

качувальною системою і призначена в основному для переплаву тугоплавких металів і сплавів, рудних концентратів, отримання W і Mo безпосередньо з оксидів та ін. Продуктивність установки до 300 т злитків чи слябів на рік (рис. 1).



Рис. 1. Загальний вид електронно-променевої установки L4 для переплаву високочистих металів і сплавів

Література

1. Industrial electron-beam installation L-4 for melting and vacuum refining of metals and alloys / N. I. Grechanyuk, P. P. Kucherenko, A. G. Melnik, I. N. Grechanyuk, Yu .A. Smeshnyuk // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2016. – № 55 (7–8). – P. 489–495.

ОТРИМАННЯ ГРАДІЄНТНОГО КОМПОЗИЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ Cu–Fe МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ВИПАРОВУВАННЯ-КОНДЕНСАЦІЇ

Маценко О. В.

Київський національний університет будівництва і архітектури

м. Київ, Повітрофлотський проспект, 31, 03037, Україна

E-mail: ardna@ukr.net

Перспективи використання конденсатів великої товщини спонукають на вирішення технологічних завдань. Матеріалознавчі завдання структурної інженерії задаються вимогами до функціональних властивостей виробів, в яких використання конденсованих матеріалів доцільно. Найважливіша перевага таких матеріалів – можливість отри-

мання заданих властивостей, що дозволяє спрямовано регулювати міцність, жорсткість, рівень робочих температур та інші властивості шляхом підбору складу, зміни співвідношення компонентів та макроструктури композиту.

Практично необмежені можливості в конструюванні мікрошаруватих матеріалів відкриває електронно-променева технологія [1]. Електронний промінь, маючи найбільший коефіцієнт поглинання енергії, значний діапазон потужності і концентрації енергії, використовується як ефективний технологічний інструмент при виготовленні тонких (до 5 мкм) покриттів із композиційних матеріалів (КМ) для радіотехніки, мікроелектроніки та обчислювальної техніки, а також КМ товщиною більше за 5 мкм, що використовуються, як захисні, зносостійкі та ерозійностійкі покриття на вироби різного призначення.

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

Таблиця 1

Вихідні матеріали для виготовлення конденсатів Cu–Fe

Cu	МО-МЗ	ГОСТ 859–78
Fe	Армко, Ст3	ГОСТ 3836–83; ГОСТ 380–94
Ni	H-0; H-1у; H-1; H-2; H-3; H-4	ГОСТ 492–73; ГОСТ 849–97
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

Для виготовлення конденсату використовували мідь в зливках $d = 100$ мм, $l < 40$ мм, які після вакуумного дугового переплаву надавали проточуванню на чистовий розмір $d = 98,5$ мм $\pm 0,1$ мм. Залізо і нікель $d = 70$ мм і $l < 250$ мм використовували після вакуумного дугового переплаву в секційному водоохолоджувальному кристалізаторі в середовищі очищеного аргону. Отримані зливки заліза та нікелю проточували до $d = 68$ мм $\pm 0,1$ мм, що виключало їх заклинювання в тиглі в умовах випаровування. При підготовці процесу конденсації ці зливки, як і мідний, додатково засвердлювали для розміщення наважок легуючих елементів. Останні використовували у вигляді обезжиреної та висушеної стружки сплаву Zr–Y. Вибір легуючих елементів передбачав їх здатність прискорювати швидкість випаровування міді: цир-

коній спроможний підвищити швидкість випаровування в 2 рази. Ра-зом з ітрієм, вони сприяють утворенню ванни-посередника, що скла-дається переважно з мідь-цирконій-ітрієвої матриці евтектичного складу і анізотропних частинок сполуки $ZrCu_4$ (досягають довжини рівної глибини ванни), що розподілені в цій матриці.

Такі природа і морфологія структурних складових забезпечу-ють швидкість випаровування 40–60 мкм/хв.

Підкладку для конденсату виготовлювали із Ст3 діаметром 800–1000 мм, товщиною 20 мм. Поверхню підкладки, на яку здійсню-ється осадження, піддавали фрезеруванню та шліфуванню до отри-мання шорсткості $Ra = 0,63$ (ГОСТ 2769–73).

Технологічному етапу отримання конденсату передували ви-бір за складом і властивостями матеріалу для виготовлення з нього розділового шару на підкладці. За умов отримання конденсованих КМ раніше в якості розділового шару використовували діоксид цирконію, стабілізований оксидом ітрію. Від такого за складом розділового шару відмовились через його руйнування при механічному відділенні і небажані залишки на поверхні конденсату, які унеможливили ви-готовлення з нього контакт деталей – паянням. Аналіз з цього приводу інших сполук з такими характеристиками як:

- термодинамічна стабільність ($\Delta G_{298} = 1162,4$ кДж/моль);
- достатній рівень температури плавлення (1400 °С);
- розчинність в гарячій воді;
- низка вартість,

засвідчив, що найбільш прийнятним є фторид кальцію, CaF_2 . В зв'язку з цим, отримання конденсату в цій роботі відбувалося за умов попе-реднього нанесення CaF_2 на підкладку із Ст3 шорсткістю $Ra = 0,63$ на-гріту до 700 °С.

Фторид кальцію наносили випаровуванням із лунки, яку за-свердлювали в перетині залізного електроду. Залежно від умов взаємо-дії в системі Fe–Cu– CaF_2 -середовище спостерігаються різні морфо-логічні типи структури розділового шару, що виявляються при меха-нічному відділенні конденсатів. Встановлено, що основними з них є плівки з кристало-хімічними особливостями твердіння складових сплаву в системі Ca–F–Fe–Cu-середовище, тонкого шару композиційного ма-теріалу Fe– CaF_2 без ознак міжфазної взаємодії та осад наночастин-кового металевого парового потоку.

Через різноманітність рельєфу і дисперсності такого шару однорідність технологічного шару забезпечували нанесенням з паро-вого потоку нанодисперсного шару міді.

За умов неконтрольованого зародження і руху тріщин вздовж межі підкладка – розділовий шар – конденсат з'являється можливість

спостереження особливостей формування структури конденсату в паровому потоці його складових.

Це формування починається з закріплення на поверхні розділового шару з боку ванни-випарника зародкових частинок сферичної або сфероїдальної форми субмікронних розмірів, утворення на них дендритоподібних волокон, що зростають і об'єднуються в стовпці, агрегати. Ці стовпці можуть зростати в межах товщини конденсату або її окремих ділянок.

За умов об'єднання їх меж на одному рівні виникає шаруватість конденсату. Шаруватість мало помітна за умов мікроаналізу структури при вмісті заліза до 6 мас.% Fe. Особливості мікро-структури Cu-Fe конденсату пов'язані із розвитком стовбчастої та шаруватої структури і впливом викидів рідкої фази, яка може порушувати формування цих шарів і стовпців.

Мікроструктурний аналіз поверхні конденсату в залежності від вмісту основних складових дозволяє зробити припущення про суттєвий вплив заліза на агрегатний склад парового потоку, що надходить до технологічного шару та формує конденсат. При малому вмісті заліза до поверхні цього шару приєднуються частинки дисперсної фази, розмір їх конгломератів не перевищує 2,5 мкм, а самі частинки не перевищують розміри 10^{-2} мкм. Із збільшенням вмісту заліза і реалізацією взаємодії в системі Cu-Fe-O (в якій присутність рідкої фази відповідає потрібній діаграмі стану) [2] макроструктура поверхні змінюється – відбувається сфероїдизація частинок, яка сприяє формуванню стовпців, з'являються ознаки утворення безструктурної плівки. Остання спостерігається на поверхні конденсату і на частинках в його перетині.

Накопичений матеріал електронно-мікроскопічного спостереження дає підстави стверджувати, що кожний стовпчик зростає шляхом нормального приєднання до зародкових сфероїдальних частинок, форма і розміри яких змінюються через процеси коалесценції, коагуляції та консолідації з утворенням агрегатів.

Структура зовнішнього шару агрегатів свідчить про те, що конденсація відбувається в присутності рідкої фази після переходу парової фази в рідку: частинки в стовпцях від розділового шару мають переважно сферичну форму. Кількість частинок інших форм зростає із збільшенням розміру агрегату і відповідає діючому градієнту температур між сталеву підкладкою, що нагрівається до 700 °C, і ванною-випарником. Спостерігається перехід від механізму конденсації пари в кристал по механізму: пара → рідина → кристал і таким чином – дію двох механізмів конденсації: пара → кристал та пара → рідина → кристал. Через подвійний механізм конденсації, що обумовлює мікро-

гетерогенний характер конденсату, виникають аномалії в структурі і властивостях (особливо структурно чутливих). Такою аномалією, пов'язаною із впливом рідкої фази, на наш погляд, є згадані стовпці, що складаються із сферичних та сочевицеподібних частинок. Як вже згадувалось напрямом таких стовпців пов'язаний із паровим потоком, а морфологія – з низкою фізико-хімічних факторів, в т.ч. з процесом коагуляції і коалесценції рідкоподібних частинок.

Методом високошвидкісного випаровування-конденсації виготовлено конденсований матеріал із вмістом заліза від 2,66 до 84,6 мас.%. Виявлено характер самоорганізації структури конденсату за умов його формування. Він пов'язаний із зародженням і зростанням волоконць, утворенням дендритів на їх основі, формуванням агрегатів з них, ущільненням елементів структури під час масопереносу матеріалу на підкладку. Під впливом шорсткості підкладки і неоднорідностей структури матеріалу розділового шару в об'ємі конденсату виникає спадковість рядків і меж, що впливає на його структуру і властивості.

Література

1. Laboratory Electron-Beam Multipurpose Installation L-2 for Producing Alloys, Composites, Coatings, and Powders / Grechyanyuk N. I., Baglyuk G. A., Kucherenko P. P., Melnik A. G., Grechyanyuk I. N., Grechyanyuk V. G., Smashnyuk Y. A. // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2017. – № 56 (1). – P. 113–121.
2. Critical assessment and thermodynamic modeling of the Cu–Fe–O-system / D. Shishin, T. Hidayat, E. Jak, S. A. Decterov // Calphad. 2013. – № 41. – P. 160–179.