УДК 544.65

О.Д. Сухацький, Т.Є. Бутиріна, Д.А. Шайдеров, В.С. Проценко, Ф.Й. Данилов

КОРОЗІЙНО-ЕЛЕКТРОХІМІЧНА ПОВЕДІНКА СПЛАВУ Ni–Mo, ОСАДЖЕНОГО З ЕЛЕКТРОЛІТУ НА ОСНОВІ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНИХ ЕВТЕКТИЧНИХ РОЗЧИННИКІВ

Український державний університет науки і технологій, м. Дніпро, Україна

У роботі встановлено закономірності корозійно-електрохімічної поведінки нікелевих і нікель-молібденових покриттів, електроосаджених з електролітів на основі низькотемпературних евтектичних розчинників, у водному розчині 3% NaCl. Покриття осаджували з евтектичних сумішей холін хлориду з етиленгліколем (ethaline) та карбамідом (reline) при різних густинах струму; для порівняння використовували нікелеві покриття, одержані з традиційного водного сульфатно-хлоридного електроліту. Корозійні характеристики визначали методом потенціодинамічної поляризації з подальшим тафелевським аналізом для розрахунку густини струму корозії, корозійного потенціалу та поляризаційного опору. Показано, що покриття, сформовані з електролітів на основі низькотемпературних евтектичних розчинників, характеризуються вищою корозійною стійкістю порівняно з покриттями, осадженими з водного електроліту. Встановлено, що введення молібдену до складу осаду сприяє зниженню густини струму корозії та зростанню поляризаційного опору, причому підвищення вмісту Mo у сплаві супроводжується покращенням антикорозійних властивостей покриттів. Показано також, що за однакового вмісту молібдену покриття, осаджені з електроліту на основі reline, демонструють вищу корозійну стійкість, ніж покриття, осаджені з ethaline, що пов'язано з більшим вмістом вуглецю та кисню у таких покриттях і формуванням додаткового бар'єрного шару на поверхні.

Ключові слова: низькотемпературні евтектичні розчинники, електроосадження, сплав, нікель-молібден, корозійна стійкість, густина струму корозії, поляризаційний опір.

DOI: 10.32434/0321-4095-2026-165-2-52-58

Вступ

Електроосаджені сплави нікель-молібден проявлять низку покращених властивостей у порівнянні з «чистим» нікелевим покриттям, зокрема підвищені мікротвердість, зносостійкість, корозійну стійкість і електрокаталітичну активність [1–7]. Традиційним водним електролітам для електролітичного осадження сплаву Ni–Mo притаманна низка недоліків, пов'язаних із специфічними хімічними і електрохімічними властивостями сполук молібдену у водному розчині (мала розчинність молібденової кислоти у кислому середовищі, вельми негативне значення стандартного електродного потенціалу тощо). Тому розглядаються альтернативні неводні системи для осадження нікель-молібденових покриттів, серед яких одними з найперспективніших видаються розчини на основі так званих низькотемпера-

© О.Д. Сухацький, Т.Є. Бутиріна, Д.А. Шайдеров, В.С. Проценко, Ф.Й. Данилов, 2026

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

турних евтектичних розчинників (англ. deep eutectic solvent, DES). Низькотемпературні евтектичні розчинники є евтектичними сумішами – аналогами іонних рідин, що відрізняються доступністю, простотою синтезу, різноманітними екологічними і економічними перевагами [8]. На даний час у літературі описано електрохімічне осадження сплаву нікель-молібден з розчинів на основі деяких різновидів DES [9–11]. Зокрема, у наших попередніх дослідженнях [12,13] показана можливість осадження нанокристалічного сплаву Ni–Mo з електролітів на основі евтектичних сумішей холін хлориду з етиленгліколем (ethaline) та сечовиною (reline), що можуть бути використані як ефективні електрокаталізатори у катодному синтезі «зеленого» водню з лужних розчинів. Метою даного дослідження є встановлення закономірностей корозійно-електрохімічної поведінки покриттів, осаджених з електролітів на основі DES, описаних у [12,13], у агресивному водному середовищі 3% NaCl.

Методика експерименту

Методика приготування електролітів для осадження покриттів була детально описана у попередніх публікаціях [12,13]. Концентрація компонентів розчинів та їх умовне позначення наведені у табл. 1. Покриття сплавом нікель-молібден осаджували при катодних густинах струму 10, 20 і 30 мА/см^2 при температурі 25^{0}С. Покриття «чистим» нікелем (без додавання молібденвмісної солі до електроліту) осаджували при густині струму 10 мА/см^2 і температурі 25^{0}С. З метою порівняння корозійної поведінки осаджували покриття із традиційного водного сульфатно-хлоридного електроліту нікелювання, склад якого наведено у табл. 1, при густині струму 10 мА/см^2 і температурі 25^{0}С. Всі покриття осаджували на сталеві підкладки – знежирені і протравлені у розчині хлоридної кислоти пластинки зі сталі Ст3 (робоча площа поверхні 1 см^2). Товщина всіх покриттів становила приблизно 20 мкм.

Осаджені на сталеву основу покриття ретельно промивали у дистильованій воді, висушували у повітрі холодного повітря і занурювали у агресивне середовище 3%-вого розчину NaCl, термостатованого при температурі 25^{0}С за умов природної аерації. Після експозиції покриття в цьому розчині протягом 2 годин і стабілізації стаціонарного потенціалу (зміни не більше 5 мВ/хв) накладали розгортку потенціалу зі швидкістю 1 мВ/с від стаціонарного потенціалу спочатку у катодному напрямку, а потім у анодному. Використовували потенціостат Reference 3000, протиелектродом слугувала платинова пластинка, електродом порівняння – насичений хлорсрібний. Потенціали перераховували у шкалу стандартного водневого електрода. Обробку отриманих поляризаційних кривих проводили у координатах «логарифм густини струму–потенціал». Густину струму корозії і потенціал корозії визначали шляхом інтерполяції лінійних ділянок анодного і катодного сегментів поляризаційної кривої.

Результати і обговорення

На рисунку 1 наведено потенціодинамічні поляризаційні криві, що характеризують корозійно-електрохімічну поведінку нікелевих та нікель-молібденових покриттів у водному розчині 3% NaCl. Криві побудовані у напівлогарифмічних координатах «логарифм густини струму–потенціал», що дозволяє більш чітко виділити ділянки тафелевської залежності. Як видно з наведених даних, у безпосередній близькості до корозійного потенціалу на поляризаційних кривих добре простежуються лінійні ділянки як на катодному, так і на анодному сегментах. Нахили цих ділянок становлять приблизно 100–120 мВ для катодної гілки та близько 200 мВ для анодної (табл. 2), що свідчить про можливість коректного

Таблиця 1

Умовні позначення електролітів для осадження покриттів та їх хімічний склад [12,13]

Умовне позначення електроліту	Розчинник	Концентрація Ni(II), М	Концентрація Mo(VI), М	Вміст інших компонентів, pH
Ni_eth	ethaline*	0,25	–	0,5 М $C_6H_8O_7{\cdot}H_2O$
Ni_rel	reline**			
Ni-Mo_eth	ethaline*		0,25	
Ni-Mo_rel	reline**			
Ni_aq	вода	1,10	–	250 г/дм^3 $NiSO_4{\cdot}7H_2O$, 50 г/дм^3 $NiCl_2{\cdot}6H_2O$ і 30 г/дм^3 H_3BO_3, pH 4

Примітка: * – евтектична суміш холін хлориду і етиленгліколю (1:2 мол.); ** – евтектична суміш холін хлориду і карбаміду (1:2 мол.)

застосування тафелевської екстраполяції для визначення основних корозійних параметрів.

Екстраполяція лінійних відрізків анодної та катодної гілок до точки їх перетину дозволила визначити густину струму корозії та корозійний потенціал для досліджуваних покриттів. Отримані значення наведено в табл. 2. У цій же таблиці подано розраховані значення поляризаційного опору корозійного процесу, визначені за формулою:

$$R_P = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2{,}303 \cdot j_{corr} \cdot (\beta_a + \beta_c)},$$

де R_p – поляризаційний опір корозійного процесу, j_{corr} – густина струму корозії, β_a і β_c – тафелевські нахили анодної і катодної гілок поляризаційної кривої, відповідно.

Поляризаційний опір є інтегральним параметром, що характеризує швидкість корозійного процесу: чим більшим є значення R_p, тим меншою є швидкість корозійного руйнування матеріалу у даному середовищі.

Аналіз отриманих результатів показує, що, як і випливає з наведеного вище співвідношення для поляризаційного опору, зі зменшенням густини струму корозії значення R_p зростає, що відповідає підвищенню корозійної стійкості покриття. Із наведених у табл. 2 даних видно, що нікелеве покриття, осаджене з водного сульфатно-хлоридного електроліту, характеризується найбільш негативним значенням корозійного потенціалу та найбільшою густиною струму корозії, що свідчить про його найменшу стійкість до корозійного руйнування в досліджуваному середовищі. Натомість нікелеві покриття, одержані з електролітів на основі низькотемпературних евтектичних розчинників, демонструють суттєво нижчі значення густини струму корозії і, відповідно, вищі значення поляризаційного опору, що вказує на їх кращі антикорозійні властивості порівняно з покриттями, осадженими з водного електроліту.

Введення молібдену до складу осаду приводить до подальшого покращення корозійних характеристик покриттів. Зокрема, зі збільшенням вмісту Mo спостерігається помітне зниження густини струму корозії та відповідне зростання поляризаційного опору, що свідчить про підвищення корозійної стійкості Ni–Mo покриттів (рис. 2). Таким чином, вміст молібдену в осаді є одним з ключових факторів, які визначають захисні властивості сформованих покриттів. Імовірно, позитивний ефект молібдену пов'язаний з формуванням на поверхні покриття щільної пасивної плівки, до складу якої входять оксиди ніке-

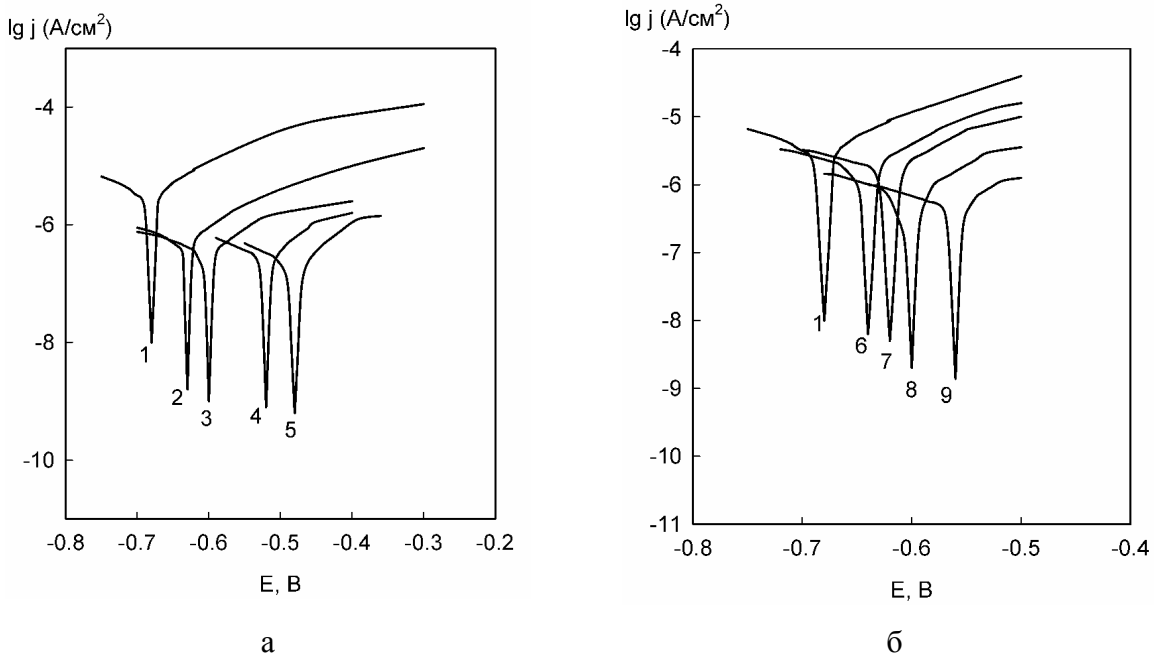

Рис. 1. Потенціодинамічні поляризаційні криві нікелевих і нікель-молібденових покриттів, електроосаджених з електролітів на основі reline (а) та ethaline (б) при різних густинах струму: 1 – Ni_aq, 10 мА/см²; 2 – Ni_rel, 10 мА/см²; 3 – Ni-Mo_rel, 10 мА/см²; 4 – Ni-Mo_rel, 30 мА/см²; 5 – Ni-Mo_rel, 20 мА/см²; 6 – Ni_eth, 10 мА/см²; 7 – Ni-Mo_eth, 20 мА/см²; 8 – Ni-Mo_eth, 10 мА/см²; 9 – Ni-Mo_eth, 30 мА/см². Корозійне середовище – 3% розчин NaCl (25°C)

лю та молібдену. Така плівка здатна до часткового самовідновлення у разі локального пошкодження і виконує роль ефективного бар'єра, що перешкоджає проникненню агресивних компонентів корозійного середовища до поверхні металу [7].

Водночас, аналіз отриманих результатів показує, що за близького вмісту молібдену покриття, електроосаджені з електроліту на основі reline, характеризуються вищою корозійною стійкістю порівняно з покриттями, сформованими з ethaline (рис. 2, табл. 2). Це свідчить про те, що вміст молібдену не є єдиним фактором, який визначає корозійні властивості досліджуваних покриттів. При аналізі корозійної поведінки осадів, одержаних з електролітів на основі DES, необхідно враховувати також можливе включення до їх складу інших елементів, зокрема кисню та, особливо, вуглецю (табл. 2). Джерелом цих елементів є органічні компоненти електроліту, які можуть адсорбуватися на катодній поверхні або зазнавати електрохімічних і хімічних перетворень у прикатодному шарі та в подальшому інкорпоруватися до зростаючого покриття [14]. Наявність у структурі покриття вуглецю та його сполук, імовірно, сприяє формуванню додаткового бар'єрного шару, який утруднює проникнення агресивних компонентів середовища до поверхні металу. Встановлено, що покриття, осаджені з електроліту на основі reline, містять більшу кількість вуглецю порівняно з покриттями, отриманими з ethaline

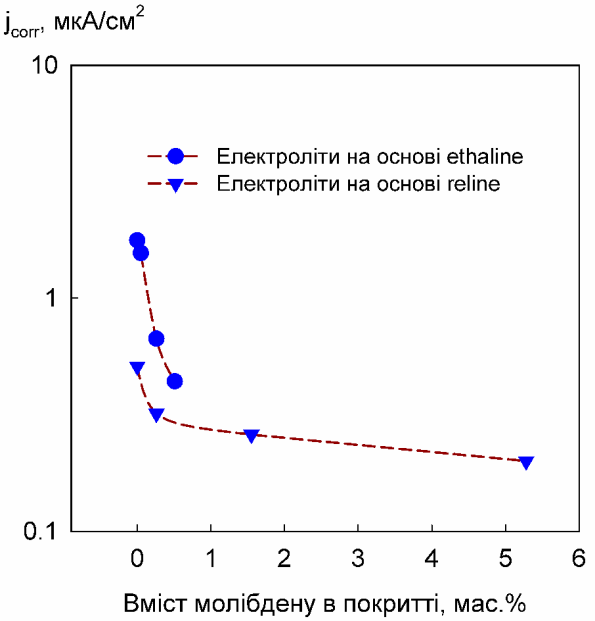

Рис. 2. Залежність густини струму корозії від вмісту молібдену в осаді для покриттів, електроосаджених з електролітів на основі ethaline та reline

(табл. 2), що, найімовірніше, і обумовлює їх підвищену корозійну стійкість.

Слід також підкреслити, що покриття, сформовані з електролітів на основі низькотемпературних евтектичних розчинників, загалом демонструють значно вищу стійкість до корозійного руйнування порівняно з покриттями, осадженими з традиційних водних електролітів. Так, згідно з літературними даними [7], для Ni–Mo покриттів, отриманих з водних розчинів, у розчині 3,5% NaCl поляризаційний опір зазвичай не перевищує приблизно 61 кОм/см^2 навіть при відносно високому вмісті молібдену (близько 40 мас.%). Натомість у проведених нами експериментах, за значно меншого вмісту молібдену в осаді (приблизно 5 мас.%), значення поляризаційного опору у 3% розчині NaCl досягає близько 148 кОм/см^2. Ймовірно, такий ефект пов'язаний із формуванням на поверхні покриття пасивної захисної плівки, збагаченої вуглецем та його сполуками, що додатково підвищує її бар'єрні властивості та стабільність у агресивному середовищі.

Таким чином, результати потенціодинамічних вимірювань свідчать, що використання електролітів на основі низькотемпературних евтектичних розчинників дозволяє одержувати Ni–Mo покриття з підвищеною корозійною стійкістю у хлоридних середовищах. Важливими чинниками, що визначають антикорозійні властивості таких покриттів, є як вміст молібдену, так і інкорпорація неметалічних елементів (зокрема вуглецю), що сприяють формуванню ефективного захисного шару на поверхні осаду.

Висновки

Показано, що нікелеві та нікель-молібденові покриття, електроосаджені з електролітів на основі низькотемпературних евтектичних розчинників, характеризуються вищою корозійною стійкістю у 3% розчині NaCl порівняно з покриттями, одержаними з традиційного водного сульфатно-хлоридного електроліту нікелювання. Встановлено, що збільшення вмісту молібдену в осаді супроводжується зменшенням густини струму корозії та зростанням поляризаційного опору, що свідчить про підвищення корозійної стійкості Ni–Mo покриттів. Показано також, що покриття, осаджені з електроліту на основі reline, характеризуються вищими антикорозійними властивостями порівняно з покриттями, отриманими з ethaline, що, ймовірно, пов'язано з особливостями їх елементного складу. Отримані результати підтверджують перспективність використання електролітів на основі низькотемпературних ев-

Таблиця 2

Вміст молібдену, вуглецю і кисню у покриттях, осаджених з електролітів різного складу, та параметри електрохімічної корозії в агресивному середовищі 3% NaCl

Електроліт	Густина струму осадження, мА/см^2	Вміст молібдену в покритті, мас.%	Вміст вуглецю в покритті, мас.%	Вміст кисню в покритті, мас.%	Корозійний потенціал, В	Тафелевський нахил анодної ділянки, мВ	Тафелевський нахил катодної ділянки, мВ	Густина струму корозії, мкА/см^2	Поляризаційний опір, кОм/см^2
Ni_aq	10	–	–	–	–0,68	0,135	0,215	3,12	11,541
Ni_rel	10	–	9,40	9,05	–0,63	0,120	0,284	0,51	71,821
Ni_eth	10	–	3,93	1,34	–0,64	0,115	0,243	1,77	19,149
Ni-Mo_eth	20	0,05	3,53	2,53	–0,62	0,114	0,237	1,56	21,425
Ni-Mo_rel	10	0,26	8,61	10,28	–0,60	0,118	0,230	0,32	105,824
Ni-Mo_eth	10	0,26	3,77	2,87	–0,60	0,108	0,220	0,67	46,947
Ni-Mo_eth	30	0,51	3,89	3,12	–0,56	0,101	0,210	0,44	67,303
Ni-Mo_rel	30	1,55	18,59	23,21	–0,52	0,110	0,195	0,26	117,452
Ni-Mo_rel	20	5,28	7,74	11,19	–0,48	0,108	0,183	0,20	147,454

тектичних розчинників для формування корозійностійких Ni–Mo покриттів.

Конфлікт інтересів

Проценко В.С. і Данилов Ф.Й. є членами редакційної колегії журналу, проте вони не брали участі в процесі рецензування та прийнятті рішення щодо публікації цієї статті. Інші автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Electrodeposition* of Ni–Mo alloys and composite coatings: a review and future directions / Wen Y., Zhao Y., Zhang Z., Wu Y., Zhu H., Xu K., Liu Y. // J. Manuf. Process. – 2024. – Vol.119. – P.929-951.

2. *Effect* of anodic treatment on the electrocatalytic activity of electrodeposited Ni-Mo coatings as cathode materials for hydrogen evolution reaction / Korniy S.A., Halaichak S.A., Chuchman M.R., Vynar V.A., Datsko B.M. // Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp. – 2025. – Vol.705. – Art. No. 135677.

3. *Effect* of duty cycle on NiMo alloys prepared by pulsed electrodeposition for hydrogen evolution reaction / Llorente V.B., Diaz L.A., Lacconi G.I., Abuin G.C., Franceschini E.A. // J. Alloys Compd. – 2022. – Vol.897. – Art. No. 163161.

4. *Gonsalves C.N., Hegde A.C.* Development of corrosion-resistant Ni–Mo coatings from low-concentration bath: effect of magnetoconvection // Mater. Sci. Technol. – 2021. – Vol.37. – P.1187-1198.

5. *Ni–Mo nanostructure* alloys as effective electrocatalysts for green hydrogen production in an acidic medium / Kamel M.M., Abd-Ellah A.A., Alhadhrami A., Ibrahim M.M., Anwer Z.M., Shata S.S., Mostafa N.Y. // RSC Adv. – 2025. – Vol.15. – P.1344-1357.

6. *Tribological* and corrosion behavior of Ni–Mo coatings electrodeposited at varying current densities / Gholizadeh T., Etminanfar M., Ahmadi N.P., Mahdavi S. // Metall. Mater. Trans. A. – 2026. – Vol.57. – P.716-733.

7. *Mosayebi S., Rezaei M., Mahidashti Z.* Comparing corrosion behavior of Ni and Ni-Mo electroplated coatings in chloride mediums // Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Asp. – 2020. – Vol.594. – Art. No. 124654.

8. *Abbott A.P.* Deep eutectic solvents and their application in electrochemistry // Curr. Opin. Green Sustainable Chem. – 2022. –Vol.36. – Art. No. 100649.

9. *Investigation* of Ni-Mo and Co-Mo alloys electrodeposition involving choline chloride based ionic liquids / Costovici S., Manea A.C., Visan T., Anicai L. // Electrochim. Acta. – 2016. – Vol.207. – P.97-111.

10. *Ni–Mo alloy* nanostructures as cathodic materials for hydrogen evolution reaction during seawater electrolysis / Golgovici F., Pumnea A., Petica A., Manea A.C., Brincoveanu O., Enachescu M., Anicai L. // Chem. Pap. – 2018. – Vol.72. – P.1889-1903.

11. *Electrodeposition* of Ni–Mo alloy coatings from choline chloride and propylene glycol deep eutectic solvent plating bath / Niciejewska A., Ajmal A., Pawlyta M., Marczewski M., Winiarski J. // Sci. Rep. – 2022. – Vol.12. – Art. No. 18531.

12. *Electrodeposited* Ni–Mo coatings as electrocatalytic materials for green hydrogen production / Protsenko V.S., Bobrova L.S., Butyrina T.E., Baskevich A.S., Korniy S.A., Danilov F.I. // Heliyon. – 2023. – Vol.9. – Art. No. e15230.

13. *Electrocatalytic* behavior of Ni–Mo alloy electrodeposited from deep eutectic solvents-assisted plating baths: electrochemical impedance spectroscopy study / Protsenko V.S., Bobrova L.S., Sukhatskyi O.D., Danilov F.I. // Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii. – 2024. – No. 1. – P.81-88.

14. *Protsenko V., Bobrova L., Danilov F.* Trivalent chromium electrodeposition using a deep eutectic solvent // Anti-Corros. Methods Mater. – 2018. – Vol.65. – P.499-505.

Надійшла до редакції 23.10.2025
Надійшла після виправлення 01.02.2026
Прийнята до публікації 04.03.2026
Опублікована 28.04.2026

CORROSION–ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF Ni–Mo ALLOY ELECTRODEPOSITED FROM AN ELECTROLYTE BASED ON DEEP EUTECTIC SOLVENTS

O.D. Sukhatskyi* *, T.E. Butyrina, D.A. Shaiderov, V.S. Protsenko, F.I. Danilov

Ukrainian State University of Science and Technologies, Dnipro, Ukraine

* **e-mail: aleksandrsuhackij2@gmail.com**

The corrosion–electrochemical behavior of nickel and nickel–molybdenum coatings electrodeposited from electrolytes based on deep eutectic solvents (DES) in a 3% NaCl aqueous solution was examined. The coatings were deposited from eutectic mixtures of choline chloride with ethylene glycol (ethaline) and urea (reline) at different current densities; for comparison, nickel coatings prepared using a conventional aqueous sulfate–chloride nickel-plating electrolyte were also studied. The corrosion characteristics were determined by potentiodynamic polarization with subsequent Tafel analysis to calculate the corrosion current density, corrosion potential, and polarization resistance. It was shown that coatings deposited from DES-based electrolytes exhibit higher corrosion resistance than those obtained from the aqueous electrolyte. The incorporation of molybdenum into the deposit was found to decrease the corrosion current density and increase the polarization resistance, while an increase in the Mo content in the alloy leads to further improvement in the anticorrosion properties of the coatings. It was also shown that, at similar molybdenum contents, coatings deposited from the reline-based electrolyte exhibit higher corrosion resistance than those obtained from ethaline, which is associated with the higher carbon and oxygen contents in such coatings and the formation of an additional barrier layer on the surface.

Keywords: deep eutectic solvents; electrodeposition; alloy; nickel–molybdenum; corrosion resistance; corrosion current density; polarization resistance.

REFERENCES

1. Wen Y, Zhao Y, Zhang Z, Wu Y, Zhu H, Xu K, et al. Electrodeposition of Ni–Mo alloys and composite coatings: a review and future directions. *J Manuf Process*. 2024; 119: 929-951. doi: 10.1016/j.jmapro.2024.03.099.

2. Korniy SA, Halaichak SA, Chuchman MR, Vynar VA, Datsko BM. Effect of anodic treatment on the electrocatalytic activity of electrodeposited Ni-Mo coatings as cathode materials for hydrogen evolution reaction. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*. 2025; 705: 135677. doi: 10.1016/j.colsurfa.2024.135677.

3. Llorente VB, Diaz LA, Lacconi GI, Abuin GC, Franceschini EA. Effect of duty cycle on NiMo alloys prepared by pulsed electrodeposition for hydrogen evolution reaction. *J Alloys Compd*. 2022; 897: 163161. doi: 10.1016/j.jallcom.2021.163161.

4. Gonsalves CN, Hegde AC. Development of corrosion-resistant Ni–Mo coatings from low-concentration bath: effect of magnetoconvection. *Mater Sci Technol*. 2021; 37: 1187-1198. doi: 10.1080/02670836.2021.1987696.

5. Kamel MM, Abd-Ellah AA, Alhadhrami A, Ibrahim MM, Anwer ZM, Shata SS, et al. Ni–Mo nanostructure alloys as effective electrocatalysts for green hydrogen production in an acidic medium. *RSC Adv*. 2025; 15: 1344-1357. doi: 10.1039/D4RA08619H.

6. Gholizadeh T, Etminanfar M, Ahmadi NP, Mahdavi S. Tribological and corrosion behavior of Ni–Mo coatings electrodeposited at varying current densities. *Metall Mater Trans A*. 2026; 57: 716-733. doi: 10.1007/s11661-025-08048-0.

7. Mosayebi S, Rezaei M, Mahidashti Z. Comparing corrosion behavior of Ni and Ni-Mo electroplated coatings in chloride mediums. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*. 2020; 594: 124654. doi: 10.1016/j.colsurfa.2020.124654.

8. Abbott AP. Deep eutectic solvents and their application in electrochemistry. *Curr Opin Green Sustainable Chem*. 2022; 36: 100649. doi: 10.1016/j.cogsc.2022.100649.

9. Costovici S, Manea AC, Visan T, Anicai L. Investigation of Ni-Mo and Co-Mo alloys electrodeposition involving choline chloride based ionic liquids. *Electrochim Acta*. 2016; 207: 97-111. doi: 10.1016/j.electacta.2016.04.173.

10. Golgovici F, Pumnea A, Petica A, Manea AC, Brincoveanu O, Enachescu M, et al. Ni–Mo alloy nanostructures as cathodic materials for hydrogen evolution reaction during seawater electrolysis. *Chem Pap*. 2018; 72: 1889-1903. doi: 10.1007/s11696-018-0486-7.

11. Niciejewska A, Ajmal A, Pawlyta M, Marczewski M, Winiarski J. Electrodeposition of Ni–Mo alloy coatings from choline chloride and propylene glycol deep eutectic solvent plating bath. *Sci Rep*. 2022; 12: 18531. doi: 10.1038/s41598-022-22007-4.

12. Protsenko VS, Bobrova LS, Butyrina TE, Baskevich AS, Korniy SA, Danilov FI. Electrodeposited Ni–Mo coatings as electrocatalytic materials for green hydrogen production. *Heliyon*. 2023; 9: e15230. doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e15230.

13. Protsenko VS, Bobrova LS, Sukhatskyi OD, Danilov FI. Electrocatalytic behavior of Ni–Mo alloy electrodeposited from deep eutectic solvents-assisted plating baths: electrochemical impedance spectroscopy study. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2024; (1): 81-88. doi: 10.32434/0321-4095-2024-152-1-81-88.

14. Protsenko V, Bobrova L, Danilov F. Trivalent chromium electrodeposition using a deep eutectic solvent. *Anti-Corros Methods Mater*. 2018; 65: 499-505. doi: 10.1108/ACMM-05-2018-1946.