

Література

1. Grechyanyuk N. I., Baglyuk G. A., Kucherenko P. P., Melnik A. G., Grechyanyuk I. N., Grechyanyuk V. G., Smashnyuk Y. A. Laboratory Electron-Beam Multipurpose Installation L-2 for Producing Alloys, Composites, Coatings, and Powders / Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2017, 56 (1), p. 113–121.
2. Grechyanyuk, N. I., Kucherenko, P. P., Melnik, A. G., Grechyanyuk I. M., Smachnyuk Yu., Grechyanyuk V. G., Manulyk, A. New Electron-Beam Equipment and Technologies for the Production of Advanced Materials Using Vacuum Melting and Evaporation Methods Developed at SPE [“Eletekhmash”] / Metals and Materials Seriesthis, 2019, С. 105–113.
3. Гречанюк В. Г., Гречанюк М. І., Шаповалов В. О., Апанасенко В. Ю. Фізико-механічні властивості композиційних матеріалів Cu–Zr–Y–Mo (W, Cr) / Збірник праць XVIII : міжнар. наук. конф. «Сучасні досягнення в науці та освіті», 13–20 вересня 2023, м. Нетанія, Ізраїль, С. 145–148.
4. Гречанюк Н. И., Гречанюк В. Г., Витовецкая Т. В. Современное состояние электронно-лучевых технологий, применяемых в различных областях техники / Proceedings of XIII international conference on science and education, January 4–13, 2019, (Hungary), P. 41–43.

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ ГРАДІЄНТНОГО КОМПЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ МІДЬ–ХРОМ, ОТРИМАНОГО МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ВИПАРОВУВАННЯ-КОНДЕНСАЦІЇ

*Маценко О. В., Гречанюк І. М., Ковальчук Ю. І., Вітовецька Т. В.
Київський національний університет будівництва і архітектури
м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, e-mail: ardna@ukr.net*

Метод електронно-променевого випаровування–конденсації має широкі можливостями при його використанні для отримання електроконтактних матеріалів різного призначення. Цей метод також послужив базою для створення промислових технологій осадження захисних покриттів на лопатки газових турбін, для отримання лігатур різного складу тощо [1–3]. Композиційні матеріали Cu–Cr, отримані методом електронно-променевого випаровування-конденсації, використовуються як електроконтактні матеріали вакуумних вимикачів. Зазначені конденсати Cu–Cr отримували на установці Л-2 [4] з випаровуванням

хрому і міді з двох окремих джерел і з осадженням на нерухому підкладку із Ст3. Матеріал підкладки (Ст3) вигідно відрізняється від інших (нержавіючої сталі, титану) своєю низькою ціною, а також слабкою взаємодією з міддю.

Для отримання парофазних конденсатів в системі Cu–Cr використовували основні та допоміжні матеріали, відомості про які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Вихідні матеріали для виготовлення конденсатів Cu–Cr

Cu	МО-М2	ДСТУ ГОСТ 859:2003 Мєдь. Марки (ГОСТ 859-2001, IDT)
Cr	X99	ГОСТ 5905-2004
Zr	Э635; Э110; Э125; R60702	ТУ 95.166-83; ТУ 5-20-069-85
Y	ИТМ 1, ИТМ 2	ТУ 48-4-208-72; ГОСТ 23862.15-79
CaF ₂	67/548ЕЕС;1999/45/ЕС	ГОСТ 7167-77; ГОСТ 22974.11-96

Рівномірному осадженню міді та хрому на підкладку сприяло те, що ці компоненти мають близькі температурні залежності тиску пари. Зразки отримували осадженням на сталеву підкладку з попередньо нанесеним розділовим шаром фториду кальцію.

Камеру випаровування вакуумували до досягнення залишкового тиску $(1,3-4,0) \cdot 10^{-3}$ Па. Потім поверхню зливків прогрівали до температури плавлення основного металу з витримкою 15–20 хв при струмі 1,15–1,3 А для досягнення однорідності режиму ванни. На підкладку, незалежно від складу, осідав шар з мідної ванни, а потім здійснювалося одночасне випаровування з обох ванн при струмі променю 2,6–2,8 А і прискорюючій напрузі 20 кВ.

Швидкість конденсації становила 8–10 мкм/хв. Отриманий конденсат являв собою пластину товщиною до 3 мм з градієнтом хімічного складу вздовж плити.

Візуальним оглядом отриманого конденсату було виявлено, що поверхня осадження металів на підкладку має опуклості, звернені до ванн з металом, який випаровувався. Макро- і мікроаналізи поверхні конденсату на основі міді та хрому не виявили ознаки впливу шорсткості підкладки.

Поверхня конденсату характеризується наявністю агрегатів, створених дрібними сочевицеподібними і сфероїдальними частинками, подовжених ланцюжків з них через рідиноподібну коалесценцію, кристалізаційних тріщин та ін. (рис. 1).

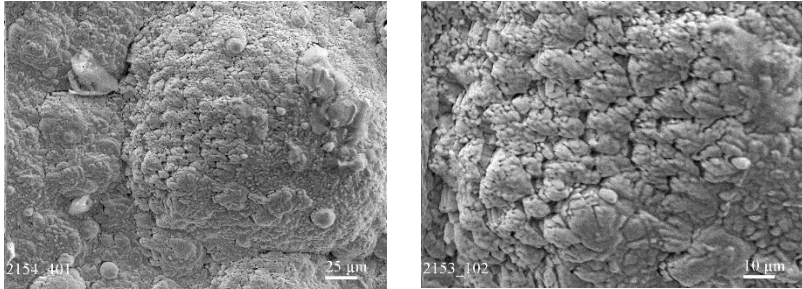


Рис. 1. Морфологія поверхні: агрегатів з оплавленими поверхнями та кристалізаційними тріщинами

Вплив домішок на фронт конденсації підтвердив локальний рентгеноспектральний аналіз, який встановив наявність елементів: N, S, O, C, P, Cl, Fe. Фронт кристалізації при осадженні пари в системі Cu–Cr за даними профілометрії після іонного травлення становить 2 мкм. Подальше дослідження структури, хімічного складу і властивостей конденсатів проводили на зразках, вирізаних з центральної частини плити в напрямку збільшення вмісту хрому з кроком 12 мм. Їх розміри були обрані з урахуванням вимог до зразків для вивчення електричного опору, вимірювання твердості і механічних випробувань на розтяг.

Структурним дослідженням піддавали перерізи зразків паралельних і перпендикулярних паровому потоку. Для металографічного аналізу структури конденсату використовували різні способи травлення.

Іонне травлення перерізів зразків, паралельних паровому потоку в тліючому розряді дозволило встановити, що конденсату Cu–Cr (як і конденсату Cu–Fe [5]) притаманна ієрархія рівнів шаруватої структури: спостерігаються макро-, мікро- і субмікрорівні. Два останні рівня можуть бути об'єднані анізотропією нормального росту кристалів, що сприяє формуванню стовпчастої структури, яка може утворюватися в межах декількох шарів.

Дослідження перетину конденсату перпендикулярного паровому потоку після іонного травлення в тліючому розряді за допомогою скануючої електронної мікроскопії дозволило встановити, що стовпці в поперечному перерізі мають полігональну структуру. Середній розмір перетину стовпців в досліджуваних шарах не перевищував 20 мкм. Рентгеноспектральним аналізом цих перерізів встановлено, що в кожному мікрошарі в умовах конденсації і охолодження спостерігається розшарування основних компонентів.

Зміна умов травлення дозволила дослідити нові особливості структури в обох напрямках (в перпендикулярному і паралельному) щодо парового потоку. Проведений аналіз засвідчив утворення стовпців з дископодібних частинок із діаметром до 2 мкм. Лише рідкі або рідко-тверді частинки можуть деформуватися при зустрічі з підкладкою або під впливом дії наступних осаджених за ними часток. Частинки фази на основі хрому сферичної форми спостерігаються і в стовпчастій структурі конденсату, однак ці частинки не спотворюють фронту конденсації, перебуваючи в об'ємі шарів. Пористість виникає в місцях осідання на стовпцях частинок менших розмірів і у випадку безструктурного накопичення частинок розміром менше 1 мкм. Структура конденсату двофазна. Частинки усіх розмірів із твердого розчину з вмістом хрому 8–10 % дисперговані в другій фазі на основі міді із вмістом хрому до 5 % мас.

Література

1. Grechanyuk N. I., Konoval V. P., Grechanyuk V. G., Baglyuk G. A., Myroniuk, D. V. Properties of Cu–Mo Materials Produced by Physical Vapor Deposition for Electrical Contacts / Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2021, 60 (3–4), pp. 183–190.
2. Grechanyuk, N. I., Kucherenko, P. P., Melnik, A. G., Grechanyuk, V. G., Manulyk, A. New Electron-Beam Equipment and Technologies for the Production of Advanced Materials Using Vacuum Melting and Evaporation Methods Developed at SPE [“Eletekhmash”] / Minerals, Metals and Materials Series, 2019, pp. 105–113.
3. Prikhna, T. O., Grechanyuk, I. M., Karpets, M. V., Grechanyuk, V. G., Chornovol, V. O. Electron-Beam and Plasma Oxidation-Resistant and Thermal-Barrier Coatings Deposited on Turbine Blades Using Cast and Powder Ni(Co)CrAlY(Si) Alloys I. Fundamentals of the Production Technology, Structure, and Phase Composition of Cast NiCrAlY Alloys / Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2022, 61 (1–2), pp. 70–76.
4. Grechanyuk N. I. Baglyuk G. A., Kucherenko P. P., Melnik A. G., Grechanyuk I. N., Grechanyuk V. G., Smashnyuk Y. A. Laboratory Electron-Beam Multipurpose Installation L-2 for Producing Alloys, Composites, Coatings, and Powders / Powder Metallurgy and Metal Ceramics, 2017, 56(1), P. 113–121.
5. Маценко О. В. Отримання градієнтного композиційного матеріалу Cu–Fe методом електронно-променевого випаровування–конденсації / Збірник праць XVII Міжнародної конференції «Сучасні досягнення в науці та освіті» 22–29 верес.2022, м. Нетанія (Ізраїль), С. 84–88.