

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Сачанова Юлія Іванівна

УДК 621.35

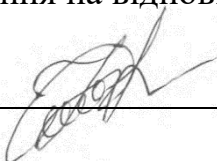
ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ФОРМУВАННЯ ПОКРИВІВ СПЛАВАМИ
І КОМПОЗИТАМИ Fe–Co–Mo(MoO_x)**

05.17.03 – Технічна електрохімія
16 – Хімічна та біоінженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


Ю.І. Сачанова

Науковий керівник
Сахненко Микола Дмитрович,
доктор технічних наук, професор

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Сачанова Ю.І. Електрохімічне формування покривів сплавами і композитами Fe–Co–Mo(MoO_x). – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.03 – Технічна електрохімія. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2019.

Дисертаційну роботу присвячено розробці гальванохімічної технології покривів тернарними сплавами і композитами системи ферум-кобальт-молібден з підвищеним рівнем функціональних властивостей на підставі гіпотези про інкорпорацію оксидів тугоплавких компонентів як інтермедіатів електродних реакцій, до складу металевої матриці.

Обґрунтовано компонентний склад електроліту та співвідношення концентрацій сплавотвірних компонентів в системі ферум-кобальт-молібден і закономірності комплексоутворення в присутності цитрату, які склали підґрунтя до розробки електролітів для нанесення металевих і металооксидних покривів. Встановлено, що бездефектні покриття високої якості з вмістом молібдену понад 30 ат.% формуються з електролітів із концентрацією натрій цитрату 0,4–0,5 М та оксометалату 0,2 М.

Доведено, що утворення гетероядерних комплексів є передумовою для гнучкого керування іонними рівновагами в розчині, а відтак, і механізмом та перенапругою електродних реакцій, перебіг яких підпорядковується закономірностям змішаної кінетики, про що свідчать і визначена енергія активації процесу. Відновлення молібдат-іону до металевої фази відбувається через утворення поверхневих оксидів проміжного ступеню окиснення. Залежно від повноти перебігу цього процесу створюються умови до формування металевого покриття тернарним сплавом або металооксидного

композиту, друга фаза якого складається з оксидів молібдену в проміжному ступені окиснення, тобто утворюється безпосередньо в електродному процесі.

Встановлено, що відновлення оксометалату може перебігати в декілька стадій – як за електрохімічним, так і хімічним механізмом за участю ад-атомів водню, які утворюються в катодній реакції. Саме така особливість забезпечує варіативність катодного процесу та надає можливість гнучкого керування перебігом окремих стадій і складом та властивостями цільового продукту технологічного процесу.

Головними чинниками, що забезпечують варіативність складу покриттів, є режим поляризації – гальваностатичний або імпульсний, та амплітудні і часові параметри струму. За однакових густин струму застосування імпульсного електролізу дозволяє формувати покриття із значно вищим вмістом молібдену. Зокрема, за сталих тривалості імпульсу 10-20 мс та паузи 5–20 мс склад покриттів збагачується молібденом до 30 ат. % при суттєво нижчому вмісті кисню. Такі зміни у складі покриття порівняно з стаціонарним режимом зумовлені перебігом впродовж паузи хімічної реакції відновлення проміжних оксидів молібдену ад-атомами водню внаслідок реалізації спілловер-ефекту. Вища кількість фази оксидів в складі покриттів тернарним сплавом, сформованих в гальваностатичному режимі, дає підстави класифікувати їх як композити.

За однакового типу поляризації струмозалежними виявились не тільки вміст компонентів сплаву/композиту, а й морфологія поверхні осадів та вихід за струмом. В умовах стаціонарного електролізу вихід за струмом сплаву знаходиться в межах 56–62 %, а при застосуванні імпульсного електролізу ефективність процесу зростає до 61–70 % за рахунок внеску хімічної реакції відновлення оксидів молібдену ад-атомами водню. Розсіювальна здатність електроліту також залежить від густини струму і має екстремальний характер

із максимумом у 62 % при $i=2,5$ А/дм². Отримані результати розсіювальної здатності узгоджуються із значеннями для відомих електролітів.

Композитні Fe–Co–MoO_x і металеві Fe–Co–Mo покриття мають дрібноглобулярну структуру поверхні, розвиненість якої зростає зі збільшенням густини струму, а характер і розмір кристалітів залежить від складу покриттів і режимів електролізу. Так, для покриттів Fe₄₈Co₄₀Mo₁₂, отриманих постійним струмом, середній розмір кристалітів становить 63 Å, а для покриття Fe₄₃Co₃₉Mo₁₈, отриманому в імпульсному режимі, середній розмір кристалітів складає 56 Å. Залежно від режимів електроосадження різняться і шорсткість поверхні – в гальваностатичному та імпульсному режимах параметр R_a для сплавів становить 0,15 і 0,11, відповідно, що характерно для 9–10 класів шорсткості.

Синтезовані покриття мають широкий спектр фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей з високим рівнем споживчих характеристик. Так, тестуванням корозійної тривкості встановлено, що за глибинним показником (0,018 – 0,02 мм/рік) покриття мають 4 бал стійкості за десятибальною шкалою, а ранжовані за густиною струму корозії є «стійкими» в кислому середовищі та «вельми стійкими» у нейтральному та лужному. Корозійну стійкість в кислому середовищі підвищує наявність молібдену через кислотний характер його оксидів, а в нейтральному і лужному середовищах покриття проявляють стійкість внаслідок пасивації феруму і кобальту. Вільна енергія поверхні металевих покриттів і композитів в межах 118–128 мДж/м², що майже на порядок величини нижча за сплавотвірні компоненти, а поверхні композитів Fe–Co–MoO_x нижча ніж сплаву Fe–Co–Mo завдяки вищому вмісту кисню в його структурі, внаслідок чого покриття композитами є хімічно стійкішими.

Мікротвердість гальванічних покриттів знаходиться в межах 595 – 630 кгс/мм² і є вищою, порівняно із сплавотвірними компонентами, а також в 2,5–3 рази більшою за сталеву основу. Мікротвердість осадів симбатно змінюється із вмістом молібдену і в інтервалі досліджених густин струму також зростає з підвищенням цього параметра. Результатами комплексних

випробувань механічних характеристик доведено високу адгезію покриттів до поверхні підкладки, стійкість до полірування, нагріву і зламу.

Встановлено високу електрокаталітичну активність тернарного сплаву в анодних реакціях окиснення низькомолекулярних спиртів, а значення анодних і катодних піків струму на циклічних вольтамперограмах навіть вищі за платиновий електрод, тому гальванічні покриття сплавом Fe–Co–Mo можна розглядати як перспективні каталітичні матеріали паливних елементів. Високу електрокаталітичну активність покриттів виявлено і в катодних реакціях виділення водню з лужних та кислих середовищ, яка внаслідок реалізації синергетичного ефекту вища порівняно із індивідуальними металами. Встановлено залежність між складом сплаву і каталітичними властивостями – більший вміст молібдену в цілому покращує якість покриттів. Водночас, густина струму обміну реакції виділення водню на композитних покриттях в усіх модельних розчинах вище, ніж для металевих, що узгоджується з результатами визначення виходу за струмом.

Покриттям притаманні магнітні властивості, а значення коерцитивної сили для покриттів Fe–Co–Mo знаходиться в інтервалі 7–10 Oe, що перевищує значення для бінарного Fe–Co сплаву (6,5–7,2 Oe). Сплави Fe–Co–Mo, як «магнітом'які матеріали», можна застосовувати і у виробництві елементів магнітних інформаційних накопичувачів. Означений сплав виявляє сенсорні властивості щодо окремих компонентів газових середовищ та може бути використаний, зокрема, як матеріал чутливого елемента сенсора для визначення граничної концентрації водню.

На підставі визначених кінетичних характеристик і технологічних струмозалежних параметрів створено програмний і технологічний модулі і запропоновано варіативну технологічну схему нанесення покриттів Fe–Co–Mo(MoO_x) керованого складу та прогнозованими фізико-механічними і фізико-хімічними властивостями. За результатами дослідно-промислових випробувань виробів та елементів обладнання з покриттями тернарними сплавами на ПАТ «Укрндіхіммаш» та в Метрологічному центрі військових

еталонів Збройних Сил України доведено високий рівень експлуатаційних характеристик синтезованих покриттів та ефективність технології їх нанесення. Результати досліджень впроваджені в навчальний процес кафедри фізичної хімії НТУ «ХПІ» і Військового інституту танкових військ НТУ «ХПІ».

Ключові слова: електроліз, імпульсний режим, корозійна стійкість, каталітичні властивості, механізм катодних реакцій, спілловвер-ефект, сплавотворення, мікротвердість, магнітом'які матеріали, композити.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

1. Sachanova Yu.I. Functional ternary Fe–Co–Mo(W) coatings / I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko, Y.I. Sachanova, I.V. Lagdan, V.O. Proskurina // Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph / Editor-in-chief V.S. Barsukov. – Kyiv:KNUTD, 2017. – P. 89-97.

2. Sachanova Yu.I. Internal stresses and magnetic properties of Fe–Co electrolytic coatings / V.O. Proskurina, I.Yu. Yermolenko, S.I. Zyubanova, I.G. Shipkova, B.A. Avramenko, Yu.I. Sachanova // *Funct. Mater.* – 2017. – Vol. 24. – No. 3. – P. 1-7.

3. Sachanova Yu.I. Methods for controlling the composition and morphology of electrodeposited Fe–Mo and Fe–Co–Mo coatings / M.V. Ved', I.Yu. Ermolenko, N.D. Sakhnenko, S.I. Zyubanova, Yu.I. Sachanova // *Surf. Eng. Appl. Electrochem.* – 2017. – Vol. 53. – No. 6. – P. 525-532.

4. Sachanova Yu.I. Composition, Morphology, and Topography of Galvanic Coatings Fe–Co–W and Fe–Co–Mo / I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko, Y.I. Sachanova // *Nanoscale Research Letters.* – 2017. –Vol. 12. – P. 352.

5. Сачанова Ю.І. Вплив режиму електролізу на кількісний і фазовий склад покриттів Fe–Co–W(Mo) / М.В. Ведь, М.Д. Сахненко, І.Ю. Єрмоленко, Ю.І.Сачанова // *Вопросы химии и химической технологии.* – Днепропетровск: ГВУЗ УГХТУ, 2019. – Т. 5-6. – № 4. – С. 139-149.

6. Sachanova Yu.I. Refractory metals influence on the properties of Fe-Co-Mo(W) electrolytic alloys / Yu.I. Sachanova, I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved', N.D. Sakhnenko // Materials Today: Proceeding – 2019. Vol. 6. – P. 121-128.

7. Sachanova Yu.I. Influence of the contents of refractory components on the corrosion resistance of ternary alloys based on iron and cobalt / I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved', N.D. Sakhnenko, T.O. Nenastina, G.Sh. Yar-Mukhamedova, Yu.I. Sachanova // Materials Science – 2019. – Vol. 54, No 4. – P. 100-109.

8. Пат. на винахід 114980 Україна, МПК C25D 5/10 (2006.01) C25D 3/56 (2006.01). Спосіб одержання гальванічних покриттів тернарними сплавами заліза та кобальту з вольфрамом або молібденом / І.Ю. Єрмоленко, М.В. Ведь, М.Д. Сахненко, Ю.І. Сачанова, І.В. Лагдан; заявник та власник патенту НТУ «ХП». – а201603868; заявл. 11.04.2016; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16.

9. Пат. на корисну модель 108610 Україна, МПК C25D 3/56 (2006.01). Електроліт для нанесення покриттів сплавом залізо-кобальт-молібден / І.Ю. Єрмоленко, М.В. Ведь, М.Д. Сахненко, Ю.І. Сачанова, Г.В. Каракуркчі, С.І. Зюбанова; заявник і патентовласник НТУ «ХП». – u201600398; заявл. 18.01.2016; опубл. 25.07.2016, Бюл. № 14.

10. Пат. на корисну модель 110884 Україна, МПК C25D 3/56 (2006.01). Спосіб одержання електролітичних покриттів залізо-кобальт-молібден / Єрмоленко І.Ю., Ведь М.В., Сахненко М.Д., Сачанова Ю.І.; заявник і патентовласник НТУ «ХП». – u201603871; заявл. 11.04.2016; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20.

11. Сачанова Ю.І. Базові характеристики комплексних цитратних електролітів на основі заліза (III) для отримання тонкошарових гальванічних покривів / Ю.І. Сачанова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко // Вісник НТУ «ХП». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХП», 2018. – №39(1315). – С. 79-83.

12. Сачанова Ю.І. Дослідження впливу густини струму на розсіювальну здатність комплексного електроліту, вихід за струмом та склад покривів сплавами Fe-Co-Mo / Ю.І. Сачанова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь,

І.Ю. Єрмоленко // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Інноваційні дослідження в наукових роботах студентів. – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – №18(1294). – С. 57-60.

13. Сачанова Ю.І. Тернарний сплав Co – Mo – W як чутливий матеріал на-ноструктурного газового сенсора / О.П. Поспелов, Г.В. Камарчук, М.Д. Сахненко, В.О. Гудименко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко, Ю.І. Сачанова // Вісник НТУ «ХПІ». – Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – №50(1269). – С. 84-88.

14. Сачанова Ю.І. Корозійні та механічні властивості бінарних та тернарних сплавів на основі заліза та кобальту / Г.В. Каракуркчі, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко, М.Д. Сахненко, Ю.І. Сачанова // Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи КМН-2015: XXIV Відкрита наук.-техн. конф., 20–22 жовтня 2015 р.: матер. конф. – Львів: ФМІ ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2015. – С. 157-160.

15. Сачанова Ю.І. Функціональні електролітичні покриття сплавами заліза з тугоплавкими металами / Ю.І. Сачанова, І.В. Лагдан, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко // Хімічні проблеми сьогодення: IX Українська наук. конф., 29–30 березня 2016 р.: тези доп. – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2016. – С. 201.

16. Сачанова Ю.І. Функціональні електролітичні покриття сплавами кобальту з тугоплавкими металами / І.В.Лагдан, М.О. Козяр, Ю.І. Сачанова, Н.Д. Сахненко, М.В. Ведь // Хімічні каразінські читання: збірник тез доп. VIII Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, 18-20 квітня 2016 р. – Х.:ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2016. – С. 27-28.

17. Сачанова Ю.І. Електросинтез тернарних сплавів кобальту / М.О. Козяр, Ю.І. Сачанова, І.Ю. Єрмоленко, М.В. Ведь, М.Д. Сахненко // Всеукраїнська конференція молодих вчених та студентів з актуальних питань хімії, 11–13 травня 2016 р.: тези доп. – Харків: Ексклюзив, 2016. – С. 44.

18. Сачанова Ю.І. Вплив концентрації електроліта і режимів електролізу на склад і морфологію покриттів Fe-Co-Mo / Ю.І. Сачанова, М.Д. Сахненко,

М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко, Г.В. Каракуркчі // VI Міжнар. конф. з хімії та хімічної технології, 20–22 квітня 2016 р.: тези доп. – Київ, 2016. – С. 112.

19. Sachanova Yu.I. Composition and morphology of Fe-Co-Mo electrolytic alloys / Y.I. Sachanova, I.Yu. Yermolenko, N.D. Sakhnenko, M.V. Ved // Chemistry, physics and technology of surface: Proceedings of Ukrainian conference with international participation devoted to the 30th anniversary of the founding of Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine and Workshop «Nanostructured biocompatible / bioactive materials», 17–18 May 2016: book of abstracts. – Kyiv, 2016. – P. 160.

20. Сачанова Ю.І. Параметри електролізу як фактор керування складом покриттів Fe-Co-Mo / Ю.І Сачанова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: XXIV міжн. наук.-практ. конф., 18–20 травня 2016 р.: тези доп. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХП», 2016. – Ч.ІІ. – С. 230.

21. Сачанова Ю.І. Захисні електролітичні покриття для підвищення експлуатаційного ресурсу військової техніки спеціальних військ / І.Ю. Єрмоленко, Ю.І. Сачанова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь // Перспективи розвитку озброєння та військової техніки Сухопутних військ: Міжнар. наук.-техн. конф., 18–20 травня 2016 р.: тези доп. – Львів: НАСВ, 2016. – С. 252-253.

22. Сачанова Ю.І. Вплив вмісту тугоплавких компонентів на корозійну стійкість тернарних сплавів заліза / Ю.І. Сачанова, Т.О. Ненастіна, І.Ю. Єрмоленко, М.В. Ведь // Проблеми корозійно-механічного руйнування, інженерія поверхні, діагностичні системи: матеріали XXIV Відкритої науково-технічної конференції молодих науковців і спеціалістів «КМН-2017», 27–29 жовтня 2017 р. – Львів: ФМІ НАН України, 2017. – С. 74-77.

23 Sachanova Yu.I. Morphology of thin film coatings Fe-Co-W and Fe-Co-Mo / I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko, Yu.I. Sachanova // Nanotechnology and nanomaterials NANO-2016: International research and practice conference, 24–27 August 2016: book of abstract. – Lviv, 2016. – P. 370.

24. Сачанова Ю.І. Вплив параметрів імпульсного електролізу на склад покриттів Fe-Co-Mo / І.Ю. Єрмоленко, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь // Хімічні проблеми сьогодення «ХПС-2017»: збірник тез доповідей Десятої Української наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених з міжнародною участю, 27–29 березня 2017 р. – Вінниця: ТОВ "Нілан-ЛТД", 2017. – С. 224.

25. Сачанова Ю.І. Електродні матеріали для електролітичного виділення водню / Ю.І. Сачанова, В.О. Проскуріна, І.Ю. Єрмоленко, М.В. Ведь // Збірка тез доповідей I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Хімія, екологія та освіта», 4–5 травня 2017 р. – Полтава, 2017. – С. 31-35.

26. Сачанова Ю.І. Магнітні властивості гальванічних покриттів Fe-Co-Mo / Ю.І. Сачанова, І.Ю. Єрмоленко, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, В.О. Савченко // «Хімія та сучасні технології»: VIII Міжнар. наук.-техн. конф., 26–28 квітня 2017 р.: тези доп. – Дніпро, 2017. – С. 70.

27. Сачанова Ю.І. Гальванічні покриття як каталітичні матеріали сьогодення / Ю.І. Сачанова, О.В. Матикін, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь // Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: збірка тез доповідей Міжнародної наукової конференції молодих вчених, 29-30 листопада 2017 р. – Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2017. – С. 280-281.

28. Сачанова Ю.І. Магнітні властивості тернарних сплавів Fe-Co-Mo та Fe-Co-W / Ю.І. Сачанова, І.Ю. Єрмоленко, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь // Тези доповідей VIII Міжнародної наукової конференції «Фізичні явища в твердих тілах», 5–8 грудня 2017 р. – Харків, 2017. – С. 135.

29. Сачанова Ю.І. Молібден як легувальний компонент сплавів на основі заліза / М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, О.О. Овчаренко, В.О. Проскуріна, Ю.І. Сачанова // Сучасні проблеми хімії: збірка тез доповідей XIX Міжнародної конференції студентів та аспірантів, 22-24 травня 2018 р. – Київ: КНУ ім. Т.Г. Шевченка, 2018. – С. 58.

30. Сачанова Ю.І. Визначення раціональних параметрів електролізу для одержання покриттів сплавом Fe-Co-Mo з цитратних електролітів на основі Fe

(III) / М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко, Ю.І. Сачанова // Збірка тез доповідей XIII Всеукраїнської конференції молодих вчених та студентів з актуальних питань хімії, 2-4 травня 2018 р. – Харків: Ексклюзив, 2018 р. – С.62.

31. Сачанова Ю.І. Тернарні сплави Fe-Co-Mo: перспективні каталітичні матеріали / Ю.І. Сачанова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXIV міжнародної науково-практичної конференції, 15–17 травня 2019 р., Харків / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ», 2019. – Ч.V – С. 129.

32. Сачанова Ю.І. Прогнозування складу покривів сплавом Fe-Co-Mo / М.Д.Сахненко, М.В.Ведь, І.Ю.Єрмоленко, Ю.І. Сачанова // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: Тези доповідей XXVII міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 травня 2019 р., Харків / за ред. проф. Сокола Є.І. –Харків: НТУ «ХПІ», 2019. Ч.II – С. 335.

33. Сачанова Ю.І. Вплив вмісту молібдену на експлуатаційні характеристики тернарного сплаву / Ю.І. Сачанова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції, 28-30 травня 2019 р.: тези доп. – Херсон: ХДМА, 2019. – С.415.

34. Сачанова Ю.І. Технологічні характеристики сплавів Fe-Co-Mo / Ю.І. Сачанова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко // Львівські хімічні читання - 2019: XVII наук. конф., 2-5 червня 2019 р.: зб. наук.праць. – Львів, 2019. – С. 3141.

35. Sachanova Yu.I. The phase composition of the galvanic Fe–Co–Mo alloys / I.Yu. Yermolenko, Yu.I. Sachanova, M.V. Ved', M.D. Sakhnenko // International research and practice conference: Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2019), 27-30 August 2019. – Lviv, 2019. – P. 459.

36. Сачанова Ю.І. Фізико-механічні властивості та корозійна стійкість електролітичних покривів Fe–Co–Mo / Ю.І. Сачанова, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, І.Ю. Єрмоленко // Problems of Materials Science and Surface

Engineering (MSSE-2019):Conference abstracts of Young Scientists Conference on Materials Science and Surface Engineering, 25-27 вересня 2019 р. – Львів: ФМІ НАН України, 2019. – С. 67-70.

ABSTRACT

Sachanova Yu.I. Electrochemical molding of Fe–Co–Mo(MoO_x) alloys and composites. – The manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences in the speciality 05.17.03 – Technical Electrochemistry. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute» Kharkiv, 2019.

The component composition of the electrolyte and the ratio of the concentrations of the alloys forming components in the ferum-cobalt-molybdenum system and the regularities of the complex formation in the presence of citrate, which became the basis for the development of electrolytes for metal deposition and metal oxide coatings are substantiated. It was found that high-quality coatings with a molybdenum content of more than 30 at.% Are formed from electrolytes with a concentration of sodium citrate of 0,4 – 0,5 M and oxometalate of 0,2 M.

It is proved that the formation of heteronuclear complexes is a prerequisite for the flexible control of ionic equilibria in solution, the mechanism and overvoltage of electrode reactions, the course of which obeys the laws of mixed kinetics, which is confirmed and determined by the activation energy of the process. The reduction of the molybdate ion to the metal phase occurs by the formation of surface oxides of an intermediate oxidation state. Depending on the completeness of the course of this process, conditions are created for the formation of a metal coating of a ternary alloy or a metal oxide composite, the second phase of which consists of molybdenum oxides in an intermediate oxidation state, that is, is formed directly in the electrolysis process.

The reduction of oxometalate can occur in several stages using both the electrochemical and chemical mechanisms, which include hydrogen ad-atoms and atoms that are formed in the cathodic reaction. It is this feature that provides the variability of the cathode process and allows flexible control of the stages, as well as the composition and properties of the product of the technological process.

The main factors ensuring variability of the coating composition are polarization modes — galvanostatic and pulsed modes, and amplitude and time

parameters of the current. At the same current densities, the use of pulsed electrolysis allows the formation of coatings with a significantly higher molybdenum content. In particular, with a constant pulse duration of 10–20 ms and pauses of 5–20 ms, the composition of the shells is enriched in molybdenum to 30 at.% With a significantly lower oxide content. Such changes in the composition of the coating compared with the stationary regime are due to the chemical reaction of the reduction of intermediate molybdenum oxides by hydrogen atoms as a result of the overflow effect. The higher content of the oxide phase in the composition of tournament alloys formed in the galvanostatic mode allows us to classify them as composites.

With the same polarization mode, the parameters depending on the current are determined not only by the content of the components of the alloy or composite, but also by the morphology of the coating surface and the current efficiency. Under the conditions of stationary electrolysis, the efficiency of the alloy is in the range 56–62 %, and when using pulsed electrolysis, the efficiency of the process increases to 61–70 % due to the chemical reaction of the reduction of molybdenum oxides. hydrogen atoms of hydrogen. The dissipated ability of the electrolyte also depends on the current density and is extreme in nature with a maximum of 62% at $i = 2.5 \text{ A/dm}^2$. Dissipation results are consistent with known electrolytes.

Composite coatings Fe–Co–MoO_x and metallic coatings Fe–Co–Mo have a fine-crystalline structure, surface development increases with increasing current density, and the nature and size of crystallites depends on the composition of the coatings and electrolysis conditions. So for Fe₄₈Co₄₀Mo₁₂ coatings obtained by direct current, the average crystallite size is 63 Å, and for Fe₄₃Co₃₉Mo₁₈ coatings obtained in a pulsed mode, the average crystallite size is 56 Å. Depending on the electrodeposition modes, the surface roughness also varies - in the galvanostatic and pulsed modes, the parameter Ra for the alloys is 0,15 and 0,11, respectively, which corresponds to grades 9-10.

The synthesized coatings have a range of physico-chemical and physico-mechanical properties with a high level of performance. Thus, corrosion resistance testing shows that the depth of the index (0,018 – 0,02 mm/year) coatings are

characterized as 4 points of resistance on a ten-point scale, and ranked according to the density of the corrosion current is "stable" in acidic solutions and "very stable" in neutral and alkaline solutions. Corrosion resistance to the acid solutions increases the presence of molybdenum through the acidic nature of its oxides, and in neutral and alkaline solutions the covers exhibit resistance due to passivation of iron and cobalt. The free energy of the surface of metal coatings and composites is in the range of 118-128 mJ/m², which is almost an order of magnitude lower than the alloys of the component and the surfaces of the Fe–Co–MoO_x composites lower than the Fe–Co–Mo alloy due to the higher oxygen content in its structure. , causing the composites to be chemically stable.

The microhardness of galvanic coatings is in the range of 595–630 kgf/mm² depending on the individual components and is 2,5–3 times higher than for steel. The microhardness of the coatings increases symbatically with an increase in the amount of molybdenum in the alloy and also increases with an increase in this parameter in the integral of current densities. The high adhesion of the coatings to the surface of the steel, resistance to polishing, heating and kink is established.

The high electrocatalytic activity of ternary alloys in the reactions of anodic oxidation of low molecular weight alcohols was established, and the magnitude of the peaks of the anodic and cathodic currents in the cyclic voltammogram is even higher than that of the platinum electrode, so galvanic coatings with Fe–Co–Mo alloy can be considered a promising catalytic material for fuel cells. High electrocatalytic activity of the skin was also detected in cathodic reactions of hydrogen evolution from alkaline and acidic media, which is higher as a result of the synergistic effect compared to individual metals. A connection was established between the alloy composition and catalytic properties – a higher molybdenum content usually improves the quality of coatings. At the same time, the exchange current density of the hydrogen evolution reaction on composite coatings in all model solutions is higher than for metal coatings, which is consistent with the results of determining the current efficiency.

The coatings have magnetic properties, and the value of the coercive force for Fe—Co—Mo coatings is in the range of 7-10 Oe, which is higher than the value for the Fe—Co alloy (6,5-7,2 Oe). Fe—Co—Mo alloys are "Magnetic materials" and can be used in the production of magnetic information storage elements. The alloy has sensory properties on the individual components of the gas environment and can be used, in particular, as a sensor material of the sensor to determine the maximum hydrogen concentration.

Based on kinetic characteristics and technological parameters, software and technological module have been created and a variable technological scheme for applying Fe—Co—Mo(MoO_x) coatings of controlled composition and predicted physicomechanical and physicochemical properties has been proposed. According to the results of tests and elements of equipment coated with ternary alloys at PJSC "Ukrndikhim mash" and at the Metrological center of military standards of the Armed Forces of Ukraine, a high level of operational characteristics of the synthesized coatings and the effectiveness of the technology for their synthesis have been proved. The research results were introduced into the educational process of the Department of Physical Chemistry NTU "KhPI" and the Military Institute of Tank Troops NTU «KhPI».

Key words: electrolysis, pulsed mode, corrosion resistance, catalytic properties, cathodic reaction mechanism, spillover effect, alloy creation, microhardness, soft magnetic materials, composites.

List of publications of the applicant

1. Sachanova Yu.I. Functional ternary Fe—Co—Mo(W) coatings / I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko, Yu.I. Sachanova, I.V. Lagdan, V.O. Proskurina // Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry: Monograph / Editor-in-chief V.S. Barsukov. – Kyiv, 2017. – P. 89-97.

2. Sachanova Yu.I. Internal stresses and magnetic properties of Fe—Co electrolytic coatings / V.O. Proskurina, I.Yu. Yermolenko, S.I. Zyubanova, I.G. Shipkova, B.A. Avramenko, Yu.I. Sachanova // *Funct. Mater.* – 2017. – Vol. 24. – No. 3. – P. 1-7.

3. Sachanova Yu.I. Methods for controlling the composition and morphology of electrodeposited Fe–Mo and Fe–Co–Mo coatings / [M.V. Ved, I.Yu. Ermolenko, N.D. Sakhnenko, S.I. Zyubanova, Yu.I. Sachanova] // Surf. Eng. Appl. Electrochem. – 2017. – Vol. 53. – No.6. – P. 525-532.

4. Sachanova Yu.I. Composition, Morphology, and Topography of Galvanic Coatings Fe–Co–W and Fe–Co–Mo / I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko, Yu.I. Sachanova // Nanoscale Research Letters. – 2017. –Vol. 12. – P. 352.

5. Sachanova Yu.I. Vplyv rezhymu elektrolizu na kilkisnyi i fazovyi sklad pokryviv Fe–Co–W(Mo) / M.V. Ved, M.D. Sakhnenko, I.Yu. Yermolenko, Yu.I. Sachanova // Voprosy khymyy y khymycheskoi tekhnolohyy. – Dnepropetrovsk: HVUZ UHKhTU, 2019. – Vol. 5-6. – № 4. – P. 139-149.

6. Sachanova Yu.I. Refractory metals influence on the properties of Fe–Co–Mo(W) electrolytic alloys / Yu.I. Sachanova, I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko // Materials Today: Proceeding – 2019. – Vol. 6. – P. 121-128.

7. Sachanova Yu.I. Influence of the contents of refractory components on the corrosion resistance of ternary alloys based on iron and cobalt / I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko, T.O. Nenastina, G.Sh. Yar-Mukhamedova, Yu.I. Sachanova // Materials Science, 2019. – Vol. 54, No 4. –P. 100-109.

8. Pat. 114980 of Ukraine, C25D 5/10 (2006.01) C25D 3/56 (2006.01). Sposib oderzhannya hal'vanichnykh pokryttiv ternarnymy splavamy zaliza ta kobal'tu z vol'framom abo molibdenom [The method of producing galvanic coatings of iron and cobalt ternary alloys with tungsten or molybdenum] / Yermolenko I.Yu., Ved' M.V., Sakhnenko M.D., Sachanova Yu.I., Lagdan I.V.; applicant and holder of patent NTU «KhPI». – a201603868; stated 11.04.2016; has published 28.08.2017, Byul. No. 16.

9. Pat. 108610 of Ukraine, C25D 3/56 (2006.01). Elektrolit dlya nanesennya pokryttiv splavom zalizo-kobal't-molibden [The electrolyte of the deposition of iron-cobalt-molybdenum coatings] / Yermolenko I.Yu., Ved' M.V., Sakhnenko

M.D., Sachanova Yu.I., Karakurkchi H.V., Zubanova S.I.; applicant and holder of patent NTU «KhPI». – u201600398; stated 18.01.2016; has published 25.07.2016, Byul. No. 14.

10. Pat. 110884 of Ukraine, C25D 3/56 (2006.01). Sposib oderzhannya elektrolitychnykh pokryttiv zalizo-kobal't-molibden [The method of obtaining of electrolytic iron-cobalt-molybdenum coatings]/ Yermolenko I.Yu., Ved' M.V., Sakhnenko M.D., Sachanova Yu.I.; applicant and holder of patent NTU «KhPI». – u201603871; stated 11.04.2016; has published 25.10.2016, Byul. No. 20.

11. Sachanova Yu.I. Bazovi kharakterystiki kompleksnykh tsitratnykh elektrolitiv na osnovi zaliza (III) dlia otrymannia tonkosharovykh halvanichnykh pokryviv / Yu.I. Sachanova, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko // Visnyk NTU «KhPI». – Seriya: Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia. – Kh.: NTU «KhPI», 2018. – №39 (1315). – P. 4.

12. Sachanova Yu.I. Doslidzhennia vplyvu hustyny strumu na rozsiivalnu zdatnist kompleksnoho elektrolitu, vykhid za strumom ta sklad pokryviv splavamy Fe-Co-Mo / M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko, Yu.I. Sachanova // Visnyk NTU «KhPI». – Seriya: Innovanitsiyni doslidzhennia v naukovykh robotakh studentiv. – Kh.: NTU «KhPI», 2018. – №18 (1294). – P. 4.

13. Sachanova Yu.I. Ternarnyi splav Co–Mo–W yak chutlyvyi material nanostrukturnoho hazovoho sensora / O.P. Pospelov, H.V. Kamarchuk, M.D. Sakhnenko, V.O. Hudymenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko, Yu.I. Sachanova // Visnyk NTU «KhPI». – Serii: Khimiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia. – Kh.: NTU «KhPI», 2018. – №50 (1269). – P. 6.

14. Sachanova Yu.I. Koroziyni ta mekhanichni vlastyvoli binarnykh ta ternarnykh splaviv na osnovi zaliza ta kobaltu / H.V. Karakurkchi, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko, M.D. Sakhnenko, Yu.I. Sachanova // Problemy koroziino-mekhanichnoho ruinuvannia, inzheneriia poverkhni, diahnostychni systemy KMN-2015: XXIV Vidkryta nauk.-tekhn. konf., 20–22 zhovtnia 2015 r.: mater. konf. – Lviv: FMI im. H.V. Karpenka NAN Ukrainy, 2015. – P. 157-160.

15. Sachanova Yu.I. Funktsionalni elektrolitychni pokryvy splavamy zaliza z tuhoplavkymy metalamy / Yu.I Sachanova, I.V. Lahdan, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko, H.V. Karakurkchi // Khimichni problemy sohodennia: IKh Ukrainska nauk. konf., 29–30 bereznia 2016 r.: tezy dop. – Vinnytsia: TOV «Nilan-LTD», 2016. – P. 201.

16. Sachanova Yu.I. Funktsionalni elektrolitychni pokryvy splavamy kobaltu z tuhoplavkymy metalamy / I.V. Lahdan, M.O. Koziar, N.D. Sakhnenko, M.V. Ved // Khimichni Karazinski chytannia: zbirnyk tez dop.VIII Vseukrainskoi naukovoii konferentsii studentiv ta aspirantiv, 18-20 kvitnia 2016 r. – Kh.: KhNU im..V.N.Karazina, 2016. – P. 27-28.

17. Sachanova Yu.I. Elektrosyntezy ternarnykh splaviv kobaltu / M.O. Koziar, Yu.I. Sachanova, I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, M.D. Sakhnenko // Zbirka tez dopovidey KhII Vseukrainskoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv z aktualnykh pytan` khimiyi, 11–13 travnia 2016 r. – Kharkiv: Ekskliuzyv, 2016. – P. 44.

18. Sachanova Yu.I. Vplyv kontsentratsii elektrolita i rezhymiv elektrolizu na sklad i morfolohiiu pokryviv Fe–Co–Mo / Yu.I Sachanova, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko, H.V. Karakurkchi // VI Mizhnar. konf. z khimii ta khimichnoi tekhnolohii, 20–22 kvitnia 2016 r.: tezy dop. – Kyiv, 2016. – P. 112.

19. Sachanova Yu.I. Composition and morphology of Fe–Co–Mo electrolytic alloys / Yu.I. Sachanova, I.Yu. Yermolenko, N.D. Sakhnenko, M.V. Ved // Chemistry, physics and technology of surface: Proceedings of Ukrainian conference with international participation devoted to the 30th anniversary of the founding of Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine and Workshop «Nanostructured biocompatible / bioactive materials», 17–18 May 2016: book of abstracts. – Kyiv, 2016. – P. 160.

20. Sachanova Yu.I. Parametry elektrolizu yak faktor keruvannia skladom pokryttiv Fe–Co–Mo / Yu.I. Sachanova, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita,

zdorovia: KhXIV mizhnarodna nauk.-prakt. konf., 18–20 travnia 2016r.: tezy dop. / za red. prof. Sokola Ye.I. – Kharkiv: NTU «KhPI», Ch.II. 2016. – P. 230.

21. Sachanova Yu.I. Zakhysni elektrolitychni pokryttia dlia pidvyschennia ekspluatatsiinoho resursu viiskovoi tekhniki spetsialnykh viisk / I.Yu. Yermolenko, Yu.I. Sachanova, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved // Perspektyvy rozvytku ozbroiennia ta viiskovoi tekhniki Sukhoputnykh viisk: Mizhnar. nauk.-tekhn. konf., 18–20 travnia 2016 r.: tezy dop. – Lviv: NASV, 2016. – P. 252-253.

22. Sachanova Yu.I. Vplyv vmistu tuhoplavkykh komponentiv na koroziinu stiikist ternarnykh splaviv zaliza / Yu.I. Sachanova, T.O. Nenastina, I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved // Problemy koroziino-mekhanichnoho ruinuvannia, inzheneriia poverkhni, diahnostychni systemy: materialy KhKhIV Vidkrytoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii molodykh naukovtsiv i spetsialistiv KMN-2017, 27–29 zhovtnia 2017 r. – Lviv: FMI NAN Ukrainy, 2017. – P. 74-77.

23 Sachanova Yu.I. Morphology of thin film coatings Fe–Co–W and Fe–Co–Mo / [I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved, N.D. Sakhnenko, Yu.I. Sachanova] // Nanotechnology and nanomaterials NANO-2016: International research and practice conference, 24–27 August 2016: book of abstract. – Lviv, 2016. – P. 370.

24. Sachanova Yu.I. Vplyv parametriv impulsnoho elektrolizu na sklad pokryttiv Fe–Co–Mo / I.Yu. Yermolenko, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved // Khimichni problemy sohodennia (KhPS-2017): zbirnyk tez dopovidei X Ukrainskoi naukovoi konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh uchenykh z mizhnarodnoiu uchastiu, 27–29 bereznia 2017 r., m. – Vinnytsia: TOV "Nilan-LTD", 2017. – P. 224.

25. Sachanova Yu.I. Elektrodni materialy dlia elektrolitychnoho vydilennia vodniu / Yu.I. Sachanova, V.O. Proskurina, I.Yu. Yermolenko, M.V. Ved // Zbirka tez dopovidei I Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Khimiiia, ekolohiia ta osvita», 4–5 travnia 2017 r. – Poltava, 2017. – P. 31-35.

26. Sachanova Yu.I. Mahnitni vlastyivosti halvanichnykh pokryttiv Fe-Co-Mo / Yu.I. Sachanova, I.Yu. Yermolenko, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved,

V.O. Savchenko // «Khimiiia ta suchasni tekhnolohii»: VIII Mizhnar. nauk.-tekh. konf., 26–28 kvitnia 2017 r.: tezy dop. – Dnipro, 2017. – P. 70.

27. Sachanova Yu.I. Halvanichni pokryvy yak katalitychni materialy sohodennia / Yu.I. Sachanova, O.V. Matykin, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved // Ekolohiia, neokolohiia, okhorona navkolyshnoho seredovyscha ta zbalansovane pryrodokorystuvannia: zbirka tez dopovidei Mizhnarodnoi naukovo konferentsii molodykh vchenykh, 29-30 lystopada 2017. – Kharkiv: KhNU im. V.N. Karazina, 2017. – P. 280-281.

28. Sachanova Yu.I. Mahnitni vlastyvoli ternarykh splaviv Fe–Co–Mo ta Fe–Co–W / Yu.I. Sachanova, I.Yu. Yermolenko, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved. // Tezy dopovidei VIII Mizhnarodnoi naukovo konferentsii «Fizychni yavyscha v tverdykh tilakh», 5–8 hrudnia 2017. – Kharkiv, 2017. – P. 135.

29. Sachanova Yu.I. Molibden yak lehuvalnyi komponent splaviv na osnovi zaliza / M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, O.O. Ovcharenko, V.O. Proskurina // Suchasni problemy khimii: zbirka tez dopovidei KhIKh Mizhnarodnoi konferentsii studentiv ta aspirantiv, 22-24 travnia 2018 r. – Kyiv: KNU im. T.H. Shevchenka, 2018. – P.58.

30. Sachanova Yu.I. Vyznachennia ratsionalnykh parametriv elektrolizu dlia oderzhannia pokryviv splavom Fe-Co-Mo z tsytratnykh elektrolitiv na osnovi Fe (III) / M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko, Yu.I. Sachanova // Zbirka tez dopovidei KhIII Vseukrainskoi konferentsii molodykh vchenykh ta studentiv z aktualnykh pytan khimii, 2-4 travnia 2018 r. – Kharkiv: Ekskliuzyv, 2018. – P.62.

31. Sachanova Yu.I. Ternarni splavy Fe-Co-Mo: perspektyvni katalitychni materialy / Yu.I. Sachanova, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko // Informatsiini tekhnolohiyi: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: Tezy dop. KhXIV mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 15–17 travnia 2019 r./ za red. prof. Sokola Ye.I.- Kharkiv: NTU «KhPI», 2019. – Ch. V – P. 129.

32. Sachanova Yu.I. Prohnozuvannia skladu pokryviv splavom Fe-Co-Mo / M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko, Yu.I. Sachanova // Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia: Tezy dopovidei

KhXVII mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 15-17 travnia 2019 r. / za red. prof. Sokola Ye.I. Kharkiv: NTU «KhPI», 2019. – Ch.II – P. 335.

33. Sachanova Yu.I. Vplyv vmistu molibdenu na ekspluatatsiini kharakterystyky ternarnoho splavu / Yu.I. Sachanova, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko // Suchasni informatsiini ta innovatsiini tekhnolohii na transporti: Materialy KhI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii, 28-30 travnia 2019 r.: tezy dopovidei. – Kherson: KhDMA, 2019. – P. 415.

34. Sachanova Yu.I. Tekhnolohichni kharakterystyky splaviv Fe-Co-Mo / Yu.I. Sachanova, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko // Lvivski khimichni chytannia - 2019: KhVII nauk. konf., 2-5 chervnia 2019 r.: zb.nauk.prats. – Lviv, 2019. – P. Z141.

35. Sachanova Yu.I. The phase composition of the galvanic Fe–Co–Mo alloys / I.Yu. Yermolenko, Yu.I. Sachanova, M.V. Ved, M.D. Sakhnenko // International research and practice conference: Nanotechnology and nanomaterials (NANO-2019), 27-30 August 2019. – Lviv, 2019. – P. 459.

36. Sachanova Yu.I. Fyzyko-mekhanichni vlastyvoli ta koroziina stiikist elektrolitychnykh pokryviv Fe–Co–Mo / Yu.I. Sachanova, M.D. Sakhnenko, M.V. Ved, I.Yu. Yermolenko// Problems of Materials Science and Surface Engineering (MSSE-2019):Conference abstracts of Young Scientists Conference on Materials Science and Surface Engineering, 25-27 veresnia 2019 r. – Lviv: FMI NANU, 2019. – P. 67–70.

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ОДЕРЖАННЯ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПОКРИВІВ СПЛАВАМИ І КОМПОЗИТАМИ.....	14
1.1 Актуальність розробки багатоконпонентних металевих покривів.....	14
1.2 Сучасні тенденції застосування захисних та зміцнювальних матеріалів.....	15
1.3 Молібден як легувальний компонент сплаву.....	18
1.4 Бінарні сплави на основі перехідних металів, леговані молібденом.....	20
1.5 Тернарний сплав Fe–Co–Mo.....	29
1.6 Одержання композитних матеріалів на основі металів родини феруму.....	30
1.7 Задачі дослідження.....	33
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	34
2.1 Об’єкти досліджень.....	34
2.2 Електроліти та модельні середовища.....	35
2.3 Обладнання та прилади.....	37
2.4 Методи експериментальних досліджень.....	41
2.5 Аналіз результатів експерименту.....	53
РОЗДІЛ 3 КІНЕТИЧНІ ЗАКОНОМІРНОСТІ СПІВОСАДЖЕННЯ ФЕРУМУ З КОБАЛЬТОМ І МОЛІБДЕНОМ.....	54
3.1 Система Fe (III) – Cit ³⁻ – H ₂ O.....	54
3.2 Система Co (II) – Cit ³⁻ – H ₂ O.....	58
3.3 Система Fe(III) – Co(II) – Cit ³⁻ – H ₂ O.....	63
3.4 Система Co ²⁺ – MoO ₄ ²⁻ – Cit ³⁻ – H ₂ O.....	64

3.5 Система $\text{Fe}^{3+} - \text{MoO}_4^{2-} - \text{Cit}^{3-} - \text{H}_2\text{O}$	68
3.6 Катодні реакції в системі $\text{Fe}^{3+} - \text{Co}^{2+} - \text{MoO}_4^{2-} - \text{Cit}^{3-} - \text{H}_2\text{O}$	70
3.7 Висновки.....	74
РОЗДІЛ 4 ЕЛЕКТРОЛІТИ ТА РЕЖИМИ СИНТЕЗУ ПОКРИВІВ СИСТЕМИ Fe-Co-Mo.....	
4.1 Формування покривів сплавами Fe-Co-Mo.....	76
4.2 Вплив виду електролізу на розподіл компонентів на поверхні покривів.....	92
4.3 Визначення розподілу компонентів сплаву по товщині осаду.....	98
4.4 Дослідження фазового складу.....	100
4.5 Базові параметри комплексних електролітів.....	102
4.6 Висновки.....	108
РОЗДІЛ 5 ФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИВІВ СПЛАВАМИ І КОМПОЗИТАМИ Fe-Co-Mo(MoO_x).....	
5.1 Морфологія поверхні покривів	112
5.2 Вільна енергія поверхні сплавів.....	118
5.3 Корозійна стійкість покривів	120
5.4 Фізико-механічні властивості	124
5.5. Мгнітні властивості.....	125
5.6 Каталітичні властивості в реакціях електроокиснення спиртів.....	127
5.7 Каталітичні властивості в реакціях виділення водню.....	132
5.8 Сенсорні властивості.....	135
5.9 Висновки.....	137
РОЗДІЛ 6 РОЗРОБКА ФЕНОМЕНОЛОГІЧНОГО ОПИСУ СТРУМОЗАЛЕЖНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЛІЗУ, ВЛАСТИВОСТЕЙ ЕЛЕКТРОЛІТУ ТА ПОКРИВІВ СИСТЕМИ Fe-Co-Mo.....	
6.1 Моделювання розсіювальної здатності електроліту.....	141

6.2	Опис залежності виходу за струмом від густини струму.....	143
6.3	Опис залежності вмісту сплавотвірних компонентів від катодної густини струму.....	144
6.4	Прогнозування властивостей покривів Fe–Co–Mo.....	146
6.5	Технологічна схема процесу нанесення тернарних металевих сплавів та композитів.....	149
6.6	Висновки.....	151
	ВИСНОВКИ.....	152
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	155
	ДОДАТКИ.....	176