

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.357

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.111.0.9

ЕЛЕКТРОХІМІЧНА МОДИФІКАЦІЯ ПОВЕРХНІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПОКРИТТЯМИ НА ОСНОВІ ПОТРІЙНИХ СПЛАВІВ Co-Mo-W

Гапон Ю. К.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У роботі досліджено електрохімічне осадження покриттів потрійним сплавом Co-Mo-W з амонійно-цитратного електроліту та визначено рівень впливу модифікації вуглецевими наночастинками на їхню структуру та властивості. Доведено: якщо склад покриттів Co становить 67,7–78,9 %, Mo – 7,9–17,9 %, W – 12,7–16,2 %, формуються рівномірні дрібно-кристалічні шари з високою адгезією до основи. Підтверджено, що додавання 0,1–0,2 г/дм³ ВНЧ змінює морфологію поверхні: зменшується пористість, формуються сферичні наноструктури, що забезпечує більш щільне упакування зерен. Модифіковані покриття визначаються підвищенням мікротвердості до 950–1100 МПа та покращеною корозійною стійкістю, про що свідчить зменшення густини корозійного струму, як порівняти з немодифікованими зразками. Електроліт із додаванням ВНЧ зберігав стабільність протягом усього процесу електролізу та забезпечував високий вихід за струмом (62–86 %). Результати свідчать про ефективність електрохімічної модифікації поверхні будівельних матеріалів покриттями Co-Mo-W і демонструють перспективність застосування таких композиційних шарів для підвищення корозійної та механічної стійкості металевих елементів будівельних конструкцій.

Ключові слова: електроосадження, функціональні властивості, корозійна стійкість, морфологія наноструктур, мікротвердість, покриття Co-Mo-W, амонійно-цитратний електроліт, вуглецеві наночастинки.

Вступ

Сучасне будівництво визначається інтенсивним розвитком технологій, спрямованих на підвищення надійності, енергоефективності й терміну експлуатації матеріалів. Особливу увагу приділяють електрохімічній модифікації поверхонь металевих елементів будівельних конструкцій, арматури та деталей машин.

У складних умовах експлуатації – під впливом вологи, агресивних середовищ, перепадів температур і механічних навантажень – традиційні будівельні матеріали поступово втрачають свої функціональні властивості, що призводить до корозії, мікротріщин, зниження адгезії та несної здатності конструкцій.

Одним із провідних напрямів сучасної науки про матеріали є інтеграція хімічних й електрохімічних методів модифікації структури будівельних матеріалів. Такий підхід дозволяє не лише вдосконалити внутрішню мікроструктуру, а й сформувати захисно-функціональні поверхневі шари, які суттєво збільшать термін експлуатації конструкцій за різних навантажень.

Хімічні процеси, що здійснюються під час формування будівельних матеріалів (гідра-

тація цементу, полімеризація органічних домішок, карбонізація, взаємодія з неорганічними модифікаторами), створюють первинну міцну основу. Проте саме поверхневі властивості матеріалів визначають їхній термін експлуатації. Металеві елементи, які контактують із середовищем, часто стають осередками корозії, зокрема за умови дії електрохімічних потенціалів у вологих умовах.

Одним з ефективних способів захисту таких поверхонь є нанесення електролітичних покриттів на основі потрійних сплавів Co-Mo-W. Вони поєднують високу твердість, термо- й унікальну корозійну стійкість, перевищуючи характеристики чистого кобальту або подвійних систем Co-W чи Co-Mo. Завдяки використанню полілігандних комплексних електролітів можна регулювати склад і мікроструктуру осадів, формуючи нанокристалічні або аморфні шари із щільним приляганням до основи.

Аналіз публікацій

У процесах електроосадження трьохкомпонентних покриттів Co-Mo-W електрохімічна модифікація поверхні будівельних матеріалів досягається завдяки складу полілігандного електроліту та технологічним параме-

трам електролізу: густині струму, рН, температурі, перемішуванню. Використання цитрат-амонійних або цитрат-пірофосфатних лігандів дає змогу утворювати стійкі комплексні сполуки іонів Мо та W, запобігаючи їх передчасному осадженню або гідролізу у ванні, що забезпечує формування рівномірних електрохімічномодифікованих шарів на поверхні металевих матеріалів [1].

У численних експериментальних роботах зазначено вплив технологічних параметрів – густини струму, імпульсного режиму, рН, температури ванни – на хімічний склад, мікроструктуру та властивості покриттів. Підвищення струму або застосування імпульсного режиму часто призводить до наявності вищих часток Мо / W у шарі, тоді як наявність відхилення рН або домішок може призводити до нестабільності осадження [2, 3].

Щодо механічних та корозійних характеристик покриттів, то є інформація, що наявність Мо і W у кобальтовому шарі значно підвищує мікротвердість, зносостійкість і антикорозійні властивості, як порівняти з чистим кобальтом або подвійними системами Co-W і Co-Mo [4].

Водночас дослідники зазначають, що надмірне збільшення вмісту Мо може спричиняти появу мікротріщин або пористості – дефектів, які знижують корозійну стабільність [5].

Мікроструктурні характеристики покриттів, зокрема перехід між кристалічними, нанокристалічними й аморфними фазами, є ключовим фактором для оптимізації властивостей. Збільшення частки Мо/W зазвичай призводить до зменшення кристалічності й збільшення частки напіваморфних або нанокристалічних утворень, що покращує корозійну стійкість, але може зменшувати твердість, тому компроміс у структурі є критичним [6].

Для визначення рівня стабільності покриттів часто застосовують електрохімічні методи: вольтамперометрію, імпедансну спектроскопію, корозійні тести та випробування в сольовому розпилі. Визначено, що наявність Мо і W у складі покриттів змінює тип пасивації, сприяє формуванню захисних оксидних шарів і зменшує швидкість корозійного розчинення [7].

Щодо будівельного контексту, то у декількох роботах досліджували нанесення таких покриттів на сталеву арматуру чи металеві вузли конструкцій, а комбіновані методи передпідготовки поверхні (наприклад хіміч-

не травлення або адгезійні проміжні шари) покращують зв'язок між покриттям і основою. Проте питання тривалого контакту з бетоном (вологість, лужність, потенційні градієнти) потребує подальших систематичних досліджень [8–10].

Крім того, у літературі зазначені такі технологічні обмеження: складність підтримання стабільного високого вмісту Мо / W за високих струмів, чутливість до домішок, деградація ванни в процесі серійного експериментального виробництва та труднощі з масштабуванням на індустріальний рівень [1–5, 7].

З огляду на результати проаналізованих наукових робіт подальші дослідження доцільно зосередити на двох основних напрямках: удосконалення полілігандних електролітичних систем для підвищення ступеня вміщення Мо та W у складі покриттів; комбінування методів хімічної модифікації поверхні з процесом електролітичного осадження з метою покращення адгезійних властивостей та експлуатаційної стабільності синтезованих покриттів.

Мета та постановка задачі

Метою є дослідження процесів електроосадження покриттів потрійним сплавом Co-Mo-W з амонійно-цитратного електроліту та визначення рівня впливу модифікації вуглецевими нанорозмірними частинками (ВНЧ) на морфологію, структурні та функціональні властивості покриттів.

Для досягнення мети необхідно визначити оптимальні умови процесу електролізу та склад електроліту, дослідити структуру й однорідність покриттів, а також визначити ефект додавання ВНЧ на їхню мікротвердість і корозійну стійкість сплаву. Результати дослідження дозволять підвищити надійність і термін експлуатації металевих елементів у будівельних конструкціях.

Методика проведення дослідження

Покриття сплавом Co-Mo-W наносили на підкладки з міді (М0) та сталі (Ст.3). Підготовка поверхні складалася з процесів механічного оброблення для усунення дефектів і зменшення шорсткості, знежирення розчином кальцинованої соди, травлення (мідь – суміш нітратної і сульфатної кислот 1:1, сталь – насичений розчин FeCl_3), промивки дистильованою водою та сушки.

Електроосадження здійснювали з амонійно-цитратного електроліту, що містив сполу-

ки кобальту, молібдену та вольфраму, ліганди та буферні компоненти для стабілізації рН і підвищення електропровідності розчину. Для підвищення функціональних властивостей частину покриттів модифікували вуглецевими наночастинками (ВНЧ), отриманими з побічних продуктів коксування кам'яного вугілля.

Корозійну стійкість синтезованих матеріалів аналізували методом поляризаційного опору, реєструючи анодні та катодні вольтамперні характеристики. Густина струму корозії $j_{кор}$ визначали способом екстраполяції лінійних ділянок анодних і катодних поляризаційних кривих.

Макро- та мікротвердість отриманих покриттів, а також підкладки зі сталі Ст.3 визначали за допомогою методу вдавлення алмазної піраміди на твердомері ПМТ-3. Навантаження під час вимірювання – $P = 0,02\text{--}0,2$ кг, час витримки – 10 с. Всі експерименти проводили після 24-годинного витримання покриттів за кімнатної температури. Для кожного зразка здійснювали не менше ніж п'ять повторних вимірювань, після чого визначали середнє значення та стандартне відхилення.

Результати та їх обговорення

Для забезпечення тривалої стабільності електроліту під час роботи, окрім сполук сплавоутворювальних металів (сульфат кобальту, натрію вольфрамат та молібдат) і лігандів (натрію цитрат, амонію хлорид), до його складу додають компоненти, що підвищують електропровідність і забезпечують необхідний діапазон рН (натрію сульфат і гідроксид), а також здійснюють буферування розчину (боратна кислота) [11].

Покращення електропровідності розчину сприяє досягненню високого виходу за струмом, формуванню рівномірних і блискучих покриттів та зменшенню витрат електроенергії під час електроосадження. У межах рН 5–8 і за відповідного співвідношення концентрацій компонентів у розчині утворюються змішані гетероядерні амонійно-цитратні комплекси кобальту з оксометалатами (вольфраматами та молібдатами), які залежно від умов електролізу забезпечують осадження рівномірних, дрібнокристалічних покриттів із високим ступенем адгезії до основи за вмісту сплавоутворювальних компонентів у сплаві, мас. %: Со – 67,7–78,9; Мо – 7,9–17,9; W – 12,7–16,2.

Електрохімічне осаження покриттів сплавом Со-Мо-W проводили з електролітів

варіабельного складу (табл. 1) на зразки зі сталі та міді, підготовку поверхні яких перед нанесенням здійснювали стандартними методами.

Таблиця 1 – Вплив концентрації компонентів на стабільність електроліту та якість покриттів

Компоненти електроліту	Концентрація, моль/дм ³	
	1	2
цитрат натрію	0,25	0,28
сульфат кобальту	0,2	0,2
молібдат натрію	0,07	0,03
вольфрамат натрію	0,06	0,1
хлорид амонію	0,3	0,3
сульфат натрію	0,1	0,1
боратна кислота	0,1	0,1
гідроксид натрію	до значення рН 5–8	
густина струму, А/дм ²	2–8	
температура, °С	25–60	
вихід за стумом, %	62–86	

Електроліт 1 під час семигодинного електролізу проявляв незначне утворення осаду на дні ванни, що свідчить про часткову нестабільність його складу. Покриття, осажені з цього електроліту, були рівномірними, з темно-сріблястим відтінком, проте мали більші кристалічні зерна та незначну пористість.

Електроліт 2 демонстрував високу стабільність протягом усього терміну роботи: осад не утворювався, що забезпечувало стабільні умови електролізу.

Покриття, отримані з цього електроліту, мали однорідну, дрібнозернисту структуру й однаковий сріблястий колір, підвищену адгезію та кращі функціональні властивості, зокрема корозійну стійкість і мікротвердість.

Для підвищення поліфункціональних властивостей сплаву Со-Мо-W, зокрема мікротвердості та корозійної стійкості, його модифікували ВНЧ. Вуглецеві наночастинки отримували способом екстрагування водних суспензій побічних продуктів коксування кам'яного вугілля (кокового пилу) або за допомогою органічних розчинників. Процес дифузії інтенсифікували ультразвуковим обробленням на установці УЗ-ДН-2Т (частота 22 кГц) для руйнування агломератів. Отриману суспензію фільтрували на паперовому фільтрі «Синя стрічка», упарювали в 10 разів і додавали до електроліту для осаження покриттів потрібним сплавом Со-Мо-W у кількості, що забезпечувала кінцеву

концентрацію ВНЧ 0,1–0,2 г/дм³ у робочому електроліті.

Як доводять результати сканувальної електронної мікроскопії, морфологія покриттів сплавами Co-Mo-W під час модифікування ВНЧ різко змінюється.

Немодифіковані покриття (рис. 1 а) визначаються відносно плоскою, зернистою структурою із кристалами неправильної форми та середнім розміром зерна 200–300 нм.

Покриття, армовані ВНЧ (рис. 1б), демонструють формування сферичних наночастинок із більш однорідним розподілом вздовж поверхні, зменшенням пористості та утворенням щільних наноструктурних областей.

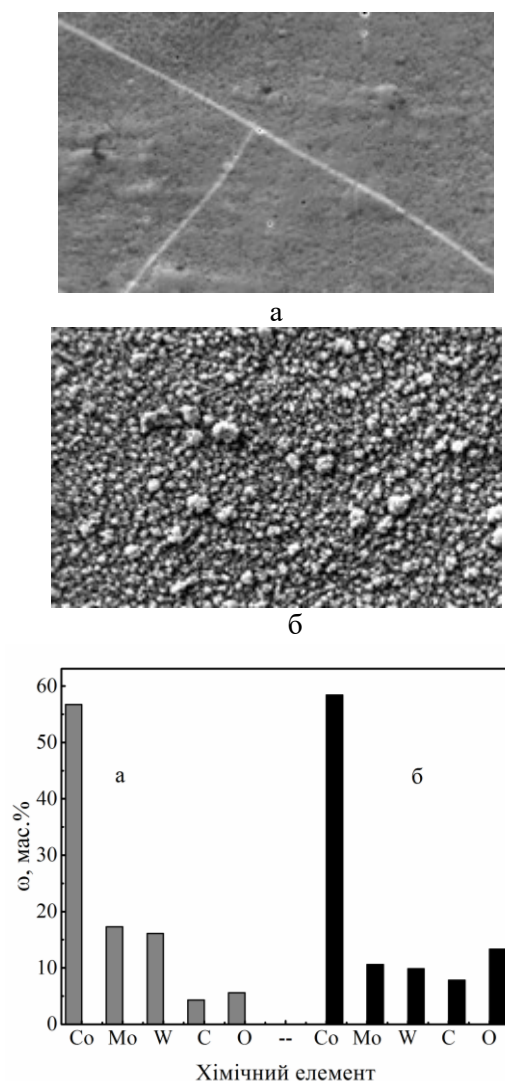


Рис. 1. Морфологія та елементний склад покриттів сплавом Co-Mo-W, нанесених з базових електролітів (а) й армованих ВНЧ (б). Режим електролізу: стаціонарний, $j = 4$ А/дм², перемішування та нагрівання до 60 °С

Одна з причин такої зміни в структурі сплавів полягає в тому, що ВНЧ мають висо-

ку електричну провідність, тому сплав формується одночасно як на підкладці, так і на вбудованих у покриття вуглецевих наноструктурах.

У водних розчинах електролітів робота виходу електрона з електродів на основі ВНЧ зменшується, а зсув потенціалу електрода в катодний бік призводить лише до подальшого її лінійного зменшення [12] завдяки створенню на кінцях наноструктур і на їхніх дефектах високої напруженості (10^3 – 10^4 В/мкм) під дією електричного поля. Внаслідок цього ділянки ВНЧ стають центрами, на яких відбувається збільшення частинок сплаву сферичної форми, формуючи більш щільну й однорідну поверхню.

В армованих ВНЧ сплавів Co-Mo-W відбувається збільшення кількості неметалевих домішок, як порівняти з немодифікованими покриттями, що й обумовлює підвищення їхніх функціональних властивостей [13].

Корозійні процеси покриттів з потрібним сплавом Co-Mo-W з різним вмістом сплавоутворювальних компонентів визначали за глибинним показником швидкості корозії у нейтральному середовищі, що містить хлорид-іони. Дослідження здійснювали способом реєстрації та подальшого аналізу катодних і анодних поляризаційних кривих (рис. 2.)

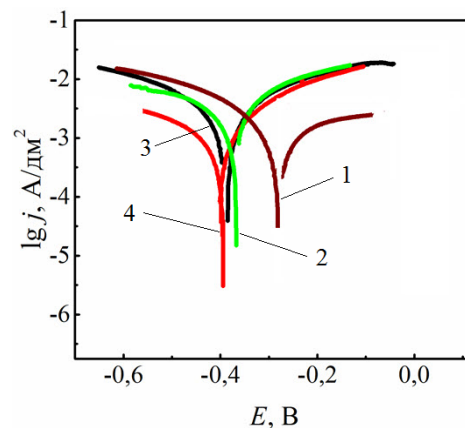


Рис. 2. Поляризаційна поведінка покриттів сплавом Co-Mo-W у нейтральному хлоридному середовищі (pH = 7, 3 % NaCl) за різного сумарного вмісту тугоплавких компонентів, мас. %: 1–20 (без модифікації ВНЧ), 2–30, 3–35, 4–45

У нейтральному середовищі, що містить хлорид-іони (pH = 7, розчин 3% NaCl), потенціал корозії покриттів сплаву Co-Mo-W змінюється в межах $-0,29$... $-0,35$ В. Визначена глибинна швидкість корозії становить 0,01–0,04 мм/рік.

Незважаючи на наявність хлорид-іонів, які зазвичай інтенсифікують корозійні процеси через руйнування пасивної плівки, покриття Co-Mo-W демонструють достатньо високу корозійну стійкість. Отримані показники свідчать, що матеріал зберігає пасивний стан і стійкість до корозії навіть у хлоридовмісному нейтральному середовищі.

Мікротвердість покриттів Co-Mo-W визначали методом Віккерса, основою для якого є вдавлювання алмазної піраміди в поверхню матеріалу під заданим навантаженням із подальшим вимірюванням розмірів відбитка. Залежно від співвідношення компонентів сплаву, мікротвердість становить 450–1100 МПа, що значно перевищує твердість окремих металів: Co – 130 МПа, W – 350 МПа, Mo – 150 МПа (рис. 3).

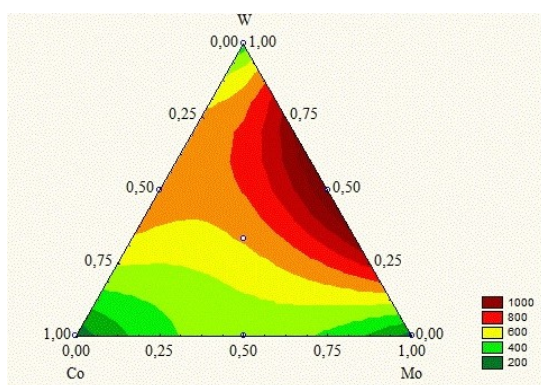


Рис. 3. Мікротвердість за Вікерсом (МПа) гальванічних покриттів сплавами Co-Mo-W

Твердість сплавів, визначена за іншим методом, досягає 3000–3680 МПа, тобто майже вдвічі перевищує твердість підкладки зі сталі Ст.3 (1500–1600 МПа). Це доводить ефективність покриттів Co-Mo-W для зміцнення сталевих деталей. Хоча універсальної залежності між макро- та мікротвердістю немає, орієнтовне співвідношення $H_v = (0,5–0,9) \cdot H_m$ дозволяє коректно зіставляти отримані експериментальні результати [11].

Висновки

Використання амонійно-цитратного електроліту забезпечує стабільне осадження покриттів сплавом Co-Mo-W протягом тривалого часу роботи без випадання осаду. Оптимальний склад покриттів – Co – 67,7–78,9 %, Mo – 7,9–17,9 %, W – 12,7–16,2 % – сприяє формуванню рівномірного дрібнокристалічного шару з високою адгезією.

Додавання ВНЧ змінює механізм збільшення покриттів: наноструктури з високою

провідністю є центрами кристалізації, сприяючи формуванню сферичних нанозерен і більш однорідної морфології. Це призводить до густішої мікроструктури та стабільного збільшення сплаву під час електроосадження.

Модифіковані покриття Co-Mo-W демонструють зниження густини струму корозії (до 0,01–0,04 мм/рік) та більш стабільну пасиваційну поведінку в 3% NaCl, як порівняти з немодифікованими. Зсув потенціалу корозії у більш електронегативний бік свідчить про підсилення бар'єрних властивостей шару.

Модифікація ВНЧ забезпечує підвищення мікротвердості покриттів до 900–1100 МПа, що є помітно більшим за твердість індивідуальних металів Co, Mo, W та в 1,8–2,0 рази більшим за твердість підкладки зі сталі Ст.3. Наявність наноструктурованих центрів збільшення забезпечує локалізоване формування нанокристалів і зміцнення матеріалу.

Поєднання високої корозійної стійкості, підвищеної мікротвердості, однорідної наноструктури та стабільності електроліту робить покриття Co-Mo-W, модифіковані ВНЧ, перспективними для довготривалого захисту сталевих будівельних елементів і машинобудівних деталей. Такі покриття здатні суттєво збільшити термін експлуатації конструкцій, що використовують у хлоридовмісних і нейтральних середовищах із підвищеним зношуванням.

Література

1. Laszczyńska A., Kowalski B., Nowak C. Electrodeposited alloy electrodes in the Co-W-Mo system as highly efficient catalysts for hydrogen production from alkaline water electrolysis. *Materials Chemistry and Physics*. 2024. Vol. 314. P. 128876. DOI:10.1016/j.matchemphys.2023.128876.
2. Machine learning-informed development of high entropy alloys with enhanced corrosion resistance / H. C. Ozdemir et al. *Electrochimica Acta*. 2024. Vol. 476. P. 143722. DOI:10.1016/j.electacta.2023.143722.
3. Effect of process parameters on electrodeposition process of Co-Mo alloy coatings / X. Nan et al. *Coatings*. 2023. Vol. 13. № 4. P. 665–680. DOI: 10.3390/coatings13040665.
4. Corrosion behavior of the electrolytic ternary cobalt alloys with Mo(W) and Zr in alkaline solution / M. Ved' et al. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2019. Vol. 85. № 12. P. 96–109. DOI:10.33609/0041-6045.85.11.2019.96-109.
5. Hasan S. N., Xu M., Asselin E. Electrodeposition of metallic molybdenum and its alloys – a review. *Canadian Metallurgical Quarterly*. 2018. Vol. 58. № 1. P.1–18. DOI:10.1080/00084433.2018.1511252.

6. The induced co-deposition of Ni-Mo-W ternary alloy; Coatings for hardness and corrosion resistance applications / M. Ramaprakash et al. *Results in Surfaces and Interfaces*. 2024. Vol. 15. P. 100235. DOI:10.1016/j.rsufi.2024.100235.
7. Ved' M., Corrosion behavior of the electrolytic ternary cobalt alloys with Mo(W) and Zr in alkaline solution / M. Ved' et al. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2019. Vol. 85. № 12. P. 96–109. DOI:10.33609/0041-6045.85.11.2019.96-109.
8. The induced co-deposition of Ni-Mo-W ternary alloy; Coatings for hardness and corrosion resistance applications / M. Ramaprakash et al. *Results in Surfaces and Interfaces*. 2024. Vol. 15. P. 100235. DOI:10.1016/j.rsufi.2024.100235.
9. Arnaudova M., Lefterova E., Rashkov R. Corrosion behavior of electrodeposited nickel-based coatings with W, Mo, and TiOx. *Journal of Solid State Electrochemistry*. 2024. Vol. 28. P. 1657–1670. DOI:10.1007/s10008-023-05696-3.
10. Technological parameters of galvanic processes of formation of cobalt-based metal oxide composites / T. O. Nenastina et al. *Journal of Chemistry and Technologies*. 2022. Vol. 31. № 2. DOI:10.15421/jchemtech.v31i2.275741.
11. Гальванохімічні функціональні покриття тернарними сплавами кобальту з молибденом та вольфрамом: монографія / Ю. К. Гапон та ін. Харків, 2023. 134 с. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18836>
12. Co-Mo-W galvanic alloy application as cathode material in the industrial wastewater treatment processes / Y. Hapon et al. *Materials Science Forum*. 2021. Vol. 1038. P. 251–257. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.1038.251.
13. Myrzak V., Gotelyak A. V., Dikushar A. I. Size effects in the surface properties of electroplated alloys between iron group metals and tungsten. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2021. Vol. 57. № 4. P. 409–418. DOI: 10.3103/S1068375521040128.
- Corrosion behavior of the electrolytic ternary cobalt alloys with Mo(W) and Zr in alkaline solution. *Ukrainian Chemistry Journal*. Vol. 85. № 12. P. 96–109. DOI:10.33609/0041-6045.85.11.2019.96-109.
5. Hasan, S. N., Xu, M., Asselin, E. (2018). Electrodeposition of metallic molybdenum and its alloys – a review. *Canadian Metallurgical Quarterly*. Vol. 58. № 1. P. 1–18. DOI:10.1080/00084433.2018.1511252.
6. Ramaprakash, M., Samraj, A., Neelavannan, M. G., Rajasekaran, N. (2024). The induced co-deposition of Ni–Mo–W ternary alloy; Coatings for hardness and corrosion resistance applications. *Results in Surfaces and Interfaces*. Vol. 15. P. 100235. DOI:10.1016/j.rsufi.2024.100235.
7. Ved', M., Sakhnenko, N., Nenastina, T., Yermolenko, I., Proskurina, V., Volobuyev, M. (2019). Corrosion behavior of the electrolytic ternary cobalt alloys with Mo(W) and Zr in alkaline solution. *Ukrainian Chemistry Journal*. Vol. 85. № 12. P. 96–109. DOI:10.33609/0041-6045.85.11.2019.96-109.
8. Ramaprakash, M., Samraj, A. J., Neelavannan, M. G., Rajasekaran, N. (2024). The induced codeposition of Ni-Mo-W ternary alloy; Coatings for hardness and corrosion resistance applications. *Results in Surfaces and Interfaces*. Vol. 15. P. 100235. DOI:10.1016/j.rsufi.2024.100235.
9. Arnaudova, M., Lefterova, E., Rashkov, R. (2024). Corrosion behavior of electrodeposited nickel-based coatings with W, Mo, and TiOx. *Journal of Solid State Electrochemistry*. Vol. 28. P. 1657–1670. DOI:10.1007/s10008-023-05696-3.
10. Nenastina, T. O., Sakhnenko, M. D., Proskurina, V. O., Buhaievskiy, S. O. (2022). Technological parameters of galvanic processes of formation of cobalt-based metal oxide composites. *Journal of Chemistry and Technologies*. Vol. 31. № 2. DOI:10.15421/jchemtech.v31i2.275741.
11. Hapon, Yu. K., Slepuzhnikov, Ye. D., Chyrkina-Kharlamova, M. A., Hrytsyna, I. M., Haponenko, Yu. I. (2023). Halvanokhimichni funktsi-onalni pokryttia ternarnymi splavamy kobaltu z molibdenom ta volframom: monohrafiia. Kharkiv. 134 s. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/18836> [in Ukrainian].
12. Hapon, Y., Chyrkina, M., Tregubov, D., Romanova, O. (2021). Co-Mo-W galvanic alloy application as cathode material in the industrial wastewater treatment processes. *Materials Science Forum*. Vol. 1038. P. 251–257. DOI: 10.4028/www.scientific.net/msf.1038.251.
13. Myrzak, V., Gotelyak, A. V., Dikushar, A. I. (2021). Size effects in the surface properties of electroplated alloys between iron group metals and tungsten. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2021. Vol. 57. № 4. P. 409–418. DOI:10.3103/S1068375521040128.

References

Гапон Юліана Костянтинівна, к.т.н., доцент,
доцент каф. хімії та хімічної технології,
yuliano4kah21@gmail.com,
тел. +38 096-137-23-24,
ORCID 0000-0002-3304-5657
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого,
25, м. Харків, 61002, Україна.

Electrochemical modification of building material surfaces with coatings based on ternary Co-Mo-W alloys

Abstract. *The relevance of the problem.* Modern building materials are often exposed to aggressive environments, high humidity, temperature fluctuations, and mechanical stress, which leads to corrosion, microcracks, and loss of adhesion. Traditional methods of protecting metal structural elements do not always ensure long-term reliability, therefore the development of multifunctional electrochemical coatings that increase corrosion and wear resistance is a relevant scientific and technical task. **Goal.** Investigation of the process of electrodeposition of triple Co-Mo-W coatings from ammonium citrate electrolyte and determination of the effect of modification with carbon nanoparticles on morphology, structure, and functional properties. **Methodology.** Co-Mo-W coatings were deposited on copper and steel substrates from an ammonium citrate electrolyte containing cobalt, molybdenum, and tungsten salts. Some of the coatings were modified with carbon nanoparticles (CNPs) with a concentration of 0.1–0.2 g/dm³ in the working electrolyte. The surface morphology and chemical composition were determined by scanning electron microscopy. Corrosion resistance was evaluated by the polarization resistance method, and microhardness was evaluated by

*the diamond pyramid indentation method on a MMD-3 hardness tester. **Results.** With a coating composition of Co – 67.7–78.9 %, Mo – 7.9–17.9 %, W – 12.7–16.2 %, uniform fine-crystalline layers with high adhesion are formed. The introduction of HNC changes the surface morphology, reduces porosity, and forms spherical nanostructures, which ensures denser grain packing. The modified coatings have a microhardness of 950–1100 MPa and increased corrosion resistance of 0.01–0.04 mm/year. The electrolyte with CNPs remained stable throughout the process and provided a high current yield (62–86 %). **Scientific novelty.** It has been established that modification of the Co-Mo-W alloy with carbon nanoparticles changes the growth mechanism and morphology of coatings, contributing to the formation of dense, compact layers with increased corrosion and mechanical resistance. **Practical value.** The developed Co-Mo-W-CNP coatings can significantly extend the service life of metal elements of building structures and reinforcement, providing effective electrochemical protection against corrosion and wear under conditions of intensive use.*

Keywords: electrodeposition, Co-Mo-W coatings, carbon nanoparticles, morphology, corrosion resistance, microhardness, ammonium citrate electrolyte, surface modification.

Hapon Yuliana, Ph.D. (Engineering), Associate Professor, Department of Chemistry and Chemical Technology, yuliano4kah21@gmail.com, tel. +38 096-137-23-24, ORCID 0000-0002-3304-5657
Kharkiv National Automobile and Highway University, 25 Yaroslava Mudroho St., Kharkiv, 61002, Ukraine.