

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРИ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ Cu–Zr–Y–Mo (W, Cr)

*Гречанюк І. М., Чорновол В. О., Маценко О. В., Козирєв А. В.
Київський національний університет будівництва і архітектури,
м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, e-mai: eltechnic777@ukr.net*

В роботі наведені результати досліджень структури композиційних матеріалів Cu–Zr–Y–Mo (W, Cr), одержаних методом електронно-променевого випаровування-конденсації [1–2].

Поверхня конденсатів та перерізу зразків, паралельні та перпендикулярні паровому потоку, злами матеріалу (після механічних випробувань), а також поверхню та перерізу контактів комутаційних апаратів (після стендових та натурних випробувань) піддавали мікροструктурним дослідженням.

Встановлено вплив шорсткості поверхні підкладки на морфологію поверхні та особливості структури конденсату в його перерізах. Для молібден-мідного конденсату (МДК) властива шаруватість з ієрархією макро-, мікро- та субмікрорівнів та різною структурою шарів. При цьому для шарів, збагачених міддю, характерна переважно ізотропна структура, що складається з розорієнтованих полігональних зерен (рис. 1, *а*) або частинок сфероїдальної і сочевицеподібної форм, диспергованих в матриці на основі міді (рис. 1, *б*). Для шарів, збагачених молібденом, характерна анізотропна (стовпчаста) структура (рис. 1, *в*).

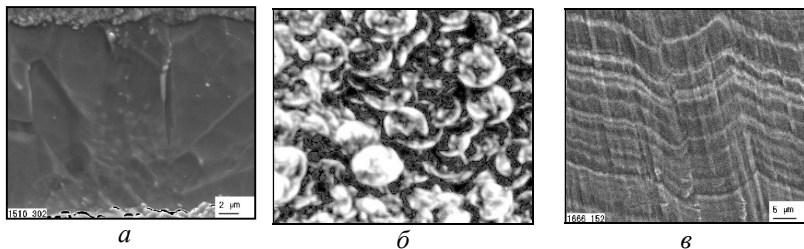


Рис. 1. Структура композиційного матеріалу Cu–Zr–Y–Mo

Комутаційні випробування показали, що у такому градієнтному матеріалі зміни хімічного складу шарів можуть обмежувати зону термічного впливу розряду. У контактів з парофазних конденсатів у низці типів комутаційних апаратів спостерігаються менші обсяги вторинної структури (рис. 2), чому відповідає підвищення стійкості порівняно з порошковими контактами.

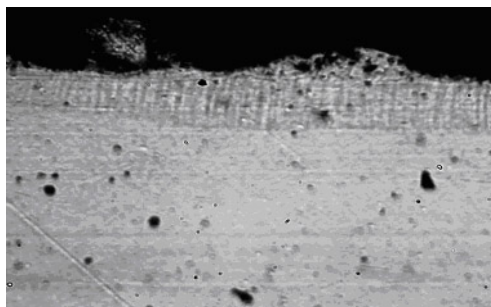


Рис. 2. Типова структура зовнішнього шару матеріалу МДК-3 після комутаційних випробувань (×150)

Матеріали МДК мають ряд переваг: їх отримують за один технологічний цикл, вони дешевші за аналоги, одержувані методами порошкової металургії (в 1,5–1,7 раза) і суттєво (в ~4 рази) дешевші за срібловмісні контакти. За експлуатаційною надійністю МДК не поступаються матеріалам на основі срібних композицій. Витримують максимальну величину комутаційного струму до 1200 А. Матеріали МДК добре обробляються різанням, штампуванням, шліфуванням, свердлінням, легко паяються будь-якими з відомих способів паяння з використанням стандартних срібних і безсрібних припоїв.

Найбільш ефективні сфери застосування МДК: міський транспорт (контакти, що використовуються в міських трамваях, тролейбусах, потягах, метро); ліфтове господарство (пасажирські та вантажні ліфти); портові, корабельні крани та інші підйомно-транспортні механізми; електрокари всіх типів; гірничо-шахтне обладнання; промислові та побутові електротехнічні пристрої, що містять реле, пускачі, контактори, рубильники тощо; міжміський електротранспорт (електровози, тепловози, електрички).

До цього часу вироблено понад 15 т електроконтактних матеріалів МДК, з яких виготовлено понад 1,5 млн шт. електричних контактів 376 типорозмірів відповідно до технічних умов України ТУ У 31.20113410-003-2002.

Загальний вигляд розривних контактів показано на рис. 3, *а*. Композиційні матеріали МДК успішно використовуються для виготовлення ковзних контактів. По довговічності зазначені контакти перевершують контакти на основі вуглецевмісних матеріалів приблизно в 8–12 разів. Загальний вид ковзного контакту показано на рис. 3, *б*.



Рис. 3. Загальний вид контактів: розривних (*а*) та ковзного (*б*), виготовлених із застосуванням матеріалу МДК

Композиційні матеріали на основі вольфраму та міді, що виготовляються методами порошкової металургії, традиційно використовуються як сильноночі електричні контакти масляних, маломасляних, елегазових вимикачів, а останнім часом і деяких типів вакуумних. Альтернативою порошковим матеріалам можуть бути парофазні вольфрам-мідні композити. Проведено дослідження композиційних матеріалів системи Cu-Zr-Y-W в інтервалі концентрації вольфраму 5–60 % (мас.). Під час вивчення зазначених композицій встановлено, що при конденсації на нерухому підкладку формується градієнтний шаруватий матеріал, для якого характерна ієрархія шарів з різноманітною структурою.

В інтервалі вмісту вольфраму 40–60 % (мас.) у шарах переважає стовпчаста структура, що нерідко об'єднує шари не тільки різних ієрархічних рівнів, а й усі шари по товщині конденсату (рис. 4). Діаметр стовпців не перевищує 100 мкм. Матеріал стовпців є композиційним з розміром частинок вольфраму в матриці на основі міді менше 1 мкм. Таким чином, парофазний конденсат на основі вольфраму та міді є шаруватим, градієнтним з реалізацією ефекту дисперсного зміцнення.

Конденсати Cu-Zr-Y-Cr у вихідному стані при вмісті хрому 35–50 % (мас.) мають шарувату структуру з ієрархією розмірів цих шарів: присутні шари макро-, мікро-і субмікрорівнів. Останні два рівні поєднуються анізотропією нормального зростання, що сприяє формуванню стовпчастості в межах кількох шарів конденсату (рис. 5).

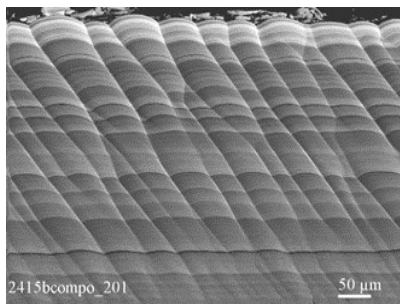


Рис. 4. Типова структура конденсованих з парової фази КМ Cu-Zr-Y-W з вмістом вольфраму 40-60% (мас.)

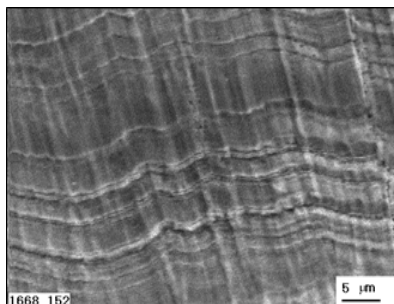
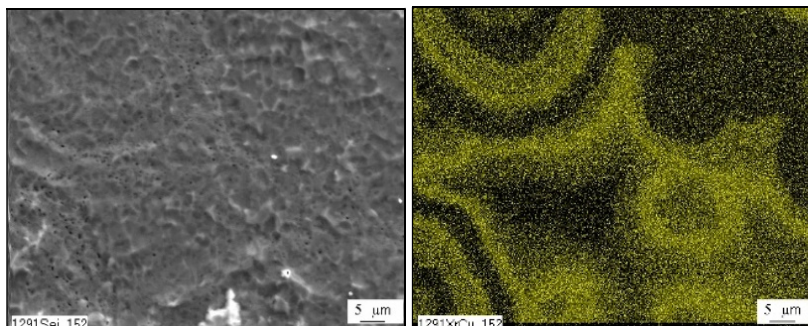


Рис. 5. Типова структура конденсованих з парової фази КМ Cu-Zr-Y-Cr з вмістом хрому 35-50 % (мас.)

Широка концентраційна область існування стовпчастої структури дозволяє зробити припущення про єдину природу масопереносу в цій області та сильно нерівноважний характер матеріалу конденсату (рис. 6).



a

б

**Рис. 6. Особливості структури КМ Cu-Zr-Y-Cr із вмістом хрому 35-50% (мас.):
a – полігональна структура зерен у вторинних електронах;
б – ознаки розпаду пересиченого твердого розчину (зображення в рентгенівських променях міді)**

Під впливом температури та часу в перерізі шару, перпендикулярному стовпцям, утворюється зеренна, полігональна структура з ознаками розпаду пересиченого твердого розчину.

Література

1. Grechanyuk, V. G., Grechanyuk, N. I., Chornovol, V. O., Grabina, T. D., Kozyreva, Y. I. Copper and Molybdenum-Based Nanocrystalline Materials / Metallofizika i Noveishie Tekhnologii, 2022, 44(7), pp. 927–942.
2. Grechanyuk, M. I., Grechanyuk, V. G., Shapovalov, V. A., Kozyrev, A. V., Gots, V. I. Massive Microporous Composites Condensed from the Vapour Phase / Nanosistemi, Nanomateriali, Nanotehnologii, 2022, 20 (4), pp. 883–894.

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ Cu–Zr–Y–Mo (W, Cr)

Гречанюк В. Г.^{1,2}, Гречанюк М. І.³, Шаповалов В. О.², Апанасенко В. Ю.¹

*¹Київський національний університет будівництва і архітектури
м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, E-mail: eltechnic777@ukr.net*

²Інститут електрозварювання ім Є.О.Патона, м. Київ 0350, Малеви́ча, 11

*³Інститут проблем матеріалознавства НАН України,
м. Київ, Крижанівського, 3*

Конденсовані з парової фази композиційні матеріали (КМ) системи Cu–Zr–Y–Mo (W, Cr) знайшли найбільше промислове застосування в різних галузях для розривних та ковзаючих електричних контактів [1, 2]. Матеріали Cu–Zr–Y–Mo отримали назву МДК. Вони сертифіковані та випускаються згідно з технічними умовами України ТУ У 20113410.001-98. Технологію їх виготовлення захищено патентом України [3]. Зазначені матеріали отримували на електронно-променевої установці Л-2. [4]. Вони відрізняються досить високою твердістю, міцністю, електропровідністю та задовільною пластичністю (див. табл. 1). Збільшення вмісту молібдену у системі відповідає зростанню міцності та твердості, але зниженню пластичності. Після процесу відпалу при температурі 900 °С протягом 1 години межа міцності для всіх конденсатів незначно зменшується, а пластичність підвищується.

В роботі також проведені дослідження механічних властивостей композиційного матеріалу Cu–Zr–Y–W. Зміна властивостей конденсованого вольфрам-мідного матеріалу у вихідному і відпаленому станах при випробуванні на розтягування залежно від вмісту вольфраму показана на рис. 1. З наведених результатів видно, що механічні властивості КМ Cu–Zr–Y–W підвищуються в діапазоні концентрацій вольфраму 35–55 % (мас.).