

УДК 621.35

**Штефан В.В.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Єніфанова А.С.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Метеньканич М.М.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Пойманов А.Д.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

**Школьнікова Т.В.**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

## МЕХАНІЗМ КАТОДНИХ РЕАКЦІЙ ОСАДЖЕННЯ СПЛАВУ Co-Mo

*Робота освітлює механізм катодних реакцій осадження сплаву Co-Mo з полілігандного комплексного електроліту на мідну основу. Встановлено кінетику електрохімічного відновлення іонів кобальту та досліджено вплив лігандів аміачно-трилонатного електроліту на перенапругу електродного процесу методом лінійної вольтамперометрії. Розраховані енергія активації та порядки реакції. Досліджено катодне відновлення оксоаніонів молібдену за різних рН. Представлені експериментальні дані імпульсних вимірів, які дозволили визначити природу лімітуючої стадії процесу осадження сплаву Co-Mo.*

**Ключові слова:** сплав, покриття, кобальт, молібден, вольтамперометрія, імпеданс.

**Постановка проблеми.** Розвиток нових напрямів [1–4] застосування сплавів тугоплавких металів у промисловості пов'язаний із тим, що електролітичне осадження багатоконпонентних сплавів дозволяє отримати удосконалені матеріали, що володіють набором функціональних властивостей. Однією з них для сплавів Co-Mo, отриманих електролітичним способом, є зниження ваги за рахунок можливості використання підкладок із різних матеріалів.

Співосадження кобальту з молібденом дозволяє отримувати більш дрібнокристалічні, в деяких випадках – аморфні сплави, що володіють високою міцністю, каталітичною активністю, мікротвердістю і стійкістю до зношування [3]. Властивості таких сплавів залежать від співвідношення компонентів та умов електролізу. Сплави з малим вмістом молібдену (до 10 мас%) характеризуються магнітними властивостями. Покриття з високим вмістом у сплаві молібдену (більше 25 мас%) корозійностійкі, зносостійкі та жароміцні, що дозволяє використовувати їх як захисні та захисно-декоративні покриття [5].

Робота спрямована на вивчення механізму осадження сплаву Co-Mo з полілігандного електроліту. Проблема цього дослідження є нині акту-

альною, що пов'язано, з одного боку, з великим інтересом до сплавів Co-Mo в сучасній науці [6–17], з іншого – з її недостатньою розробкою.

**Постановка завдання.** Метою роботи є вивчення механізму катодного процесу відновлення іонів кобальту з простих і комплексних електролітів та оксоаніонів молібдену, а також встановлення природи лімітуючої стадії процесу осадження сплаву Co-Mo.

**Виклад основного матеріалу дослідження. Методика експерименту.** Робочим електродом слугувала мідна пластина розміром  $8,5 \times 7 \times 2$  мм<sup>2</sup> із площею 0,5 см<sup>2</sup>. Допоміжний електрод із платини мав геометричну форму в 100 разів більшу, ніж робочий електрод. Як електрод порівняння використали хлорсрібний електрод марки ЭВЛ – 1МЗ.

Розчини готували на дистильованій воді з реактивів марок «ч» і «хч». Наважки твердих речовин зважували на аналітичних вагах із точністю до четвертого знака.

**Вольтамперометрія.** Кінетичні параметри електродних реакцій одержані методом лінійної вольтамперометрії (ЛВА). Вольтамперні залежності реєстрували в потенціодинамічному режимі за допомогою потенціостату ІРС-Pro зі швидкістю розгортки потенціалу 1–100 мВ/с. Катодне

Склад електролітів

№	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , моль/л	CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O, моль/л	Трилон Б, моль/л	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , моль/л
1	0,1	5·10 <sup>-3</sup>	-	-
2	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	-	-
3	0,1	2·10 <sup>-2</sup>	-	-
4	0,1	5·10 <sup>-2</sup>	-	-
5	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	-
6	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	7·10 <sup>-3</sup>	-
7	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-2</sup>	-
8	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-2</sup>	-
9	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	-	1·10 <sup>-3</sup>
10	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	-	2·10 <sup>-3</sup>
11	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	-	3·10 <sup>-3</sup>
12	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	-	5·10 <sup>-3</sup>
13	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-3</sup>
14	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-3</sup>
15	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>
16	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	5·10 <sup>-3</sup>
17	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	7·10 <sup>-3</sup>	1·10 <sup>-3</sup>
18	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	7·10 <sup>-3</sup>	2·10 <sup>-3</sup>
19	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	7·10 <sup>-3</sup>	3·10 <sup>-3</sup>
20	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	7·10 <sup>-3</sup>	5·10 <sup>-3</sup>
21	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-3</sup>
22	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-3</sup>
23	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-2</sup>	3·10 <sup>-3</sup>
24	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-2</sup>	5·10 <sup>-3</sup>
25	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-2</sup>	1·10 <sup>-3</sup>
26	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-3</sup>
27	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-2</sup>	3·10 <sup>-3</sup>
28	0,1	1·10 <sup>-2</sup>	2·10 <sup>-2</sup>	5·10 <sup>-3</sup>

відновлення іонів кобальту досліджували в електролітах, представлених у табл. 1.

Величину експериментальної енергії активації та природу лімітуючої стадії визначали відповідно до методики [18]. Температуру розчинів варіювали в інтервалі 293÷343 К. Порядок електрохімічної реакції розраховували за методом [19].

pH контролювали за допомогою pH-метра марки pH-150МА. Для підкислення розчину застосовували 10–15% розчин сульфатної кислоти [5].

*Імпедансна спектроскопія.* Імпедансні виміри активної  $R_s$  і ємнісної складової частини  $1/\omega C_s$  ( $\omega$  – кругова частота) проводили в електрохімічній системі, яка є потенціостатом IPC-Pro й аналізатором частотного відгуку FRA в діапазоні частот від 0,03 Гц до 50 кГц за послідовною схемою заміщення. Спектри годографів реєстрували за постійної поляризації робочого електрода за потенціалу напівхвилі, значення яких визначали

із вольтамперних досліджень, температура електролітів становила 25°C і 70°C.

*Результати. Вольтамперометрія.* Катодні поляризаційні залежності, отримані на мідному електроді з електролітів 1–4 (табл. 1), характеризуються наявністю одного піку за потенціалів -0,8...-1,2 В. Зі збільшенням концентрації іонів кобальту в електроліті зростає струм піку, а потенціал піку зсувається у негативний бік. За швидкості розгортки потенціалу 10 мВ/с спостерігається залежність струму піка від концентрацій сульфату кобальту, яка має лінійний характер і перетинає початок координат.

На підставі одержаних залежностей струму піка відновлення іонів кобальту від швидкості поляризації встановлена лінійна залежність  $I_p$  від  $s^{1/2}$  з початку координат. На відміну від графіка,  $I_p / s^{1/2}$  не залежить від  $s$  (рис. 1). Завдяки залежності  $\lg I_p$  від  $\lg s$  можна визначити критерій Семерано, який дорівнює 0,5. Водночас потенціал піка з ростом швидкості поляризації також має лінійний характер (рис. 2).

Кінетичні характеристики відновлення іонів кобальту з розчину 1 моль/дм<sup>3</sup> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,  
при  $s = 10$  мВ/с

$c_{Co}$ , моль/дм <sup>3</sup>	$I_p$ , мА	$E_p$ , мВ	$X_c$	$\alpha z$	$D \cdot 10^{-6}$ , см <sup>2</sup> /с	$k_s \cdot 10^{-7}$ , см/с
0,005	0,31	-840	1,1	0,31	2,42	4,62
0,01	1,2	-850		0,34	8,34	4,17
0,02	3,2	-870		0,25	9,85	5,34
0,05	5,1	-890		0,13	15,3	5,67

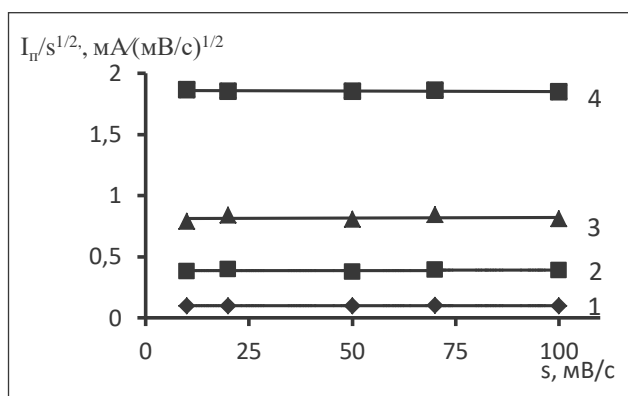


Рис. 1. Залежність  $I_p/s^{1/2}$  від швидкості поляризації в електролітах 1–4 (табл. 1)

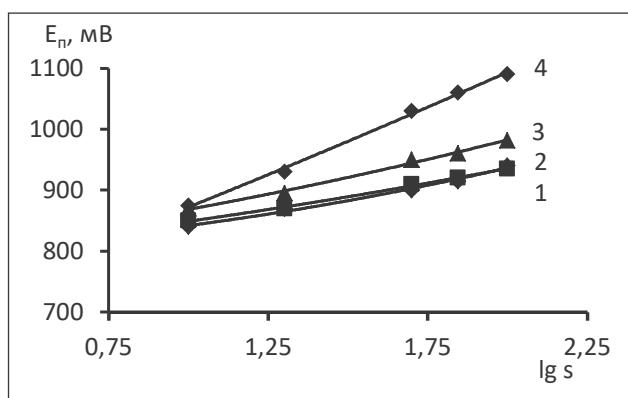


Рис. 2. Залежність потенціалу піка від  $lg s$  в електролітах 1–4 (табл. 1)

Характеристичні параметри ЛВА, одержані за результатами аналізу катодних поляризаційних кривих у розчині 1 моль/дм<sup>3</sup> сульфату натрію за варіювання концентрації сульфату кобальту, дозволили встановити, що відновлення іонів кобальту лімітується переносом двох електронів, тобто незворотною реакцією.

На підставі рівняння Рендлса – Шевчика [20] для необоротного процесу визначено коефіцієнт дифузії електроактивної сполуки, за рівнянням Я. Гохштейна [20] розрахована константа швидкості стадії переносу заряду (табл. 2). Крім того, за кутовим коефіцієнтом  $k$  у координатах  $E_p - I_p s$  визначено добуток коефіцієнта переносу на число електронів ( $\pm z$ ) необоротної стадії (табл. 2).

Відповідно до отриманих значень енергії активації [18] процес осадження покриттів із електролітів 1–4 (табл. 1) лімітується електрохімічною стадією, що підтверджує висновки, одержані ЛВА.

Додавання до розчину солі кобальту таких ліганд-двмісних компонентів, як трилон Б і сульфат амонію значною мірою змінює механізм відновлення іонів і призводить до збільшення перенапруги. У цьому разі залежність струму піка від концентрації має нелінійний характер. Встановлено вплив швидкості розгортки на струм піку, який має лінійну залежність (рис. 3), але не з початку координат

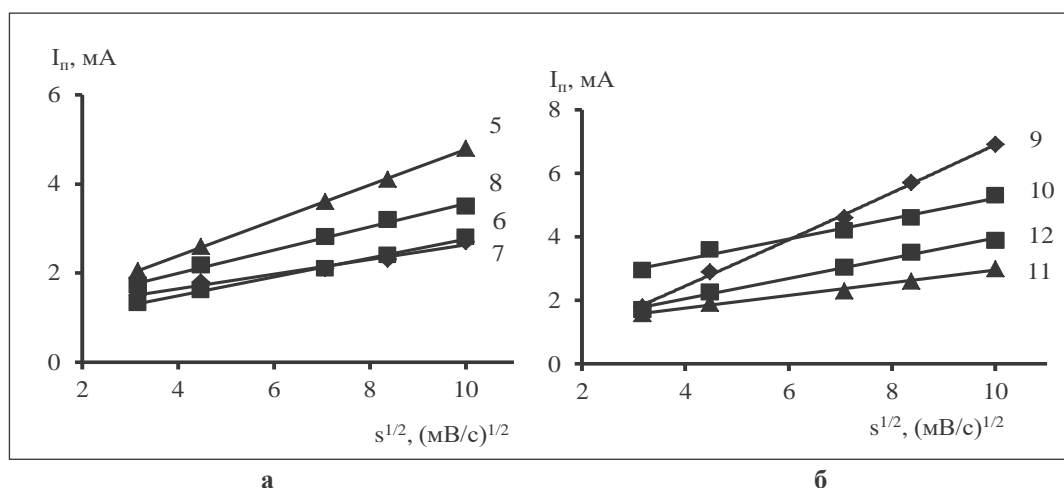


Рис. 3. Залежність струму піка від швидкості розгортки потенціалу з електролітів (табл. 1): а – 5–8; б – 9–12

Параметри еквівалентної електричної схеми системи Cu/Co-Мо/електроліт

№	Склад електроліту	R <sub>e</sub> , Ом	R <sub>f</sub> , Ом	C <sub>d</sub> , мкФ	W <sub>p</sub> , $\frac{\text{Ом} \cdot \text{см}^2}{\text{с}^{1/2}}$
1	CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,14/1,68	14,29/2,61	1,8/0,17	544,9/-
2	CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,63/0,11	11,27/3,11	22,25/0,22	224,7/147,64
3	CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ·2H <sub>2</sub> O (Трилон Б) Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,05/0,05	14,5/3,35	1,73/0,45	408,1/-
4	CoSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>8</sub> ·2H <sub>2</sub> O (Трилон Б) (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,05/0,07	15,74/5,87	1,36/0,43	523,4/-

для електролітів 5–12 (табл. 1). Значення функції  $I_n/s^{1/2}$  зменшується з ростом швидкості поляризації, а кутовий коефіцієнт нахилу прямий у координатах  $\lg I_n - \lg s$  дорівнює приблизно 0,5. Електродний потенціал залежить від швидкості розгортки, значно зсувається в більш електронегативний бік і має нелінійний характер.

Така поведінка зазвичай характерна для випадків, коли механізм реакції визначається попередньою хімічною реакцією першого порядку. Оборотна хімічна реакція, необоротне перенесення електронів.

Під час дослідження з електролітів 13–28 (табл. 1) залежність струму піка від швидкості розгортки потенціалу в координатах  $I_n - s^{1/2}$  вибудовуються на пряму лінію, яка не перетинає початок координат. Значення критерію Семерано виявилось близьким до 0,5. Значення  $I_n/s^{1/2}$  змінюється зі швидкістю поляризації. Потенціал піка  $E_n$  зі зростанням  $s$  зсувається в область більш негативних значень, геометрія залежностей свідчить про збільшення перенапруги.

Розрахована енергія активації осадження покриттів із електролітів 5–28 (табл. 1) вказує на лімітуючу хімічну стадію, що також узгоджується з результатами ЛВА.

Значення порядків реакції за іонами:  $p(\text{Co}^{2+})=1,18$ ,  $p(\text{трилоном Б})=-0,88$ ,  $p((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)=-0,75$ . Одержані результати розрахунків вказують на багатостадійність перебігу процесу, тобто процес ускладнений проміжними стадіями.

Таким чином, запропоновано загальну схему механізму катодного відновлення іонів кобальту в полілігандному електроліті:

У представленні окремих стадій:

$[\text{Co}(\text{NH}_3)_n\text{Y}]^{2-} \leftrightarrow \text{Co}^{2+} + n\text{NH}_3 + \text{Y}^{4-}$  *попередня хімічна стадія*

$\text{Co}^{2+} + 2e^- \xrightarrow{k_c} \text{Co}^0$  *електрохімічна стадія*

Поляризаційні залежності відновлення оксоаніонів молібдену представлені на рис. 4. Наявність хвилі кривої 2 підтверджує перебіг катодного процесу відновлення оксоаніонів. Візуально спостерігаємо утворення молібденової сині, що свідчить про відновлення до проміжних ступенів окиснення металу. Процес супроводжується виділенням водню. Варіювання рН в межах 4–1 не призводить до значних змін характеру поляризаційних залежностей, спостерігається вплив рН на величину струму піку.

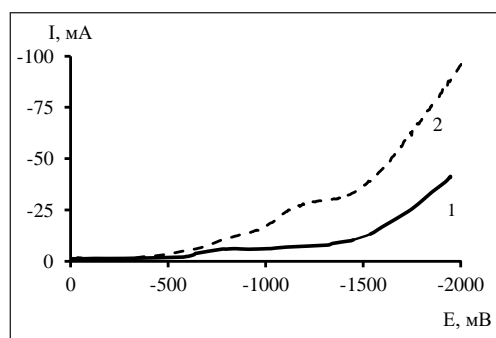


Рис. 4. Катодні поляризаційні залежності в розчині, моль/дм<sup>3</sup>: 0,1 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(1), з додаванням 0,1 Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub> (2). рН = 2. Швидкість розгортки потенціалу 5 мВ/с.

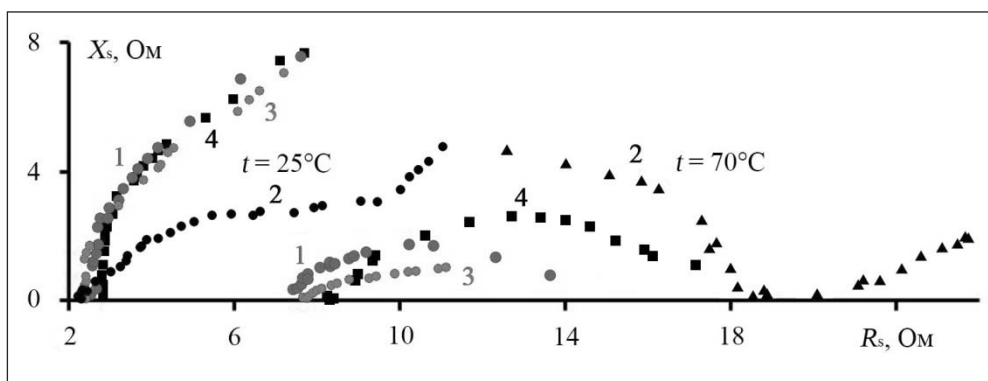


Рис. 5. Годографи комплексного опору осадження з електролітів, склад яких відповідає номеру в табл. 3

*Імпедансна спектроскопія.* У ході виконання роботи були зареєстровані спектри імпедансу мідного електрода в розчинах солей кобальту та молібдену із додаванням лігандів, що дозволяють описувати механізм електродних процесів осадження сплаву Co-Mo.

Визначені параметри імпедансу наведені в табл. 1, за геометрією спектру виявили моделі еквівалентних схем залежно від температури.

Форми годографів комплексного опору в розчинах солей Co і з додаванням лігандів при  $t=25^{\circ}\text{C}$  вказують на кінетично-дифузійний контроль, а в таких же розчинах, але при  $t=70^{\circ}\text{C}$  – на кінетичний, що відповідає схемі Рендлса – Ершлера. Визначена ємність подвійного електричного шару зростає на порядок у присутності лігандів, а опір переносу заряду – в 2 рази. У розчинах при  $t=70^{\circ}\text{C}$  опір переносу заряду  $R_f$  значно менший, порівняно з розчинами при  $t=25^{\circ}\text{C}$ , отже, при підвищенні температури перенапряга й опір переносу заряду падають, і про-

цес осадження проходить за більш високих швидкостей. При  $25^{\circ}\text{C}$  годографи не значно відрізняються один від одного, незалежно від того, чи є в складі розчину ліганди. При  $25^{\circ}\text{C}$  та  $70^{\circ}\text{C}$  годографи осадження сплаву Co-Mo з розчину № 2 (табл. 3) мають однакову геометрію, спостерігаємо імпеданс Варбурга. Такий спектр свідчить про наявність кінетичних і дифузійних ускладнень у механізмі катодного процесу, що зумовлено відновленням молібдену відповідно до плівково-адсорбційної теорії.

**Висновки.** Встановлено основні закономірності механізму катодного відновлення катіонів кобальту, який перебігає стадійно з дисоціацією полікомплексу, що створює передумови для управління процесом осадження покриття. Встановлено, що температура впливає на геометрію годографів комплексного опору та на еквівалентні схеми осадження сплаву Co-Mo з простих і комплексних електролітів, що вказує на зміну природи лімітуючої стадії.

#### Список літератури:

1. Shtefan V.V., Smirnova A.Y. Synthesis of Ce-, Zr-, and Cu-containing oxide coatings on titanium using microarcoxidation. *Russian Journal of Electrochemistry*. 2015. Vol. 51. № 12. P. 1168–1175.
2. Смирнова А.Ю., Штефан В.В. Коррозионная стойкость МДО-покрытий на титане, сформированных в W-, Mo-, V-, Ce-содержащих электролитах. *Коррозия: материалы, защита*. 2014. № 8. С. 14–19.
3. Shtefan V.V., Bairachnyi B.I., Lisachuk G.V., Smyrnova O.Yu., Zuyok V.A., Voronina O.V. Corrosion of aluminum in contact with oxidized titanium and zirconium. *Materials Science*. 2016. Vol. 51. № 5. P. 711–718.
4. Shtefan V.V., Smirnova A.Y. Oxidation of titanium in Zr- and Mo-containing solutions. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2017. Vol. 53. № 2. P. 322–328.
5. Штефан В.В., Єпіфанова А.С., Кобзєв М.М., Метенканич М.М. Вольтамперометрія осадження сплаву Co-Mo. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Хімічна технологія та екологія*. 2017. № 39. С. 80–83.
6. Електроліт для нанесення покриття кобальт-молібден: пат. 92758 Україна: МПК (2006.01) C25D 3/52, № a201307706; заявл. 17.06.2013; опубл. 10.09.2014, Бюл. № 17.
7. Subramania A., Sathiya Priya A.R., Muralidharan V.S. Electrocatalytic cobalt-molybdenum alloy deposits. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2007. Vol. 32. № 14. P. 2843–2847.
8. Громова В.А., Японцева Ю.С., Кублановский В.С., Дикусар А.И. Электроосаждение сплавов Co-Mo из цитратно-пирофосфатного электролита. *УХЖ*. 2008. Т. 74. № 3. С. 44–48.

9. Кузнецов В.В., Бондаренко З.В., Пшеничкина Т.В., Морозова Н.В., Кудрявцев В.Н. Электроосаждение сплава Co-Mo из аммиачно-цитратного электролита. *Электрохимия*. 2007. Т. 43. № 3. С. 367–372.
10. Shtefan V.V., Epifanova A.S., Koval'ova A.A., Bairachnyi B.I. Electrolytic deposition of highly hard coatings of a cobalt-molybdenum alloy. *Material Science*. 2017. Vol. 53. № 1. P. 47–54.
11. Shtefan V., Yepifanova A., Berezovskyi I., Shkolnikova T. Study of morphology and microhardness of Co-Mo alloys films. *XVI International conference on physics and technology of thin films and nanosystems: materials ICPTTFN-XVI*. (Ivano-Frankivsk, 15–20 may 2017). Ivano-Frankivsk, 2017. P. 204.
12. Штефан В.В., Епифанова А.С., Мануйлов А.М., Кучма Ю.Ю., Канунникова Н.А. Вольтамперометрия  $d^4 - d^{10}$  металлов. *Международная научно-техническая конференция «Современные электрохимические технологии и оборудование»*: материалы докладов Международной научно-технической конференции «Современные электрохимические технологии и оборудование». (Минск, 24–25 ноября 2016 г.). Минск, 2016. С. 335.
13. Gomez E., Pellicer E., Duch M., Esteve J., Valles E. Molybdenum alloy electrodeposits for magnetic actuation. *Electrochim. Acta*. 2006. Vol. 51. № 16. P. 3214–3222.
14. Японцева Ю.С., Дикусар А.И., Кублановский В.С. Исследование состава, коррозионных и каталитических свойств сплавов Co-W, электроосажденных из цитратно-пирофосфатного электролита. *Электронная обработка материалов*. 2014. Т. 50. № 4. С. 49–55.
15. Громова В.А., Японцева Ю.С., Кублановский В.С. Сплавы Co-Mo электроосаждены із полілігандного електроліту. *II Всеукраїнська науково-практична конференція молодих вчених: тези доповідей II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених*. (Київ, 26–28 квітня 2007 р.). Київ, 2007. С. 88.
16. Kublanovsky V.S., Yarpontseva Y.S. Electro catalytic properties of Co-Mo alloys electrodeposited from a citrate-pyrophosphate electrolyte. *Electro catalysis*. 2014. № 5. P. 372–378.
17. Электролит для нанесения покрытия кобальт-молибден: пат. 112925 Україна: МПК (2006.01) C25D 3/56, № а201307706; заявл. 20.04.2015; опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.
18. Паутов В.Н. Краткий курс физической химии: учеб. пособ. Ч. 4. Методы решения задач по термодинамике и кинетике. Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2003. 132 с.
19. Феттер К. Электрохимическая кинетика. М., 1967. 849 с.
20. Бонд А.М. Полярографические методы в аналитической химии. М., 1983. 328 с.

#### МЕХАНИЗМ КАТОДНОЙ РЕАКЦИИ ОСАЖДЕНИЯ СПЛАВА Co-Mo

*Работа освещает механизм катодных реакций осаждения сплава Co-Mo с полилигандного комплексного электролита на медную основу. Установлена кинетика электрохимического восстановления ионов кобальта и исследовано влияние лигандов аммиачно-трилонатного электролита на перенапряжение электродного процесса методом линейной вольтамперометрии. Рассчитаны энергия активации и порядки реакции. Исследовано катодное восстановление оксоанионов молибдена при различных pH. Представлены экспериментальные данные импедансных измерений, которые позволили определить природу лимитирующей стадии процесса осаждения сплава Co-Mo.*

**Ключевые слова:** сплав, покрытие, кобальт, молибден, вольтамперометрия, импеданс.

#### MECHANISM OF CERTIFIED REACTIONS OF Co-Mo

*This work illuminates the mechanism of cathodic reactions of deposition of the Co-Mo alloy from a polyligand complex electrolyte to a copper base. The kinetics of electrochemical reduction of cobaltions was established and the influence of ammonia-trilonate electrolyte ligands on the overvoltage of the electrode process by the method of linear voltammetry was investigated. Calculated activation energy and reaction procedures. The cathodic reconstruction of oxanions of molybdenum at different pH was investigated. Experimental data of impedance measurements have been presented that allowed to determine the nature of the limiting stage of the Co-Mo alloy deposition process.*

**Key words:** alloy, coating, cobalt, molybdenum, voltammetry, impedance.