revealed. The mechanism of the process of anodic polishing of silver, which includes adsorption on the surface of the anode of rhodanide ions (CNS^-), silver ionization, formation of the salt passive film AgCNS, its interaction with the solution with the subsequent joining of the ligand groups, the formation of soluble complex ions with different coordination numbers and the withdrawal is proposed. They are deep into the solution. The range of optimal concentrations of potassium rhodanide ($4 - 5 \text{ mol/dm}^3$) for the process of anodic dissolution of silver and an alloy in the electrochemical polishing mode was substantiated. It is shown that the addition to polyethylene (glycerol) of the electrolyte helps to improve the quality of polishing with minimal metal losses. The optimal composition of the solution was established and the regime for the electrochemical polishing of silver and the СrM925 alloy was proposed.

Keywords: electrochemical polishing, silver, jewelry alloy СrM925, potassium thiocyanate, glycerol, kinetic patterns, polishing mode.

Вступ. Електрохімічне полірування є одним із способів анодної обробки металів, який з кожним роком знаходить усе більше промислове застосування. Цей процес дозволяє підвищити якість поверхні металевих виробів, надати їм декоративного зовнішнього вигляду, забезпечити блиск гальванічних покриттів безпосередньо після їх осадження, одержати поверхню з високим коефіцієнтом відбиття світла. Електролітичне полірування металу-основи перед нанесенням гальванічних покриттів сприяє підвищенню їх якості.

В основі електрохімічного полірування лежить анодне розчинення металу в умовах часткової пасивації внаслідок формування на його поверхні пасивуючої плівки при взаємодії іонів металу з компонентами електроліту. Результат анодної обробки визначається співвідношенням швидкостей утворення пасивної плівки і її розчинення в електроліті. Ефект полірування досягається при близьких швидкостях цих процесів, коли формується плівка товщини, достатньої для за-

побігання її травлення у розчині [1]. Наявність на поверхні анода пасивної плівки сприяє переважному розчиненню металу на ділянках, де плівка менш досконала, тобто на мікровиступах. Внаслідок цього відбувається зменшення шорсткості поверхні і виникнення її блиску.

Електрохімічне полірування срібла, як і інших рідкісних або дорогоцінних металів, має досить істотні переваги. Зазвичай, поліруванню піддають срібні покриття або вироби зі срібла і його сплавів.

У першому випадку поверхня не потребує попередньої механічної підготовки, полірування проводиться безпосередньо після одержання покриття.

У другому випадку метою електрохімічного полірування є згладжування поверхні металу за рахунок переважного розчинення мікровиступів, що залишилися після механічної обробки виробів. Електрохімічний спосіб є найбільш ефективним методом зняття поверхневого шару металу заданої товщини, що до-

зволяє значно зменшити безповоротні втрати металу.

Важливе значення для максимальної ефективності полірування поверхні як виробів зі срібла і його сплавів, так і електрохімічних срібних покриттів, має правильний вибір електроліту. На даний час більшість розчинів для полірування срібла містять токсичні компоненти, в основному ціаніди. Електроліти, що пропонуються замість ціанідних, також не позбавлені недоліків: вимагають застосування високих густин струму, що призводить до значного з'яому металу [2].

Проведений аналіз комплексних електролітів – ціанідних, сульфідних, аміачних, роданідних та інших [2 – 5], показав перспективність застосування розчинів на основі роданіда калію (KCNS) для електролітичного полірування срібла і його сплавів.

Мета роботи. Метою роботи є встановлення оптимального складу електроліту і визначення умов проведення процесу електролітичного полірування срібла і його ювелірного сплаву СрМ925.

Методика досліджень. Дослідження анодних процесів проводили на спеціально виготовлених електродах з робочою поверхню срібла Ср999 – 1 см², сплаву срібла з міддю СрМ925 – 0,6 см². В якості робочого електроліту використовували розчин роданіда калію наступних концентрацій – 1, 2, 4, 6, 8 моль/дм³, а також аналогічні розчини з добавкою багатоатомно-

го спирту – гліцерину концентрацією 0,5 моль/дм³. Дослідження проводили в скляній триелектродній комірці (об'єм електроліту становив 150 – 200 мл). Як електрод порівняння використовувався насичений хлоридсрібний електрод. В якості допоміжного електрода (катода) застосовувалася пластина з нержавіючої сталі, площею у 5 – 8 разів більшою за поверхню робочого електрода.

Поляризаційні вимірювання проводилися за допомогою імпульсного потенціостата ПІ-50-1 в потенціодинамічному режимі. Швидкість розгортки потенціалу становила 5 мВ/с, 10 мВ/с, 50 мВ/с, 100 мВ/с.

Результати досліджень та їх обговорення. На першому етапі проводилося вивчення впливу концентрації KCNS (1, 2, 4, 6, 8 моль/дм³) на анодний процес шляхом аналізу вольтамперних характеристик, отриманих на сріблі й на ювелірному сплаві.

Як видно з рисунку 1 та рисунку 2 анодні поляризаційні криві як для срібла, так і для сплаву СрМ925, при всіх досліджених концентраціях KCNS мають класичну форму, яка відображає перехід від області активного розчинення металу (діапазон потенціалів від –0,1В до +0,45В) до області активно-пасивного стану (діапазон потенціалів від +0,5 В до +1,2 В).

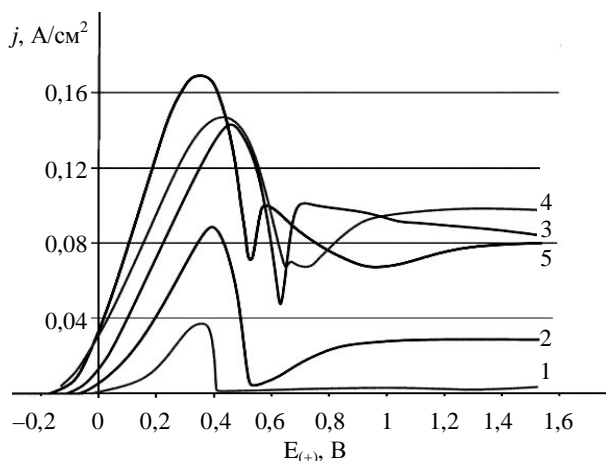


Рис. 1 – Анодні поляризаційні криві срібла в розчині KCNS: 1 – 1 моль/дм³; 2 – 2 моль/дм³; 3 – 4 моль/дм³; 4 – 6 моль/дм³; 5 – 8 моль/дм³. Швидкість розгортки потенціалу 10 мВ/с.

Слід зазначити, що зниження густини струму в порівнянні з піковими значеннями в інтервалі концентрацій KCNS від 4 моль/дм³ до 8 моль/дм³ невелике, що свідчить про достатньо високу швидкість розчинення металу в даній області потенціалів. При більш низьких концентраціях ліганда має місце значний спад аж до переходу анода в пасивний стан.

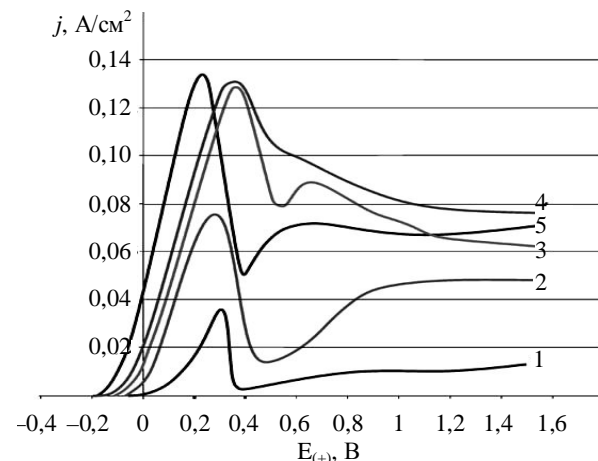


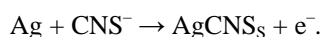
Рис. 2 – Анодні поляризаційні криві сплаву СрМ925 у розчині KCNS: 1 – 1 моль/дм³; 2 – 2 моль/дм³; 3 – 4 моль/дм³; 4 – 6 моль/дм³; 5 – 8 моль/дм³. Швидкість розгортки потенціалу 10 мВ/с.

Концентрація роданіда калію суттєво впливає на значення густини струму як в області активного розчинення металу, так і в області активно-пасивного стану анода, а саме: зі збільшенням концентрації KCNS зростає висота піка на поляризаційних кривих і відповідно швидкість анодного розчинення металу (рис. 1 та рис. 2).

В області активного розчинення срібла й сплаву відбувається утворення комплексів срібла з різними координаційними числами $[\text{Ag}(\text{CNS})_2]^-$,

$[\text{Ag}(\text{CNS})_3]^{2-}$ і $[\text{Ag}(\text{CNS})_4]^{3-}$, причому основний внесок вносять іони $[\text{Ag}(\text{CNS})_4]^{3-}$ ($K_{\text{н}} = 8,32 \cdot 10^{-11}$) [6].

При зміщенні потенціалу анода в позитивний бік швидкість анодного розчинення срібла знижується через утворення на поверхні анода пасивної сольової плівки, яка блокує його розчинення. Як і в інших комплексних електролітах, причиною пасивації є формування на аноді важкорозчинної солі AgCNS згідно реакції:



Утворення сольової плівки AgCNS призводить до переходу анода від активного стану в активно-пасивний, і, як наслідок, до зниження анодної густини струму.

В області активно-пасивного стану в результаті взаємодії AgCNS і іонів CNS^- відбувається утворення розчинних комплексних сполук срібла, що сприяє частковому розчиненню сольової плівки й депасивації анода. Розчинення аноду протікає з помірною швидкістю, обумовленою безперервним утворенням і розчиненням пасивної плівки.

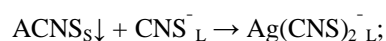
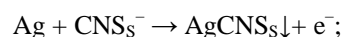
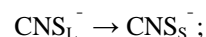
Саме цей процес і призводить до одержання гладкої блискучої поверхні металу, тобто відбувається електрохімічне полірування.

Швидкість утворення і розчинення плівки в даній області потенціалів лімітується швидкістю доставки до анода роданід-іонів, що свідчить про дифузійний контроль процесу.

Таким чином, процес полірування срібла включає адсорбцію на поверхні анода роданід-іонів (CNS^-),

іонізацію срібла, формування сольової пасивної плівки AgCNS , її взаємодію з розчином з подальшим приєднанням груп ліганда, утворенням розчинних комплексних іонів з координаційними числами 2, 3, 4 і відвід їх углиб розчину.

Механізм процесу можна представити наступними рівняннями:



На рисунку 3 представлені залежності пікових густин струму розчинення срібла і його сплаву від концентрації роданіда калію в електроліті.

Характерною рисою цих залежностей є наявність на них двох лінійних ділянок:

– 1-ша – з досить значним кутом нахилу в інтервалі концентрацій Ag CNS 1 – 4 моль/дм³;

– 2-га (практично горизонтальна) відбиває пікові густини струмів в області концентрацій AgCNS 4 – 8 моль/дм³.

В області концентрацій KCNS від 1 до 4 моль/л спостерігається різке збільшення пікових значень густини струму, що свідчить про прискорення анодного процесу.

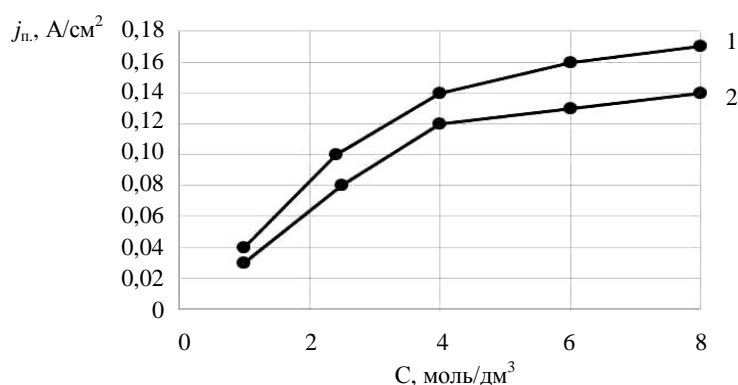


Рис. 3 – Залежність пікових анодних густин струму від концентрації KCNS : 1 – для срібла, 2 – сплаву SrM925 .

Подальший ріст концентрації ліганда в електроліті істотно впливу на швидкість розчинення як срібла, так і сплаву SrM925 не чинить.

Візуальний огляд зразків срібла та ювелірного сплаву після їх анодної обробки підтверджує дані графоаналітичної обробки отриманих результатів.

Так, поверхня зразків після обробки в розчинах з концентрацією роданіда калію $1 - 2$ моль/дм³ покрита матовою сірою плівкою.

Тоді як срібло, оброблене в розчинах з концентрацією KCNS $4 - 6$ моль/дм³, має світлу блискучу поверхню.

Отримані дані дозволили обґрунтувати вибір оптимальних концентрацій роданіда калію в межах $4 - 5$ моль/дм³ для проведення процесу анодного роз-

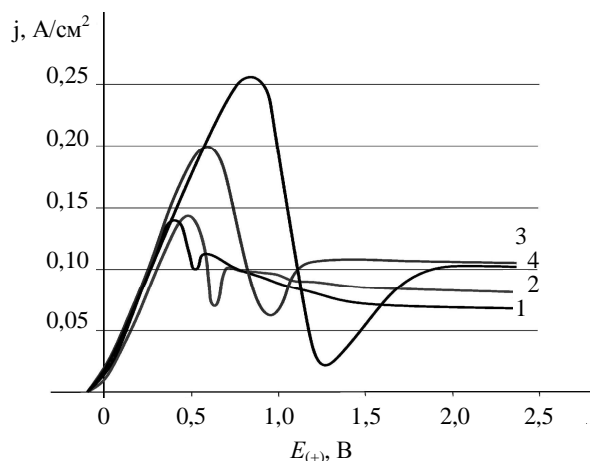


Рис. 4 – Анодні поляризаційні криві срібла Sr999 при різних швидкостях розгортки потенціалу: 1 – 5 мВ/с, 2 – 10 мВ/с; 3 – 50 мВ/с; 4 – 100 мВ/с.

Як видно з рисунків, анодні густини струму в області активного розчинення металу і пікові густини струмів помітно зростають при збільшенні швидкості розгортки потенціалу.

Також спостерігається зміщення потенціалу, що відповідає піковим густинам струму, в більш позитивну сторону для всіх кривих (рис. 4 та рис. 5).

Окрім визначення кінетичних закономірностей анодного розчинення срібла в роданіді калію проводилась оптимізація умов, необхідних для перебігу анодного процесу в режимі електрополірування.

Встановлено, що, з одного боку, максимальний анодний струм досягається при досить високій концентрації роданіду у поверхні електроду, що залежить від швидкості стадії доставки. З іншого боку, значення анодного струму обмежується швидкістю розчинення поверхневої пасивної плівки і відводом продуктів реакції вглиб електроліту. Саме тому формування на поверхні срібла фазової сольової плівки сприяє згладжуванню мікрорельєфу поверхні, тобто протіканню анодного процесу в режимі електрополірування.

Разом з тим, збільшення концентрації ліганду призводить до інтенсивного з'йому срібла і ускладнення контролю за ходом процесу полірування.

чинення срібла й сплаву в режимі електрохімічного полірування.

На наступному етапі проведені дослідження впливу швидкості розгортки потенціалу на анодну поведінку срібла і його сплаву в розчині роданіда калію концентрацією 4 моль/дм³.

На рисунку 4 та рисунку 5 представлені поляризаційні залежності, отримані при швидкості розгортки потенціалу 5 мВ/с, 10 мВ/с, 50 мВ/с, 100 мВ/с.

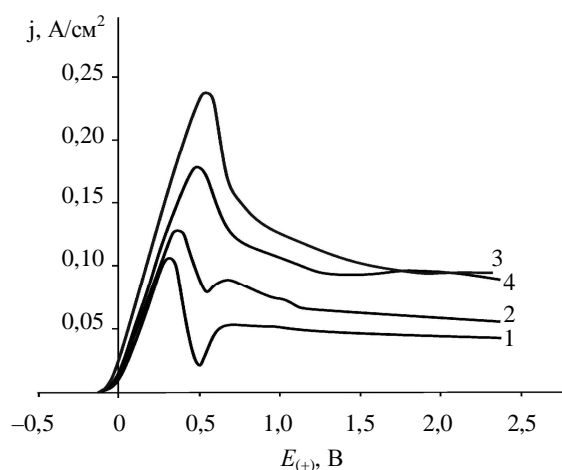


Рис. 5 – Анодні поляризаційні криві сплаву SrM925 при різних швидкостях розгортки потенціалу: 1 – 5 мВ/с, 2 – 10 мВ/с; 3 – 50 мВ/с; 4 – 100 мВ/с.

Враховуючи це процес полірування дорогіших металів бажано вести при помірних густинах струму. З цією метою в даній роботі запропоновано введення до складу електроліту органічного компонента гліцерину C₃H₈O₃, який використовується при поліруванні багатьох металів, однак для срібла застосовувався обмежено.

Дійсно, використання водно-органічного розчину (з добавкою гліцерину $0,1 - 0,4$ моль/дм³) призводить до певного зниження швидкості анодної густини струму в області активно-пасивного стану як на сріблї, так і на сплавї SrM925 порівняно з водними розчинами роданіду.

При додаванні гліцерину також має місце зниження густин пікового струму, що пояснюється гальмуванням дифузійних процесів в прианодному шарї і, пов'язаного з цим, зниження швидкості переходу важкорозчинного роданіда срібла AgCNS у розчинний комплекс за реакцією:



Гальмування відводу продуктів анодної реакції і доставки до поверхні анода ліганду CNS⁻ в присутності гліцерину пояснюється збільшенням в'язкості роз-

чину (табл. 1), що призводить до зменшення коефіцієнта дифузії, який залежить від електропровідності розчину (λ_0).

Таблиця 1 – Кінематична в'язкість і щільність роданідних розчинів

Склад розчину	Кінематична в'язкість, $\nu \cdot 10^2$, см ² /с	Щільність розчину, г/см ³
4 моль/дм ³ KCNS	0,8145	1,175
4 моль/дм ³ KCNS + 0,1 моль/дм ³ C ₃ H ₈ O ₃	0,8915	1,189
4 моль/дм ³ KCNS + 0,4 моль/дм ³ C ₃ H ₈ O ₃	1,0280	1,199

$$D = (RT\lambda_0)/zF^2,$$

де D – коефіцієнт дифузії; T – температура; λ_0 – еквівалентна електропровідність; z – заряд іону; F – стала Фарадея.

В свою чергу, еквівалентна електропровідність (λ_0) із збільшенням в'язкості розчину (ν) знижується згідно правилу Вальдена – Писаржевського:

$$\lambda_0 \cdot \nu = const.$$

Таким чином, можна припустити, що зменшення густини струму як в області активного, так і активно-пасивного стану аноду у водно-органічному розчині зумовлене більшими ускладненнями стадій дифузії і хімічної стадії (тобто має місце змішана кінетика процесу).

Підтвердженням цього є помірні густини струму в області активно-пасивного стану (області полірування) на поляризаційних кривих срібла і його ювелірного сплаву, отриманих в роданідних розчинах з додаванням гліцерину.

Таким чином, введення в розчин органічного компонента – гліцерину призводить до збільшення в'язкості прианодного шару електроліту, що сприяє більш ефективному згладжуванню поверхневого шару як срібла, так і його сплаву, та забезпечує високу якість полірування при незначному зніманні металу.

Якість полірованої поверхні залежить не тільки від складу електроліту, але й від режиму електролізу.

Полірування поверхні й срібла, і сплаву CrM925 може здійснюватися як у стаціонарному, так і в імпульсному режимах, однак в останньому випадку якість полірування значно вище.

Варіювання імпульсного режиму в широких межах показало, що оптимальний ефект досягається при тривалості імпульсу 0,5 – 1 с і шпаруватості 8 – 10, що добре узгоджується з результатами інших авторів [7].

Таким чином, процес електрохімічного полірування виробів зі срібла й сплаву CrM925 рекомендується вести в розчині, що містить 4 – 5 моль/дм³ роданіда калію з добавкою 0,5 моль/дм³ гліцерину при імпульсному режимі з амплітудою імпульсу

0,6 – 0,8 А/см², тривалість імпульсу 0,2 – 2,0 с і шпаруватість 8 – 10.

Час анодної обробки становить 1 – 2 хв.

Висновки.

1. Встановлено, що з ростом концентрації ліганду (роданіду калію) збільшуються як пікові значення густини струму активного розчинення срібла, так і густини струму в області активно-пасивного стану аноду. Обґрунтовані оптимальні концентрації KCNS.

2. Визначена область потенціалів, в якій відбувається процес електролітичного полірування срібла та сплаву CrM925.

3. Визначені кінетичні закономірності анодної поведінки срібла в розчині роданіду калію та виявлено природу уповільнених стадій при електрохімічному поліруванні. Запропоновано механізм процесу анодного полірування.

4. Показано, що введення до розчину гліцерину сприяє суттєвому підвищенню якості полірованої поверхні при мінімальних втратах металу.

5. Встановлено оптимальний склад розчину та режим для електрохімічного полірування срібла та сплаву CrM925.

Список літератури

- Гриліхес С. Я. Электролитические и химические покрытия. Теория и практика / С. Я. Гриліхес, К. И. Тихонов. – Л.: Химия, 1990. – 288с.
- Бек Р. Ю. О механизме электрохимического растворения серебра в цианистых растворах / [Р. Ю. Бек, Л. И. Шураева, А. Ф. Жеребилов, Н. М. Захарова] // Электрохимия. – 1996. – Т. 32, № 7. – С. 903 – 905.
- Галанин С. И. Осциллографические исследования процесса электрохимического полирования сплава серебра CrM925 импульсным током в тиосульфатном электролите / С. И. Галанин, Е. П. Гришина, О. А. Иванова // Современные электрохимические технологии в машиностроении. – Иваново: ИГХТУ, 2003. – С. 25 – 27.
- Юзикис Л. А. Электрохимическое полирование серебра в аммиачно-нитратном электролите / Л. А. Юзикис, Т. Ю. Янкаускас, Д. А. Бучинскас // Журнал прикладной химии. – 1979. – Т. 52, № 7. – С. 1659 – 1661.
- Бек Р. Ю. Изучение процесса разряда ионов серебра из роданистых электролитов / Р. Ю. Бек, В. Н. Паутов, А. С. Лифшиц // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. – 1972. – Вып. 1, № 2. – С. 22 – 25.

6. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1971. – 456 с.
7. Королева Е. В. Влияние многоатомного спирта на показатели процесса электрополирования серебра / [Е. В. Королева, Е. М. Румянцева, А. В. Балмасов, А. Н. Грошев] // Химия и химическая технология. – 2003. – Т. 46, Вып. 8. – С. 59 – 61.

References (transliterated)

1. Grilhes S. Y., Tihonov K. I. *Electroliticheskie i himicheskie pokri-tiya. Teoriya i praktika* [Electrolytic and chemical coatings. Theory and Practice]. Leningrad, Khimiya Publ., 1990, 288 p.
2. Bek R. Yu., Shuraeva L. I., Zherebilov A. F., Zakharova N. M. The Mechanism of Electrochemical Dissolution of Silver in Cyanide Solutions. *Russian Journal of Electrochemistry*, 1996, Vol. 32, No. 7, 1996, pp. 834 – 836.
3. Galanin S. I., Grishina E. P., Ivanova O. A. Oszillograficheskiye issledovaniya prozessa elektrohimicheskogo polirovaniya splava serebra CpM925 impylsnim tokom v tiosylfatnom electrolyte [Oscillographic studies of the of electrochemical polishing process of

CpM925 silver alloy by impulse current in thiosulfate electrolyte]. *Sovremennye electrochimicheskie tehnologii v mashenostroyeni* [Modern electrochemical technologies in mechanical engineering], Ivanovo, ISUChT Publ., 2003, pp. 25 – 27.

4. Yzikis L. A Yankauskas T. Y., Buchinkas D. A. Electrochemical polishing of silver in ammonia-nitrate electrolyte. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 1979, Vol. 52, No 7, pp. 1659 – 1661.
5. Bek R. Yu., Paytov V. N., Livshiz A. S. Izuchenie prozessa razryada ionov serebra iz rodanistich electrolitov [Study of the discharging process of silver ions from rhodanate electrolytes]. *Izvestiya SO AN SSSR. Seriya khimicheskikh nauk*, 1972, Vol. 1, No 2, pp. 22 – 25.
6. Lur'ye Yu. Yu. *Spravochnik po analiticheskoy khimii* [Handbook of Analytical Chemistry]. Moscow, Khimiya Publ., 1971, 456 p.
7. Koroleva E. V., Romyanzeva E. M., Balmasov A. V., Groshch A. N. The influence of polyatomic alcohol on the silver electropolishing. *Chemistry and Chemical Technology*, 2003, Vol. 46, No 5, pp. 59 – 61.

Надійшло (received) 26.12.17

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Особенности анодной поведінки срібла і його ювелірних сплавів у розчинах на основі роданида калію / С. Г. Дерібо, В. М. Артеменко, С. А. Лещенко, А. М. Корогодська // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 49 (1270). – С. 27 – 33. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0821.

Особенности анодного поведения серебра и его ювелирных сплавов в растворах на основе роданида калия / С. Г. Дерібо, В. М. Артеменко, С. А. Лещенко, А. Н. Корогодская // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 49 (1270). – С. 27 – 33. – Бібліогр.: 7 назв. – ISSN 2079-0821.

The specificities of anodic behavior of silver and its jewelry alloy in the potassium thiocyanate solution / S. G. Deribo, V. M. Artemenko, S. A. Leshchenko, A. M. Korohodska // Bulletin of NTU “KhPI”, Series: Chemistry, Chemical Engineering and Ecology. – Kharkov: NTU “KhPI”. – 2017. – No 49 (1270). – P. 27 – 33. – Bibliogr.: 7 names. – ISSN 2079-0821.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Дерібо Світлана Германівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технічної електрохімії; тел.: (057) 707-66-61, e-mail: sgd2408@gmail.com

Дерібо Светлана Германовна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры технической электрохимии; тел.: (057) 707-66-61, e-mail: sgd2408@gmail.com

Deribo Svitlana Germanivna – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Associate Professor at the Department of Technical Electrochemistry; tel.: (057) 707-66-61, e-mail: sgd2408@gmail.com

Артеменко Валентина Мефодіївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри технічної електрохімії; тел.: (057) 707-66-61, e-mail: sgd2408@gmail.com

Артеменко Валентина Мефодиевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры технической электрохимии; тел.: (057) 707-66-61, e-mail: sgd2408@gmail.com

Artemenko Valentyna Mefodiivna – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Associate Professor at the Department of Technical Electrochemistry; tel.: (057) 707-66-61, e-mail: sgd2408@gmail.com

Лещенко Сергій Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри технічної електрохімії; тел.: (057) 707-65-36, e-mail: leschenko@kpi.kharkov.ua

Лещенко Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», профессор кафедры технической электрохимии; тел.: (057) 707-65-36, e-mail: leschenko@kpi.kharkov.ua

Leshchenko Serhii Anatolievich – Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Professor at the Department of Technical Electrochemistry; tel.: (057) 707-65-36, e-mail: leschenko@kpi.kharkov.ua

Корогодська Алла Миколаївна – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: (057) 707-60-51; e-mail: alla-korogodskaya@ukr.net

Корогодская Алла Николаевна – доктор технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: (057) 707-60-51; e-mail: alla-korogodskaya @ukr.net

Korohodska Alla Mykolayivna – Doctor of Technical Sciences (Sci.D.), National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Senior Researcher at the Department of Ceramics, Refractories, Glass and Enamels Technology; tel.: (057) 707-60-51; e-mail: alla-korogodskaya @ukr.net