

СТРУКТУРА І КОРОЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МІДІ ТА ВОЛЬФРАМУ, ОТРИМАНІХ СПОСОБОМ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ВИПАРОВУВАННЯ-КОНДЕНСАЦІЇ

М.І. Гречанюк¹, В.Г. Гречанюк², І.М. Гречанюк³, В.О. Чорновол²

¹Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України.
03142, м. Київ, вул. Академіка Кржижановського, 3. E-mail: dir@ipms.kiev.ua

²Київський національний університет будівництва та архітектури.

03037, м. Київ, Повітрофлотський просп., 31. E-mail: knuba@knuba.edu.ua

³НВП «ЕЛТЕХМАШ». 21011, м. Вінниця, вул. Ватутіна, 25. E-mail: vin25ebt@ukr.net

Вивчено структуру, корозійну стійкість, механічні властивості композиційних матеріалів Cu–W, що використовуються для електричних контактів різного призначення. Показано вплив концентрації вольфраму в композиційному матеріалі Cu–W на ці властивості. Наведено гравіметричні залежності композитів Cu–W з різним вмістом вольфраму та визначено склад корозійного середовища до і після корозійних випробувань. Бібліогр. 14, табл. 2, рис. 6.

Ключові слова: структура; корозійна стійкість; механічні властивості; композиційні матеріали; вольфрам; мідь

Основними матеріалами для електричних контактів різного призначення, наприклад, які використовуються в будівельних машинах та пристроях (ліфтах, будівельних кранах, піднімальних машинах, рубильниках тощо), є доступні в економічному плані і з високими характеристиками міцності матеріали на основі міді та її сплавів. Такі контакти виготовляють або з литих і прокатних матеріалів (пластин, листів, прутків, дротів), або з матеріалів, одержаних способами порошкової металургії. Литі сплави мають ряд значних недоліків, таких як низькі характеристики міцності, стійкості до мостикоутворення, дугогасних властивостей тощо. Контакти, виготовлені методами порошкової металургії, відрізняються високими характеристиками міцності й більш високими електроконтактними властивостями, але значним їхнім недоліком є складність технології їх одержання, яка включає кілька операцій: одержання порошоків необхідного складу; компактування цих порошоків; спечення або газостатичне пресування їх при високих температурах в контрольованому середовищі; формування необхідних розмірів та ін. [1].

При одержанні конденсованих композиційних матеріалів для електричних контактів економічно обґрунтованим є використання способу високошвидкісного електронно-променевого випаровування й конденсації металів і неметалів у вакуумі [2–7]. Технологічні переваги такого методу полягають в тому, що випаровуванням одночас-

но кількох речовин, змішуванням їхніх парових потоків і конденсацією на підкладці можна одержати такі співвідношення компонентів і створити такі структури, які дуже важко або практично неможливо здійснити традиційними способами.

Велике значення у розвитку засобів комутування струмів високої потужності, особливо у високовольтних вимикачах, зіграли композиційні матеріали на основі міді та тугоплавких металів — вольфраму чи молібдену. Для мідно-вольфрамових контактів характерні такі властивості, як тугоплавкість, твердість, дугостійкість, стійкість проти приварювання, механічна міцність при кімнатній і підвищеній температурах, хороші тепловідвід і електропровідність [8]. На сьогодні є відомості про структуру і механічні властивості контактів, виготовлених із композиційних матеріалів на основі міді й вольфраму [9–11]. Разом з тим відомості щодо корозійної стійкості композиційних матеріалів (КМ) Cu–W і її зв'язок зі структурою взагалі відсутні.

Виходячи з вищезазначеного, метою даної роботи є вивчення структури, фізико-механічних властивостей й корозійної стійкості мідно-вольфрамових композиційних матеріалів для електричних контактів різного призначення, що одержані способом електронно-променевого випаровування-конденсації у вакуумі.

Методика досліджень. Композиційні матеріали Cu–W одержували на стаціонарній підкладці,

М.І. Гречанюк — <https://orcid.org/0000-0002-2609-6018>

Таблиця 1. Хімічний склад КМ мідь–вольфрам, які використовували для досліджень, мас. %

Зразок	W	Cu
1	0,64	решта
2	3,57	→→
3	8,27	→→
4	15,23	→→
5	20,39	→→
6	32,98	→→

виготовлений із Ст3, розміром 250×220×10 мм при температурі 900 ± 30 °С (температура лишалася незмінною для всіх дослідів) способом електронно-променевого випаровування і подальшої конденсації у вакуумі [2–5].

Корозійну стійкість конденсатів досліджували гравіметричним методом [12]. Зразки площею 100 мм² після попереднього оброблення занурювали в корозійне середовище (воду) на 100 год. Контроль за зміною маси зразків здійснювали через кожні 20 год. Дослідження проводили в статичному режимі. Для вивчення структури одержаних конденсатів використовували макро- і мікроструктурний аналізи із застосуванням оптичної й електронної скануючої мікроскопії [13].

Корозійну стійкість і структуру мідно-вольфрамових конденсатів вивчали для шести складів зразків із вмістом вольфраму від 0,64 до 32,98 мас. % (табл. 1)

Результати досліджень. Проведені дослідження мікроструктури конденсатів Cu–W показали,

що структура останніх змінюється від однорідної при концентрації вольфраму до 1 % до шаруватої при збільшенні концентрації вольфраму в композиційних матеріалах до 32,98 мас. %.

Слід зауважити, що чим більша концентрація вольфраму в зразках, тим шаруватість виявляється виразніше. Для прикладу наводимо структуру КМ при концентрації вольфраму в ньому 20,39 мас. % (рис. 1).

Із зростанням вмісту вольфраму в конденсаті виникає неоднорідність його розподілу в шарах (рис. 2).

Для композиційних матеріалів Cu–W переважаним морфологічним типом структури шарів є полігональна (рівноосні зерна). Для шарів, збагачених міддю, біля підкладки властива стовпчаста структура (рис. 3).

Така неоднорідність виявляється у вигляді концентраційних згустків, які, як можна припустити, є зародками для утворення нової стовпчастої структури. В композитах із вмістом вольфраму до 20,39 мас. % ці стовпці конусоподібні зі сфероїдальними вершинами. При збільшенні вмісту вольфраму в конденсаті до 32,98 мас. % вони стають безперервними, їх частка в розрізі зразків зростає, а висота співставна з товщиною макрошарів.

Згідно з експериментальними даними [14] електропровідність зразків з підвищенням вмісту вольфраму в них закономірно падає, наприклад, з вмістом вольфраму приблизно 10 мас. % вона складає 80 % від електропровідності чистої міді.

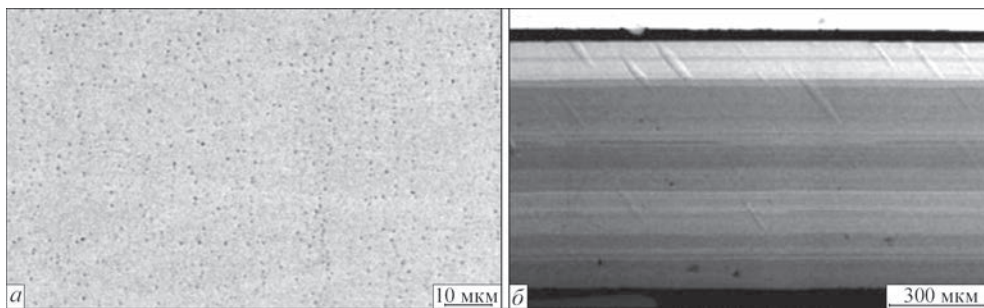


Рис. 1. Мікроструктура композиційних матеріалів Cu–W при концентрації W, мас. %: *a* — 0,64; *b* — 20,39

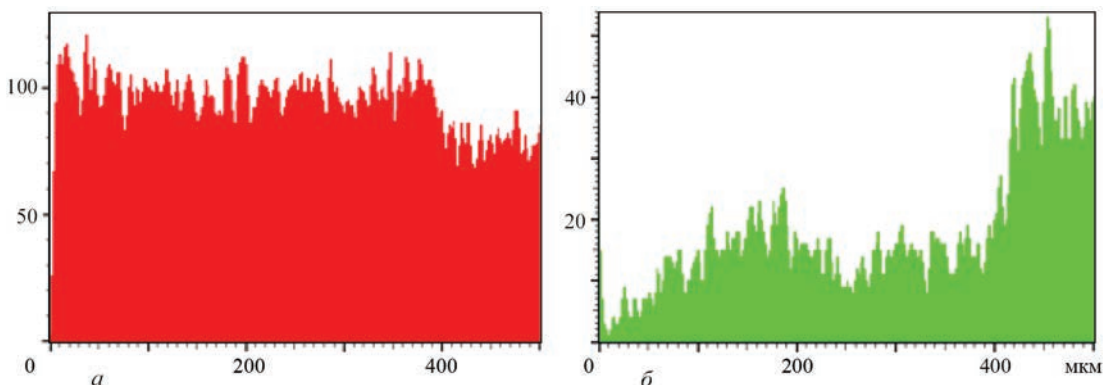


Рис. 2. Розподіл компонентів міді (*a*) та вольфраму (*b*) в КМ Cu–20,39 % W

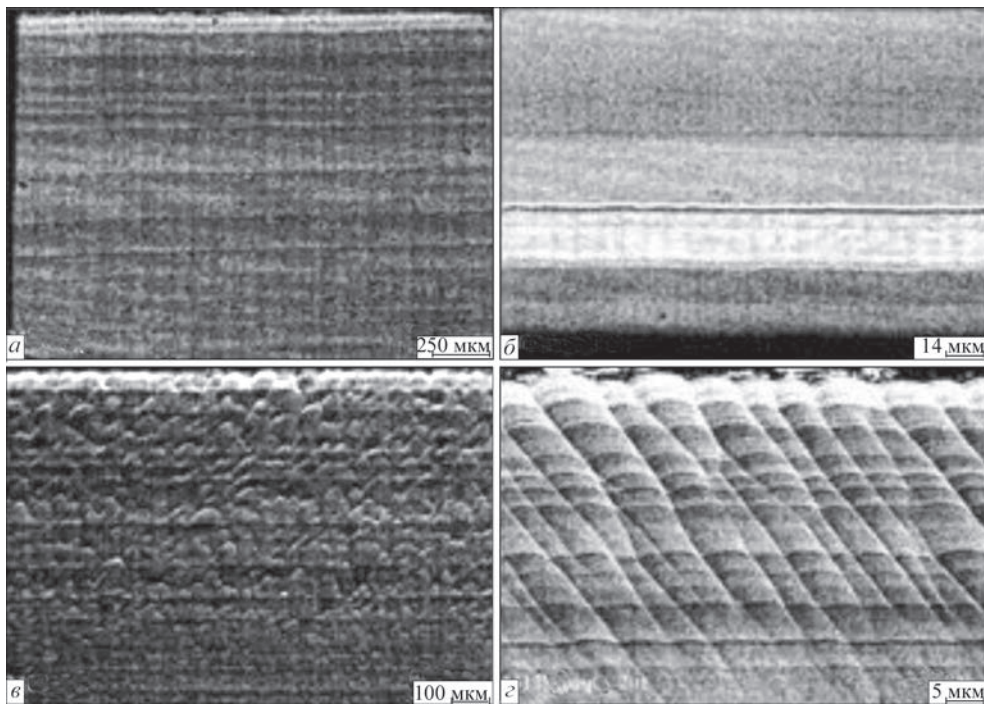


Рис. 3. Структура зразків КМ Cu–W з різним вмістом вольфраму, мас. %: *a* — шарувата (3,57); *b* — шарувата із слідами локального збагачення (8,27); *c* — конусоподібна (15,23); *d* — стовпчаста (32,98)

Механічні властивості при випробуванні конденсату на розтягування також змінюються. Межі плинності й міцності ростуть, характеристики пластичності знижуються зі збільшенням вмісту вольфраму в композиційних матеріалах (рис. 4).

Як видно з рис. 4, залежності меж міцності (σ_b) і плинності ($\sigma_{0,2}$), а також відносного подовження (δ) від концентрації вольфраму мають монотонний характер. Спостерігається збільшення значень σ_b і $\sigma_{0,2}$ зі зростанням вмісту W і зниження δ від 30,2 до 2,2 % при концентрації останнього 32,98 мас. %. Зменшення пластичності, що спостерігається для зразків із значним вмістом вольфраму, обумовлене впливом дефектів типу «стрижнів», які пронизують всю товщину конденсату, як було показано в попередніх дослідженнях [14].

Падіння пластичності при підвищенні вмісту вольфраму (вище 20,39 %) корелює з особливостями структури конденсатів. В'язко руйнується збагачений міддю макрошар, що утворюється на підкладці, на яку конденсуються пари металів. На зміну властивостей впливають і ослаблені домішками межі розподілу макрошарів і стрижнів, які служать або джерелами руйнування, або визначають напрям руху тріщини долома [14].

Оскільки руйнування контактів відбувається не тільки під час роботи в режимі замикання/розмикання, але й в неробочому стані за дії навколишнього середовища, було проведено гравіметричні корозійні дослідження композиційних матеріалів мідь–вольфрам у воді, що імітує 100%-ну вологість відповідно до ГОСТ 25927–81.

Рентгенографічний аналіз показав, що за процесу протікання корозії композитів Cu–W в атмосферних умовах на поверхні утворюються оксиди міді та вольфраму.

За результатами попередніх досліджень відомо, що у разі використання контактів системи Cu–W продуктами окислення найчастіше є оксиди WO_3 і Cu_2O . Дослідження складу поверхні до та після корозійних випробувань показали наявність вмісту кисню від 10 до 31 % на поверхні конденсатів після корозійних випробувань. У той самий час наявність кисню на поверхні зразків до корозійних випробувань не зафіксовано.

Механізм електрохімічної корозії полягає у виникненні на поверхні металів короткозамкнутих мікрогальванічних елементів з різними значеннями мікро-ЕРС (електрорушійної сили), яка виникає в результаті різниці електродних потен-

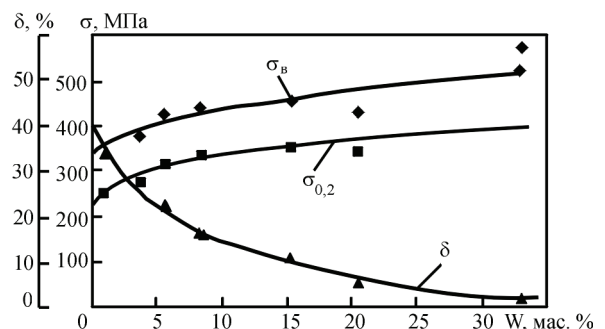


Рис. 4. Залежність меж міцності (σ_b), плинності ($\sigma_{0,2}$) і відносного подовження (δ) композитів Cu–W від вмісту вольфраму (після вакуумного відпалу 1173 К, 1 год) при температурі 293 К

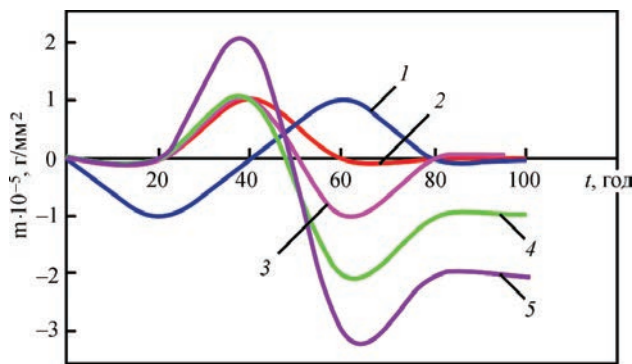


Рис. 5. Гравіметричні залежності композитів Cu–W з різним вмістом вольфраму, мас. %: 1 — 0,64; 2 — 8,27; 3 — 15,23; 4 — 20,39; 5 — 32,98

ціалів міді і вольфраму. Ділянки поверхні металів характеризуються різними потенціалами не тільки за наявності різних за електродними потенціалами металів, але й внаслідок різних концентрацій дефектів структури, різних обробок (шорсткості) поверхні, концентрацій домішок, товщини плівок адсорбованої вологи, концентрацій розчиненого кисню у плівках вологи тощо. Тому для композиційних матеріалів мідь–вольфрам можлива наявність мікрогальванопар між міддю і вольфрамом на ділянках, збагачених вольфрамом. У цьому випадку відбувається анодна іонізація більш активного металу — вольфраму. На решті ділянок поверхні можливим є утворення гальванопар між міддю з іонізацією міді і переходом її іонів у розчин. Про це свідчить аналіз середовища, проведений до і після корозійних випробувань (табл. 2).

Як видно з наведених даних, у корозійному середовищі присутні іони міді й вольфраму.

Зі збільшенням вмісту в композитах Cu–W вольфраму концентрація іонів вольфраму в середовищі збільшується, а іонів міді залишається приблизно такою самою. Як і слід було очікувати, найвища концентрація міді є в розчині при самому низькому вмісті вольфраму в зразках.

Гравіметричні дослідження показали, що в початковий момент корозійних випробувань відбувається незначне зменшення маси зразків незалежно від їхнього складу, що обумовлено іонізацією і переходом у розчин іонів міді й вольфраму. Після 20 год

Таблиця 2. Склад корозійного середовища до і після корозійних випробувань

Склад композитів, мас. %		Вміст компонентів у воді після корозійних досліджень, мг/л	
W	Cu	Cu	W
0,64	решта	1,299	0,003
3,57	—>—	0,924	0,006
8,27	—>—	0,788	0,014
15,23	—>—	0,687	0,016
20,39	—>—	0,704	0,018
32,98	—>—	0,750	0,209
Вихідна вода — 0,014		0	

випробувань починається збільшення маси зразків. З підвищенням концентрації вольфраму в композитах Cu–W процес стає інтенсивнішим (рис. 5).

Це пов'язано з неможливістю безмежного зростання концентрації іонів металу в розчині у зв'язку з утворенням обмежено розчинних сполук — оксидів міді й вольфраму. Крім того, зі збільшенням концентрації вольфраму в композитах можливе також утворення малорозчинних солей вольфраматів міді.

Таким чином, нарощування плівки, утвореної із малорозчинних сполук, стає інтенсивнішим за збільшення концентрації вольфраму в композитах, а маса зразків відповідно стає більшою. Утворена плівка екранує поверхню металу, дифузійні обмеження анодної реакції при цьому поглиблюються і швидкість корозії знижується. При руйнуванні металів у природних атмосферних умовах на катоді протікає реакція кисневої деполаризації. Зважаючи на малу розчинність кисню у воді (приблизно 0,008 г/л) за цієї реакції виникають дифузійні обмеження. Тому швидкість корозії з кисневою деполаризацією обмежується швидкістю подачі молекул кисню до поверхні кородуючого металу. Це також є однією із причин гальмування корозійного процесу.

Про зниження швидкості протікання корозійних процесів свідчать дослідження структури зразків з різним вмістом вольфраму до і після корозійних випробувань (рис. 6).

Характер руйнування композитів з вмістом моібдену до 3,57 мас. % однаковий для всіх зразків.

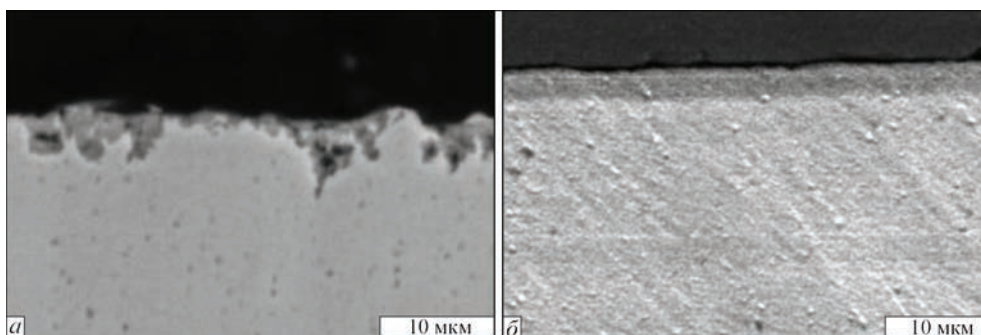


Рис. 6. Руйнування композитів з різним вмістом вольфраму, мас. %: а — 3,57; б — 15,23

Корозійні процеси спостерігаються переважно на тих ділянках, на яких присутні дефекти структури. При концентраціях вольфраму 15,23...32,98 мас. % корозія не зафіксована (рис. 6, б).

Висновки

1. Проведено дослідження хімічного складу, структури і властивостей композиційних матеріалів мідь-вольфрам, одержаних за способом електронно-променевого випаровування-конденсації у вакуумі.

2. Показано, що мідно-вольфрамовий конденсат є шаруватим градієнтним матеріалом, морфологічні особливості якого змінюються при збільшенні в ньому вмісту вольфраму (від 0,63 до 32,98 мас. %).

3. Характеристики міцності конденсату при випробуванні на розтягнення підвищуються, а пластичності знижуються від 30,2 до 2,2 % при збільшенні в ньому вмісту вольфраму від 0,63 до 32,98 мас. %.

4. Гравіметричним аналізом і мікроскопічними дослідженнями встановлено, що корозійна стійкість композиційних матеріалів на основі міді і вольфраму підвищується зі збільшенням концентрації вольфраму в зразках від 0,63 до 32,98 мас. %.

Список літератури

1. Затовський В.Г., Хоменко О.В., Хоменко О.І. (2018) Сучасні порошкові композиційні матеріали для комутаційної та зварювальної техніки. *Зб. Електричні контакти та електроди*. Київ, ІПМ ім. І.М. Францевича НАН України, **14**, 139–150.
2. Гречанюк М.І., Гречанюк І.М., Затовський В.Г., Гречанюк В.Г. (2017) *Композиційний матеріал для електричних контактів та спосіб його отримання*. Україна, Пат. 114451. https://sis.ukrpatent.org/media/INVENTIONS/2015/a201510758/published_description.pdf
3. Grechanyuk N.I., Grechanyuk V.G., Khomenko E.V. et al. (2016) The new condensed from vapor phase composite materials based on copper and their applications. *Electrotechnica & Electronica (Bulgaria)*, **5–6**, 199–205. <https://epluse.ceec.bg/wp-content/uploads/2018/09/20160506-34.pdf>
4. Grechanyuk N.I., Grechanyuk V.G., Khomenko E.V. et al. (2016) Modern composite materials for switching and welding equipment. Information 2. Application of high-rate vacuum evaporation methods for manufacturing electric contacts and electrodes. *The Paton Welding J.*, **2**, 34–39. <https://doi.org/10.15407/tpwj2016.02.06>
5. Bogdan M., Marcin H., Grechanyuk I.N. et al. (2014) The actual state and prospects of a high power electron beam technology for metallic and non-metallic compositions used in electric contacts and electrodes. *Advanced Materials Research.*, **875–877**, 1437–1448 doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.875-877.1437
6. Гречанюк Н.И., Минакова Р.В, Василега О.П. и др. (2010) Современное состояние и перспективы применения технологии высокоскоростного электронно-лучевого испарения и последующей конденсации в вакууме металлов и неметаллов для получения материалов электрических контактов и электродов. Серия «Композиционные слоистые и градиентные материалы и покрытия». *Сб. ИПМ НАНУ*, сс. 54–67. <http://www.materials.kiev.ua/issue/39/article/462>
7. Grechanyuk N.I., Minakova R.V., Grechanyuk I.N. et al. (2014) Current state and prospects for application of a high power electron beam technology to produce metallic and nonmetallic components for electric contacts and electrodes. *Там же*, сс. 233–245. <http://www.materials.kiev.ua/issue/72/article/1157>
8. Денесенко В.О., Минакова Р.В., Гречанюк В.Г., Гречанюк І.М. (2008) Структура і фізико-хімічні властивості композиційних матеріалів на основі міді та вольфраму, отриманих методом електронно-променевого випаровування. *Науковий вісник Чернівецького університету*, **422**, 26–33. http://library.chnu.edu.ua/res/library/elib/visnyk_chnu/visnyk_chnu_2008_0422.pdf
9. Minakova R.V., Grechanyuk I.N., Bukhanovsky V.V. et al. (2010) Structure, electrical conductivity and mechanical characteristics of copper-tungsten composite obtained by electron beam physical vapour deposition (EB-PVD) technique. *Transact. of Famena*, **34(2)**, 37–46. <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=20325&tip=sid>
10. Bukhanovskii V.V., Minakova R.V., Grechanyuk I.N. et al. (2011) Effect of composition and heat treatment on the structure and properties of condensed composites of the Cu–W system. *Metal Science and Heat Treatment*, **53 (1–2)**, 14–23. doi: 10.1007/s11041-011-9334-x
11. Grechanyuk N.I., Grechanyuk I.N., Osokin V.A. et al. (2008) Structure, physico-chemical, mechanical, and operational characteristics of condensed composite materials of the Cu–W system for electric contacts. *Proc. of 8th Intern. Symp. of Croatian Metallurgical Society SHMD-2008, June 2008, Sibenik, Croatia*, p. 232.
12. (1980) *Унифицированная методика лабораторных испытаний эффективности ингибиторов коррозии в водных системах*. Рига, Институт неорг. химии АН Литов. ССР.
13. Геллер Ю.А., Рахштадт А.Г. (1983) *Материаловедение, методы анализа, лабораторные работы и задачи*. Москва, Металлургия. <https://www.twirpx.com/file/403315/>
14. Чорновол В.О. (2011) *Структура і корозійна стійкість композиційних матеріалів Cu–Mo, Cu–W, отриманих методом електронно-променевого випаровування-конденсації*: автореф. дис. ... канд. техн. наук.

References

1. Zatovskiy, V.G., Khomenko, O.V., Khomenko, O.I. (2018) Modern powder composite materials for switching and welding equipment. In: *Transact. Electric contacts and electrodes*. Kyiv, IPMS, NASU, **14**, 139–150 [in Ukrainian].
2. Grechanyuk, M.I., Grechanyuk, I.M., Zatovskiy, V.G., Grechanyuk, V.G. (2017) *Composite material for electric contacts and method of its realization*. Ukraine, Pat. 114451 [in Ukrainian]. https://sis.ukrpatent.org/media/INVENTIONS/2015/a201510758/published_description.pdf
3. Grechanyuk, N.I., Grechanyuk, V.G., Khomenko, E.V. et al. (2016) The new condensed from vapor phase composite materials based on copper and their applications. *Electrotechnica & Electronica (Bulgaria)*, **5–6**, 199–205. <https://epluse.ceec.bg/wp-content/uploads/2018/09/20160506-34.pdf>
4. Grechanyuk, N.I., Grechanyuk, V.G., Khomenko, E.V. et al. (2016) Modern composite materials for switching and welding equipment. Information 2: Application of high-rate vacuum evaporation methods for manufacturing electric contacts and electrodes. *The Paton Welding J.*, **2**, 34–39. <https://doi.org/10.15407/tpwj2016.02.06>

5. Bogdan, M., Marcin, H., Grechanyuk, I.N. et al. (2014) The actual state and prospects of a high power electron beam technology for metallic and non-metallic compositions used in electric contacts and electrodes. *Advanced Materials Research*, **875–877**, 1437–1448 doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.875-877.1437
6. Grechanyuk, N.I., Minakova, R.V., Vasilega, O.P. et al. (2010) Modern state-of-the-art and prospects of application of technology of high-rate vacuum evaporation and subsequent condensation in vacuum of metals and nonmetals for producing of electric contacts and electrodes. Series: Composite laminated and gradient materials and coating. *Transact. of IMPS, NASU*, 54–67 [in Russian]. <http://www.materials.kiev.ua/issue/39/article/462>
7. Grechanyuk, N.I., Minakova, R.V., Grechanyuk, I.N. et al. (2014) Current state and prospects for application of a high power electron beam technology to produce metallic and nonmetallic components for electric contacts and electrodes. *Ibid.*, 233–245 [in Russian]. <http://www.materials.kiev.ua/issue/72/article/1157>
8. Denesenko, V.O., Minakova, R.V., Grechanyuk, V.G., Grechanyuk, I.M. (2008) Structure and physical-chemical properties of composite materials based on copper and tungsten produced by electron beam evaporation method. *Nauk. Visnyk Chernivets'kogo Un-tu*, **422**, 26–33 [in Ukrainian]. http://library.chnu.edu.ua/res//library/elib/visnyk_chnu/visnyk_chnu_2008_0422.pdf
9. Minakova, R.V., Grechanyuk, I.N., Bukhanovsky, V.V. et al. (2010) Structure, electrical conductivity and mechanical characteristics of copper-tungsten composite obtained by electron beam physical vapour deposition (EB-PVD) technique. *Transact. of Famena*, **34(2)**, 37–46. <https://www.scimagojr.com/journalsearch.php?q=20325&tip=sid>
10. Bukhanovskii, V.V., Minakova, R.V., Grechanyuk, I.N. et al. (2011) Effect of composition and heat treatment on the structure and properties of condensed composites of the Cu–W system. *Metal Sci. and Heat Treatment*, **53 (1–2)**, 14–23. Doi: 10.1007/s11041-011-9334-x
11. Grechanyuk, N.I., Grechanyuk, I.N., Osokin, V.A. et al. (2008) Structure, physicochemical, mechanical, and operational characteristics of condensed composite materials of the Cu–W system for electric contacts. In: *Proc. of 8th Intern. Symp. of Croatian Metallurgical Society SHMD-2008 (June 2008, Sibenik, Croatia)*, 232.
12. (1980) *Unified procedure for laboratory tests of effectiveness of corrosion inhibitors in water systems*. Riga, I-t of Inorganic Chemistry, Litov. SSR [in Russian].
13. Geller, Yu.A., Rakhshadtad, A.G. (1983) *Materials science, methods of analysis, laboratory works and problems*. Moscow, Metallurgiya [in Russian]. <https://www.twirpx.com/file/403315/>
14. Chornovol, V.O. (2011) *Structure and corrosion resistance of Cu–Mo, Cu–W composite materials produced by electron beam evaporation-condensation*. Syn. of Thesis for Cand. of Tech. Sci. Degree [in Ukrainian].

STRUCTURE AND CORROSION PROPERTIES OF COPPER- AND TUNGSTEN-BASED COMPOSITE MATERIALS, PRODUCED BY HIGH-RATE EVAPORATION-CONDENSATION

M.I. Grechanyuk¹, V.G. Grechanyuk², I.M. Grechanyuk³, V.O. Chornovol²

¹I.M. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of the NAS of Ukraine.

3 Krzhizhanovskiyi Str., 03142, Kyiv, Ukraine. E-mail: dir@ipms.kiev.ua

²Kyiv National University of Construction and Architecture.

31 Povitroflotskyi Prosp. 03037, Kyiv, Ukraine. E-mail: knuba@knuba.edu.ua

³NVP «ELTEKHMASH». 25 Vatutin Str., 21011, Vynnytsa, Ukraine. E-mail: vin25ebt@ukr.net

Structure, corrosion resistance, and mechanical properties of Cu–W composite materials used for various-purpose electric contacts were studied. Shown is the influence of tungsten concentration in Cu–W composite material on these properties. Gravimetric dependencies of Cu–W composite materials with different tungsten content are given and composition of the corrosive environment before and after corrosion testing is determined. Ref. 14, Tabl. 2, Fig. 6.

Key words: structure; corrosion resistance; mechanical properties; composite materials; tungsten; copper

Надійшла до редакції 08.11.2021



НОВА КНИГА

Ахонін С.В., Березов В.О. Електронно-променева плавка зливків псевдо- β титанових сплавів. — Київ: Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 2021. — 88 стр.

В монографії розглянуто особливості виробництва зливків псевдо- β сплавів титану методом електронно-променевої плавки. Детально досліджено механізми та закономірності поведінки легуючих елементів під час виготовлення зливків псевдо- β сплавів титану методом електронно-променевої плавки з використанням проміжної ємності. Показано особливості кристалізації рідкого металу зливків псевдо- β сплавів титану в умовах дії електронно-променевого нагріву. З урахуванням виявлених залежностей, на прикладі титанових сплавів BT19 та BT22 запропоновано оптимальні технологічні режими їх виготовлення методом електронно-променевої плавки, які забезпечують високий рівень якісних та техніко-економічних показників. Наведено характеристики хімічного складу, стану поверхні, макро- та мікроструктури зливків псевдо- β сплавів титану. Розглянуто питання деформаційної обробки сплавів та наведено механічні характеристики напівфабрикатів із псевдо- β сплавів титану, виготовлених методом електронно-променевої плавки. Представлено особливості конструкції промислових електронно-променевих установок та дано опис технологічних схем плавки зливків діаметром 110...600 мм псевдо- β сплавів титану. Для наукових та інженерно-технічних працівників, а також для студентів металургійних спеціальностей.

Бібліогр. 107, Табл. 17, Рис. 55.

Замовлення на книгу надсилати на пошту:

E-mail: journal@paton.kiev.ua