

УДК 621.793.7

Калужний С.М., мол. наук. співробітник
 Войнарович С.Г., канд. техн. наук, стар. наук. співробітник
 Кислиця О.М., канд. техн. наук, стар. наук. співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України, м. Київ, serg3319@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ РОЗПИЛЮВАНОВОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ МІКРОПЛАЗМОВОМУ НАНЕСЕННІ БІОСУМІСНОГО ПОКРИТТЯ ІЗ ЦИРКОНІЄВОГО СПЛАВУ КТЦ-110

Можливості використання методів плазмового напилення для отримання покриттів медичного призначення активно досліджуються в усьому світі [1]. В даний час з'являється все більше досліджень застосування цирконію і його сплавів в якості матеріалу для покриттів на поверхнях імплантатів та ендопротезів. Цирконієві сплави володіють високими фізико-механічними показниками, біосумісністю, корозійною стійкістю та рідше викликають реакції відторгнення у пацієнтів [2].

Одним з основних показників ефективності процесу плазмового напилення покриттів є коефіцієнт використання матеріалу (КВМ). КВМ представляє собою відношення маси отриманого покриття до маси поданого в плазмовий струмінь розпилюваного матеріалу, що також характеризує ефективність процесу напилення. Дані втрати напилюваного матеріалу в процесі плазмового напилення виникають за рахунок розбризкування, випаровування і відскоку диспергованих частинок від підкладки. Також, у разі нанесення покриттів на деталі малих розмірів, коли розмір плями напилення перевищують розмір напилюваної поверхні, з'являються втрати напилюваного матеріалу пов'язані з геометричним фактором. Підвищення ефективності використання напилюваного матеріалу газотермічними методами, можливе із застосуванням технології мікроплазмового напилення (МПН) [3], за рахунок малого діаметру плями напилення, що дозволить значно зменшити втрати напилюваного матеріалу, у випадку формування покриттів на малорозмірних деталях, в порівнянні із традиційним плазмовим напиленням.

Метою даного дослідження є встановлення закономірності впливу на КВМ основних параметрів МПН Zr-дроту, а також проаналізувати залежності втрат напилюваного матеріалу від розмірів напилюваного виробу. Для аналізу втрат матеріалу пов'язаних з геометричним фактором та КВМ проводили дослідження із застосуванням багатофакторного експерименту з дробовими репліками 2^{4-1} . Для розпилення Zr-дроту із сплаву марки КТЦ-110 діаметром (0,3)мм, на підкладку із сталі Ст3 розміром 30×30 мм завтовшки 1,3мм використовували установку мікроплазмового напилення МПН-004. Розпилення Zr-дроту проводили згідно матриці режимних параметрів приведених в табл. 1. Таблиця 1 – Показники КВМ та параметри фігури металізації в залежності від режиму МПН Zr-дроту.

Режим	Параметри напилення					КВМ, (%)		Параметри фігури металізації	
	Сила струму I, А	Витрата газу		Дистанція напилення Н, мм	Швидкість подачі дроту $V_{др}$, м/хв	Експериментальний	Розрахунковий	Висота h, мм	Ширина L, мм
		Плазموутворюючого $G_{пл}$, л/хв	Захисного G_z , л/хв						
1	26	4	10	80	4,8	85	85	1,25	11,3
2	26	4	10	40	2,9	91	89	2,10	8,5
3	26	2,6	10	80	2,9	91	91	1,60	9,5
4	26	2,6	10	40	4,8	91	92	5,23	7,2
5	16	4	10	80	2,9	88	88	1,27	10,0
6	16	4	10	40	4,8	90	89	4,41	7,8
7	16	2,6	10	80	4,8	94	92	2,67	10,0
8	16	2,6	10	40	2,9	95	95	2,58	8,6

Коефіцієнт використання матеріалу визначали за формулою:

$$KBM = \frac{m_p}{m_{др}} \cdot 100 \quad (1)$$

де m_p – маса покриття;

$m_{др}$ – маса поданого дроту.

Для оцінки впливу кожного режимного параметра МПН на величину KBM була отримана регресійна залежність:

$$KBМ_{Zr} = 111,67 - 0,19 \cdot I - 0,06 \cdot G_{пл} - 0,06 \cdot H - 0,73 \cdot V_{др} \quad (2)$$

Найбільший вплив на KBM надають такі параметри МПН, як сила струму та витрата плазмоутворюючого газу. Дані параметри є основними для забезпечення розпилення цирконієвого дроту, а саме плавлення та диспергування цирконієвого сплаву з наданням прискорення розплавленим частинкам. У досліджуваних діапазонах режимних параметрів МПН (таблиця 1) цирконієвого сплаву КТЦ-110, максимальне значення KBM = 95%, та було отримано на режимі №8.

Дослідження втрат напилюваного матеріалу пов'язаних з геометричним фактором проводили із застосуванням макрозйомки та отриманням зображення фігур металізації, як показано на рис. 1 для режиму №4. Отримані профілі фігур металізації були описані розподілом Гауса (формула 3) та побудовані співпадаючі з ними криві рис. 1 (б), (коефіцієнт кореляції знаходився в межах 0,98...0,99). По отриманим описуючим кривим профілю металізації проведені розрахунки втрат матеріалу пов'язаних з геометричним фактором в залежності від режимних параметрів МПН (таблиця 1).

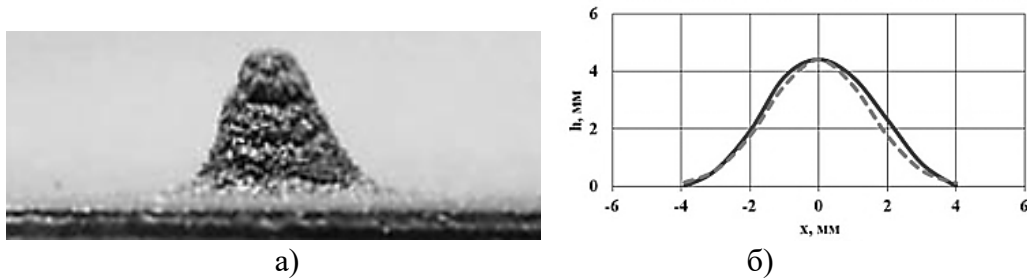


Рис. 1 – Фігура металізації отримана розпиленням цирконієвого дроту методом МПН на режимі №4 та її профіль поперечного перерізу: — — експериментальний профіль отриманий при МПН (таблиця 1); — — графік нормального Гаусівського розподілу.

$$y = 4,41 \times e^{-0,23x^2} \quad (3)$$

Отримані геометричні розміри профілів плям напилення показали, що при МПН Zr сплаву КТЦ-110 висота фігур металізації знаходиться в діапазоні 1,25...5,23 мм, а діаметр плями напилення в межах 7,2...11,3 мм. Втрати напилюваного Zr сплаву КТЦ-110, що пов'язані з геометричним фактором, знаходяться в діапазоні 47...65% при середньому діаметрі напилюваної ділянки 2 мм. Мінімальні розрахункові втрати, пов'язані з геометричним фактором, досягаються на режимі №4 (Таблиця 1) та складають 47%, при МПН ділянки діаметром 2 мм, і менше 1% при напиленні на ділянку діаметром 8 мм.

Список посилань

1. Cizek, J. Medicine Meets Thermal Spray Technology [Text]/ J. Cizek, J. Matejicek // Review of Patents. – Journal of Thermal Spray Technology 27(8) (2018). P. 1251–1279.
2. Eliaz, N. A. Corrosion of Metallic Biomaterials [Text]/ N. A. Eliaz // Review. Materials, 12 (3) (2019) P. 407.
3. Voinarovych, Sergii G. Fabrication and characterization of Zr microplasma sprayed coatings for medical applications [Text]/ Sergii G. Voinarovych, Darya L. Alontseva, Oleksandr N. Kyslytsia, Sergii Kaliuzhnyi, Alexandr R. Khozhanov, Alexander Krasavin, Tatyana Kolesnikova // Advances in Materials Science. Vol. 21: Issue 2 (2021). P. 93 – 105.