

УДК 621.35

doi:10.20998/2413-4295.2021.03.08

ЕЛЕКТРОХІМІЧНЕ ОСАДЖЕННЯ СПЛАВУ КОБАЛЬТУ

**Т. О. НЕНАСТІНА^{1*}, М. Д. САХНЕНКО², В. О. ПРОСКУРИНА³, А. М. КОРОГОДСЬКА³,
Н. В. ГОРОХІВСЬКА²**

¹ кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, УКРАЇНА

² кафедра фізичної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА

³ кафедра загальної та неорганічної хімії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА

*e-mail: nenastina@ukr.net

АНОТАЦІЯ Електроосадження сплавів кобальту з тугоплавкими металами дозволяє отримувати покриття з унікальним поєднанням фізико-хімічних властивостей, недосяжних при використанні інших методів нанесення. Для осадження якісних покриттів сплавом кобальт - ванадій запропоновано використання цитратного електроліту. Покриття Co-V осаджували на сталеві зразки з цитратного електроліту при температурі 35-40 °C і густині струму 6-12 А/дм², використовуючи кобальтові розчинні аноди. Вміст ванадію у покритті, осадженого при концентрації ліганду 0,3 моль/дм³, становить 0,1-0,5 мас.%. Підвищення концентрації ліганду до 0,4 моль/дм³ сприяє зв'язуванню кобальту в комплекси, а відповідно, вміст ванадію у покритті зростає до 0,6-1,2 мас.%. Причому тенденція зміни відсотку легувальних елементів з густиною струму зберігається. Осадженні покриття щільні, блискучі, без внутрішніх напружень і тріщин. Запропоновано склади електролітів і режими осадження покриттів Co-V з вмістом ванадію до 1,5 мас.% та виходом за струмом 50%. Встановлено, що покриття Co-V відрізняються підвищеним вмістом вуглецю і являють собою тверді розчини заміщення, а морфологія поверхні отриманих покриттів істотно залежить від густини струму і змінюється від дрібнокристалічної до глобулярної сферичної. Оптимальною густиною струму для отримання якісних покриттів сплавом кобальту в гальваностатичному режимі є $i_k = 10$ А/дм². Управління складом гальванічних сплавів кобальту в досить широкому діапазоні концентрацій сплавотвірних компонентів досягається варіюванням параметрів електролізу, що дозволяє адаптувати технологію нанесення до потреб сучасного ринку

Ключові слова: електролітичне покриття; сплави кобальту; густина струму; вихід за струмом; мікротвердість; ванадій

ELECTROCHEMICAL DEPOSITION OF COBALT ALLOY

**T. NENASTINA¹, M. VED², M. SAKHNENKO², V. PROSKURINA³, A. KOROHODSKA³,
N. HOROKHIVSKA²**

¹ Department of Technologies of Road-Building Materials and Chemistry, Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, UKRAINE

² Department of Physical Chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

³ Department of General and Inorganic Chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT Electrodeposition of cobalt alloys with refractory metals makes it possible to obtain coatings with a unique combination of physicochemical properties that are unattainable using other deposition methods. For the deposition of high-quality coatings with a cobalt-vanadium alloy, it is proposed to use a citrate electrolyte. Co-V coating was deposited on steel samples from citrate electrolyte at a temperature of 35-40 °C and a current density of 5-12 A/dm² using soluble cobalt anodes. The vanadium content in the coating deposited at a ligand concentration of 0.3 mol / dm³ is 0.1-0.5 wt%. An increase in the concentration of the ligand to 0.4 mol / dm³ promotes the binding of cobalt into complexes, and, accordingly, the vanadium content in the coating increases to 0.6-1.2 wt%. Moreover, the tendency to change the percentage of alloying elements with current density remains. Deposition coatings are dense, shiny, without internal stresses and cracks. The proposed compositions of electrolytes and modes of deposition of Co-V coatings with a vanadium content of up to 1.5 wt.% And a current efficiency of 50%. It was found that Co-V coatings are characterized by increased carbon content and are substitutional solid solutions, and the surface morphology of the obtained coatings depends significantly on the current density and changes from fine-crystalline to globular spheroid. The optimal current density for obtaining high-quality coatings with a cobalt alloy in a galvanostatic mode is $i_k = 10$ A / dm². Management of the storage of galvanic cobalt alloys in a quite wide range of concentrations of alloy-forming components is achieved by varying the electrolysis parameters, which allows the deposition technology to be adapted to the needs of the modern market.

Keywords: electrolytic coating; cobalt alloys; current density; current output; microhardness; vanadium

Вступ

Проблема формування функціональних покриттів, що поєднують корозійну тривкість, твердість, зносостійкість і каталітичну активність, є

вирішальною у створенні новітніх матеріалів, застосування яких значною мірою зумовило прогрес у багатьох галузях сучасних технологій.

До переваг електрохімічних методів осадження тонкоплівкових багатокомпонентних систем,

безумовно, відноситься можливість гнучкого керування вмістом компонентів, швидкістю осадження, станом поверхні за рахунок зміни складу електролітів і режимів поляризації (статичні або імпульсні, зворотний струм або зменшення потенціалу), що дозволяє одержувати покриття різного якісного та кількісного складу і з бажаним комплексом функціональних властивостей. Простота електрохімічного осадження, доступність контролю і управління складом матеріалу і технологічним процесом, порівняно з іншими методами, а також можливість створення локальних технологічних модулів дозволяє вважати такий метод найбільш зручним і економічно вигідним.

Підвищений інтерес дослідників і технологів до електролітичних тонкоплівкових покриттів сплавами металів тріади заліза з тугоплавкими елементами, зокрема ванадієм, молібденом і вольфрамом, обумовлено можливістю одержання матеріалів, функціональні властивості і експлуатаційні характеристики яких істотно перевищують характеристики сплавотвірних компонентів [1–4]. Це відкриває перспективи для розширення галузей застосування таких покриттів та вирішення практичних задач створення нових і вдосконалення вже існуючих електрохімічних технологій зміцнення [5–7] та захисту від корозії [8, 9] поверхонь деталей машин.

Сполуки ванадію (V) можуть бути відновлені з водних кислих розчинів електролізом до чотири-, три- або двовалентного стану. Виділити металевий ванадій з водних розчинів його сполук на катоді не вдається через низьку перенапругу розряду іонів водню на ванадії. Реально досяжним є електрохімічне осадження сплавів, до складу яких входить ванадій [10–13].

Наявність в сплавах Co-V металів з різною спорідненістю до водню та кисню створює передумови для використання таких систем як електрокаталітичних матеріалів для синтезу водню [14], каталізаторів і електродних матеріалів для паливних елементів і Red-Ox проточних батарей [15, 16]. Також доведена можливість використання багатокомпонентних покриттів як матеріалів для каталітичних нейтралізаторів токсичних емісій [17].

Для осадження бінарних і потрійних сплавів кобальту з тугоплавкими металами частіше використовують розчини цитратних, хлоридно-цитратних, дифосфатних і дифосфатно-цитратних комплексів, а введення до складу електролітичної ванни ЕДТА сприяє збільшенню вмісту в сплаві тугоплавких компонентів.

Попри наявні дані, інформація щодо одержання сплавів з ванадієм є дуже обмеженою.

Мета роботи

Мета роботи полягає у встановленні можливості електрохімічного осадження якісних

покриттів сплавом кобальт-ванадій з нетоксичних електролітів.

Методика виконання експерименту

Покриття ванадійвмісними сплавами наносили з цитратного електроліту наступного складу, моль/дм³: CoSO₄·7H₂O–0,15–0,2; V₂O₅–0,1–0,2; Na₃Cit·2H₂O–0,3–0,4. Електроліт готували з аналітично чистих реактивів, які розчиняли в невеликій кількості дистильованої води, після чого розчин змішували у певній послідовності, ґрунтуючись на результатах дослідження іонних рівноваг [18].

Нанесення покриттів на підкладки з міді (M0) розміром 1 см², у гальваностатичному режимі здійснювали з використанням джерела постійного струму Б5-47, при густині струму 5–15 А/дм², із застосуванням кобальтових анодів та температурі 35–40°C. Співвідношення площі катода і анода дотримували у межах 1:(5–7), об'ємну густину струму підтримували на рівні 2 А/дм³.

Хімічний склад одержаних покриттів визначали рентгенофлуоресцентним методом з використанням портативного спектрометра «СПРУТ», що має відносно стандартне відхилення 10⁻³–10⁻². Аналіз проводився мінімум у 3 точках з наступним усередненням отриманих значень [19]. Похибка визначення вмісту компонентів становила ± 1 мас.%. Для верифікації результатів проводили енергодисперсійну рентгенівську спектроскопію із застосуванням електронно-зондового мікроаналізатора Oxford INCA Energy 350 (збудження рентгенівського випромінювання здійснювали опроміненням зразків пучком електронів з енергією 15 кеВ), інтегрованого у систему скануючого електронного мікроскопа (СЕМ). Морфологію поверхні досліджували за допомогою СЕМ ZEISS EVO 40XVP (ФМІ ім. Г. В. Карпенка НАНУ). Зображення отримували реєстрацією вторинних електронів шляхом сканування електронним пучком, що дозволило робити вимірювання з високою роздільною здатністю і контрастністю [20, 21]. Фотографії поверхні отримували при збільшенні 100–5000 разів. Обробку зображення проводили із застосуванням програмного середовища SmartSEM.

Обговорення результатів

Дослідження впливу режимів електролізу на склад, структуру та вихід за струмом композиційних покриттів сплавами Co-V, а також встановлення їхнього взаємозв'язку з властивостями синтезованих сплавів є основою для рекомендацій щодо застосування матеріалів.

Вміст ванадію у покритті, осадженому при концентрації ліганду 0,3 моль/дм³ становить 0,1–0,5 мас.% залежно від вмісту оксиду ванадію в розчині й густини струму. Істотно, що з підвищенням

густини струму і концентрації ванадію в електроліті покриття збагачується ванадієм. Покриття щільні, блискучі, без внутрішніх напружень та тріщин. Підвищення концентрації ліганду до 0,4 моль/дм³ сприяє зв'язуванню кобальту у комплекси, а відповідно, вміст ванадію у покритті зростає до 0,6–1,2 мас. %.

Найбільш наочним виявився вплив густини струму на морфологію поверхні (рис. 1) і мікротвердість покриттів Co-V.

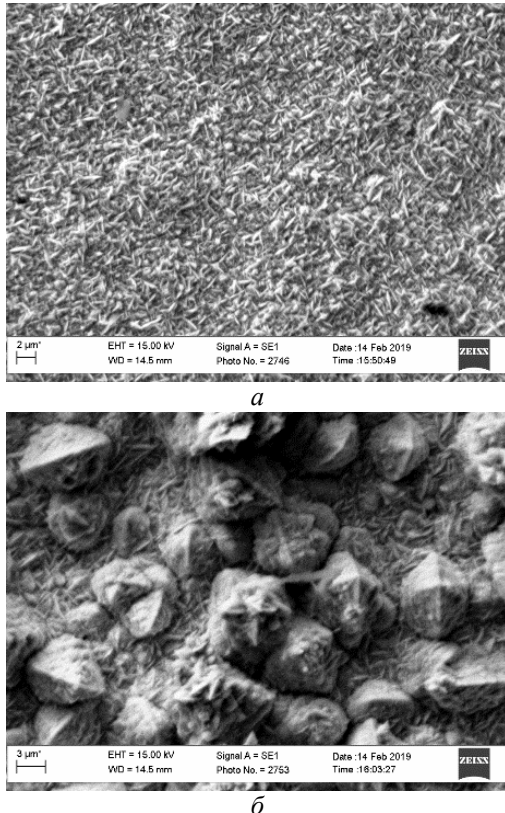


Рис. 1 – Вплив густини струму на морфологію та склад покриттів Co-V: а – $i=8$ А/дм², б – 12 А/дм². Збільшення $\times 5000$.

Як свідчать мікрофотографії, одержані методом сканівної електронної мікроскопії, за густини струму 7–8 А/дм² осаджуються дрібнокристалічні голкоподібні покриття з низьким вмістом ванадію і невеликою мікротвердістю (рис.2).

При підвищенні густини струму осадження покриттів на поверхні відповідних зразків (рис.1, б) утворюють конгломерати розміром 2–5 мкм, які зростають від підкладки, і спостерігається диференціація морфології, а саме на окремих ділянках поверхні залишається дрібнокристалічна структура, яка межує з кристалітами різної геометрії і форми.

Слід зазначити, що кількість кисню у складі сплавів Co-V є невеликою, тоді як вміст ванадію суттєво перевищує показники інших матеріалів (рис. 3).

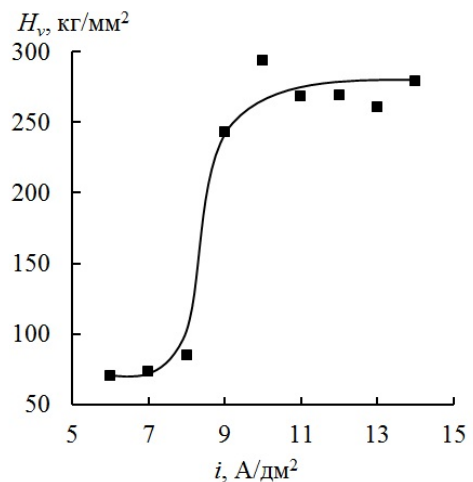


Рис. 2 – Вплив густини струму на мікротвердість покриттів Co-V

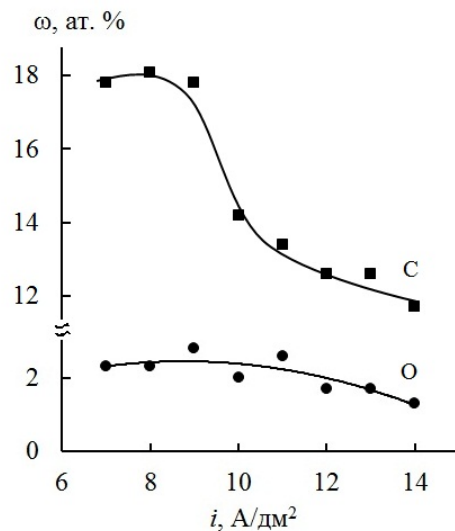


Рис. 3 – Вплив густини струму покриттів Co-V на вміст ванадію і кисню в сплаві. Температура $T = 30$ °C.

З підвищенням густини струму до 9–10 А/дм² вміст ванадію у сплаві зростає майже удвічі (рис. 4), а кількість ванадію, навпаки, зменшується (рис. 3). Поверхня покриттів стає більш розвиненою за рахунок утворення конгломератів і глобул різної форми, і одночасно зростає мікротвердість. За густини струму до 11–12 А/дм² кількість ванадію у сплаві сягає максимуму 1,2 ат. % у перерахунку на метал (рис. 4).

Залежність виходу за струмом електролітичного сплаву Co-V від густини струму має екстремальний характер (рис. 5): ВС збільшується з 27% до 48% при зростанні густини струму від 7 до 10 А/дм²; однак подальше збільшення (i) знижує ефективність процесу до 30%.

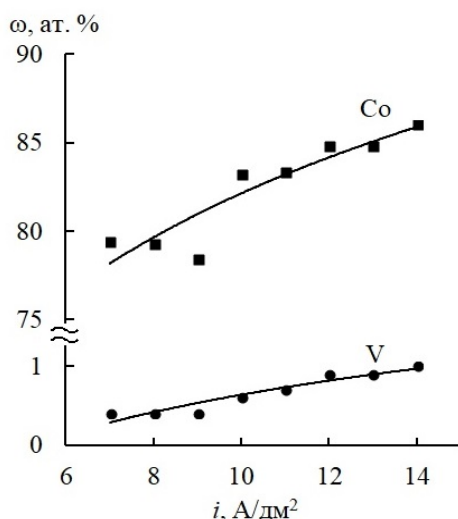


Рис. 4 – Вплив густини струму покриттів Co-V на вміст кобальту і ванадію в сплаві. Температура $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Така поведінка може бути пов'язана із значними коливанням катодного потенціалу.

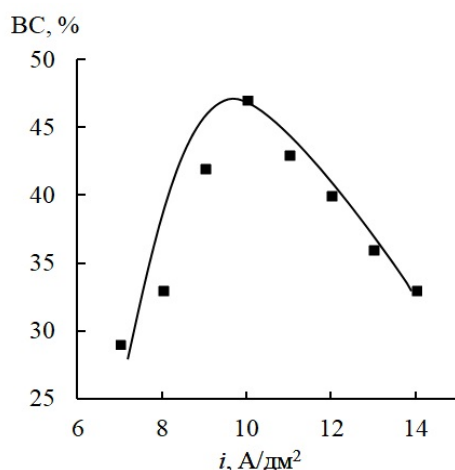


Рис. 5 – Вплив густини струму на вихід за струмом покриттів Co-V. Температура $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При підвищенні густини струму до 13–14 А/дм² кількість ванадію у сплаві залишається на рівні 0,9–1,0 ат.% у перерахунку на метал, а тенденція до зменшення вмісту карбону зберігається. Поверхня зразків стає рівномірно глобулярною, а конгломерати зерен набувають форму сфероїдів діаметром 4–7 мкм. Мікротвердість залишається на рівні 270–280 кг/мм², тому можна констатувати, що саме вміст ванадію та морфологія поверхні є ключовими чинниками механічних властивостей покриттів Co-V.

Висновки

На підставі проведених досліджень встановлено, що з цитратного електроліту формуються електролітичні покриття Co-V зі вмістом

ванадію до 1,25%. Отримані покриття рівномірно розподілені по поверхні й міцно зчеплені з основою.

Визначено параметри стаціонарного електролізу для отримання якісних покриттів сплавами на основі кобальту з максимальним ВС і вмістом тугоплавкого компоненту. Варіювання амплітуди струму дозволяє керувати складом і властивостями покриттів.

Список літератури

1. Tsynsaru N., Cesiulis H., Donten M., Sort J., Pellicer E., Podlaha-Murphy E. Modern trends in tungsten alloys electrodeposition with iron group metals. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2012. № 48. P. 491–520.
2. Tsynsaru N., Dikumar A., Cesiulis H. Tribological and Corrosive Characteristics of Electrochemical Coatings Based on Cobalt and Iron Superalloys. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2009. № 48. P. 419–428.
3. Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten. *Applied Surface Science*. 2018. № 445. P. 298–307. doi:https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.171.
4. Nenastina T. A., Ved' M. V., Proskurina V. O., Zyubanova S. I. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry*. 2019. P. 60–66.
5. Sakhnenko M. D., Ved' M. V., Ermolenko I. Yu. et al. Design, Synthesis, and Diagnostics of Functional Galvanic Coatings Made of Multicomponent Alloys. *Materials Science*, 2017. Vol. 53. No 5. P. 680–686. doi:https://doi.org/10.1007/s11003-017-0009-7
6. Yarpontseva, Y. S., Dikumar A. I., Kyblanovskii V. S. Study of the composition, corrosion, and catalytic properties of Co-W alloys electrodeposited from a citrate pyrophosphate electrolyte. *J. Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2014. Vol. 50. P. 330–337. doi:https://doi.org/10.3103/S1068375514040139
7. Gomez E., Pellicer E., Vallès E. Influence of the bath composition and the pH on the induced cobalt-molybdenum electrodeposition. *J. Electroanalytical Chemistry*. 2003. Vol. 556. P. 137–145. doi: https://doi.org/10.1016/S0022-0728(03)00339-5
8. Prasad S., Marinho F.A., Santana F.S.M. Control and optimization of baths for electrodeposition of Co-Mo-B amorphous alloys. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 2000. Vol. 17. No 4–7. P. 423–432 doi: http://dx.doi.org/10.1590/S0104-66322000000400007
9. Gomez E., Pellicer E., Alcobe X., Valles E. Properties of Co–Mo coating obtained by electrodeposition at pH 6.6. *J. Solid State Electrochemistry*. 2004. Vol. 8. P. 497–504. doi: 10.1007/s10008-004-0495-z
10. Gala J., Małachowski A., Nawrat G. Electrolytic nickel-molybdenum-vanadium alloy coatings as a material with a decreased hydrogen overvoltage. *Journal of Applied Electrochemistry*. 1983. Vol. 14. Iss. 2. P. 221–230.
11. Yang Y.-F., Deng B., Wen Z.-H. Preparation of Ni-Co Alloy Foils by Electrodeposition. *Advances in Chemical Engineering and Science*. 2011. Vol. 1. No. 2. P.27–32.
12. Herraiz-Cardona I., Ortega E, Garcia Anton J., Perez-Herranz V. Assessment of the roughness factor effect and the intrinsic catalytic activity for hydrogen evolution

- reaction on Ni-based electrodeposits. *Int. J. Hydrogen*. 2011. Vol. 36. Iss. 16. P. 9428–9438.
13. Kaninski M. P. M., Stojic D. L., Saponjic D. P. et al. Comparison of different electrode materials – Energy requirements in the electrolytic hydrogen evolution process. *J. Power Sources*. 2006. Vol. 157. Iss. 2. P. 758–764.
 14. Козин Л. Ф., Волков С. В. Современная энергетика и экология. Проблемы и перспективы. Киев: Наукова думка, 2006. 772 с.
 15. Shen T. F. R., Lai M. H., Yang T. C. K. et al. Photocatalytic production of hydrogen by vanadium oxides under visible light irradiation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2012. Vol. 43. Iss. 1. P. 95–101.
 16. Herraiz-Cardona I., Ortega E., GarciaAnton J., Perez-Herranz V. Assessment of the roughness factor effect and the intrinsic catalytic activity for hydrogen evolution reaction on Ni-based electrodeposits. *Int. J. Hydrogen*. 2011. Vol. 36. Iss. 16. P. 9428–9438.
 17. Kaninski M. P. M., Stojic D. L., Saponjic D. P. et al. Comparison of different electrode materials – Energy requirements in the electrolytic hydrogen evolution process. *J. Power Sources*. 2006. Vol. 157. Iss. 2. P. 758–764.
 18. Nenastina T. A., Sakhnenko N. D., Proskurina V. O. Effect of Electrolysis Conditions on the Composition and Microhardness of Ternary Cobalt Alloy Coatings. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. Iss. 57 (1). P. 59–66.
 19. Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Koziar M. Ternary cobalt-molybdenum-zirconium coatings for alternative energies. *Applied Surface Science*. 2017. № 421. P. 68–76. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.196>
 20. Mikhailov I. F., Baturin A. A., Mikhailov A. I., Fomina L. P. Perspectives of development of X-ray analysis for material composition. *Functional materials*. 2016. 1. P.5-14.
 21. Миронов В. Л. *Основы сканирующей зондовой микроскопии*. Москва: Техносфера, 2005. 144 с.
- electrolyte. *J. Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2014, vol. 50, pp. 330–337, doi: 10.3103/S1068375514040139.
7. Gomez E., Pellicer E., Vallès E. Influence of the bath composition and the pH on the induced cobalt-molybdenum electrodeposition. *J. Electroanalytical Chemistry*, 2003, vol. 556, pp. 137–145, doi: 10.1016/S0022-0728(03)00339-5.
 8. Prasad S., Marinho F.A., Santana F.S.M. Control and optimization of baths for electrodeposition of Co-Mo-B amorphous alloys. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 2000, vol.17, no. 4–7, pp. 423–432, doi: 10.1590/S0104-66322000000400007.
 9. Gomez E., Pellicer E., Alcobé X., Valles E. Properties of Co–Mo coating obtained by electrodeposition at pH 6.6. *J. Solid State Electrochemistry*, 2004, vol. 8, pp. 497–504, doi: 10.1007/s10008-004-0495-z.
 10. Gala J., Małachowski A., Nawrat G. Electrolytic nickel-molybdenum-vanadium alloy coatings as a material with a decreased hydrogen overvoltage. *Journal of Applied Electrochemistry*, 1983, Vol. 14, Iss. 2, pp. 221–230.
 11. Yang Y.-F., Deng B., Wen Z.-H. Preparation of Ni-Co Alloy Foils by Electrodeposition. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 2011, Vol. 1, no. 2, pp. 27–32.
 12. Herraiz-Cardona I., Ortega E, Garcia Anton J., Perez-Herranz V. Assessment of the roughness factor effect and the intrinsic catalytic activity for hydrogen evolution reaction on Ni-based electrodeposits. *Int. J. Hydrogen*, 2011, Vol. 36, Iss. 16, pp. 9428–9438.
 13. Kaninski M. P. M., Stojic D. L., Saponjic D. P. et al. Comparison of different electrode materials – Energy requirements in the electrolytic hydrogen evolution process. *J. Power Sources*, 2006, Vol. 157, Iss. 2, pp. 758–764.
 14. Kozin L. F., Volkov S. V. *Sovremennaya energetika i ekologiya. Problemy i perspektivy* [Modern energy and ecology. Problems and prospects]. Kyiv: Naukova Dumka, 2006, 772 p.
 15. Shen T. F. R., Lai M. H., Yang T. C. K. et al. Photocatalytic production of hydrogen by vanadium oxides under visible light irradiation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2012, Vol. 43, Iss. 1, pp. 95–101.
 16. Herraiz-Cardona I., Ortega E., GarciaAnton J, Perez-Herranz V. Assessment of the roughness factor effect and the intrinsic catalytic activity for hydrogen evolution reaction on Ni-based electrodeposits. *Int. J. Hydrogen*, 2011, Vol. 36, Iss. 16, pp. 9428–9438.
 17. Kaninski M. P. M., Stojic D. L., Saponjic D. P. et al. Comparison of different electrode materials – Energy requirements in the electrolytic hydrogen evolution process. *J. Power Sources*, 2006, Vol. 157, Iss. 2, pp. 758–764.
 18. Nenastina T. A., Sakhnenko N. D., Proskurina V. O. Effect of Electrolysis Conditions on the Composition and Microhardness of Ternary Cobalt Alloy Coatings. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, no. 57 (1), pp. 59–66.
 19. Yar-Mukhamedova G., Sakhnenko N., Koziar M. Ternary cobalt-molybdenum-zirconium coatings for alternative energies. *Applied Surface Science*. 2017, no. 421, pp. 68–76. doi:10.1016/j.apsusc.2017.01.196.
 20. Mikhailov I. F., Baturin A. A., Mikhailov A. I., Fomina L. P. Perspectives of development of X-ray analysis for material composition. *Functional materials*, 2016, no. 1, pp. 5–14.
 21. Mironov V. L. *Osnovy skaniruyushchey zondovoy mикроскопии*. [The basics of scanning probe microscopy]. Moscow: Tekhnosfera, 2005, 144 p.

References (transliterated)

1. Jiang Tsynsaru N., Cesiulis H., Donten M., Sort J., Pellicer E., Podlaha-Murphy E. Modern trends in tungsten alloys electrodeposition with iron group metals. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2012, no. 48, pp. 491–520.
2. Tsynsaru N., Dikusar A., Cesiulis H. Tribological and Corrosive Characteristics of Electrochemical Coatings Based on Cobalt and Iron Superalloys. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, 2009, no. 48, pp. 419–428.
3. Yar-Mukhamedova G., Ved' M., Sakhnenko N., Nenastina T. Electrodeposition and properties of binary and ternary cobalt alloys with molybdenum and tungsten. *Applied Surface Science*, 2018, no. 445, pp. 298–307, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.03.171>.
4. Nenastina T. A., Ved' M. V., Proskurina V. O., Zyubanova S. I. Electrochemical deposition of Co-Mo-W and Co-Mo-Zr coatings from complex electrolytes. *Promising Materials and Processes in Applied Electrochemistry*, Kyiv, KNUITD 2019, pp. 60–66.
5. Sakhnenko M. D., Ved' M. V., Ermolenko I. Yu. et al. Design, Synthesis, and Diagnostics of Functional Galvanic Coatings Made of Multicomponent Alloys. *Materials Science*, 2017, vol. 53, no 5, pp. 680–686, doi: <https://doi.org/10.1007/s11003-017-0009-7>.
6. Yapontseva Y. S., Dikusar A. I., Kyblanovskii V. S. Study of the composition, corrosion, and catalytic properties of Co-W alloys electrodeposited from a citrate pyrophosphate

Сведения об авторах (About authors)

Ненастіна Тетяна Олександрівна – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-6108-4023; e-mail: nenastina@ukr.net.

Тетяна Ненастіна – Ph.D., Assoc. prof., The department of technology of road-construction materials and chemistry, Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-6108-4023; e-mail: nenastina@ukr.net.

Сахненко Микола Дмитрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри фізичної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-5525-9525; e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Mykola Sakhnenko – Dr. Sci., Prof., department of physical chemistry, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5525-9525; e-mail: sakhnenko@kpi.kharkov.ua.

Проскуріна Валерія Олегівна – кандидат технічних наук, асистент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри загальної та неорганічної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0003-4215-4190; e-mail: voproskurina@gmail.com.

Valeria Proskurina – Ph.D., assistant, department of general and inorganic chemistry, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-4215-4190; e-mail: voproskurina@gmail.com.

Корогодська Алла Миколаївна – доктор технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри загальної та неорганічної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-1534-2180; e-mail: kor75all@gmail.com.

Alla Korohodska – Dr. Sci., Prof., department of general and inorganic chemistry, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-1534-2180; e-mail: kor75all@gmail.com.

Горохівська Наталія Валентинівна – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант кафедри фізичної хімії; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0001-7494-175X; e-mail: natagor989@gmail.com

Natalia Horokhivska – graduate student, department of physical chemistry, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0001-7494-175X; e-mail: natagor989@gmail.com

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Ненастіна Т. О., Сахненко М. Д., Проскуріна В. О., Корогодська А. М., Горохівська Н. В. Електрохімічне осадження сплаву кобальту. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 3 (9). С. 55-60. doi:10.20998/2413-4295.2021.03.08.

Please cite this article as:

Nenastina T., Sakhnenko M., Proskurina V., Korohodska A., Horokhivska N. Electrochemical deposition of cobalt alloy. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2021, no. 3 (9), pp. 55-60, doi:10.20998/2413-4295.2021.03.08.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Ненастіна Т.А., Сахненко Н.Д., Проскуріна В.О., Корогодська А. Н., Гороховская Н. В. Электрохимическое осаждение сплава кобальта. *Вестник Национального технического университета «ХПИ». Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». 2021. № 3 (9). С. 55-60. doi:10.20998/2413-4295.2021.03.08.

АННОТАЦІЯ Електроосадження сплавів кобальта з тугоплавкими металами дозволяє отримувати покриття з унікальним поєднанням фізико-хімічних властивостей, недостижимою при використанні інших методів нанесення. Для осадження якісних покриттів сплавом кобальт-ванадій пропонується використання цитратного електроліта. Покриття Co-V осаждали на сталеві зразки з цитратного електроліта при температурі 35-40 °С і щільності струму 5-12 А/дм², використовуючи кобальтові розчинні аноди. Вміст ванадію в покритті, осадженому при концентрації ліганду 0,3 моль/дм³ становить 0,1-0,5 мас.%. Підвищення концентрації ліганду до 0,4 моль/дм³ сприяє зв'язуванню кобальта в комплекси, а відповідно, вміст ванадію в покритті зростає до 0,6-1,2 мас.%. Причому тенденція зміни частки легируючих елементів з щільністю струму зберігається. Осадження покриття щільні, блискучі, без внутрішніх напружень і тріщин. Пропонується склад електроліту і режими осадження покриттів Co-V з вмістом ванадію до 1,5 мас.% і виходом по струму 50%. Встановлено, що покриття Co-V відрізняються підвищеним вмістом вуглецю і представляють собою тверді розчини заміщення, а морфологія поверхні отриманих покриттів суттєво залежить від щільності струму і змінюється від мелкокристалічної до глобулярної сферичної. Оптимальною щільністю струму для отримання якісних покриттів сплавом кобальта в гальваностатичному режимі є $i_k = 10$ А/дм². Управління складом гальванічних сплавів кобальта в достатньо широкому діапазоні концентрацій сплавотвірних компонентів досягається варіюванням параметрів електролізу, що дозволяє адаптувати технологію нанесення до потребностей сучасного ринку.

Ключові слова: електролітичне покриття; сплави кобальта; щільність струму; вихід по струму; мікротвердість; ванадій

Надійшла (received) 20.06.2021