УДК 621.793.7

Калюжний С.М., канд. техн. наук
Войнарович С.Г., канд. техн. наук, ст. наук. співробітник
Кислиця О.М., канд. техн. наук, старший дослідник
Свірідова І.С., канд. техн. наук
Максимов С.Ю., докт. техн. наук, чл.-кореспондент НАНУ
Теплюк В.М., зав. групи
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, 14dep_pwi@ukr.net

ФОРМУВАННЯ ПОКРИТТЯ МЕТОДОМ МІКРОПЛАЗМОВОГО НАПИЛЕННЯ ІЗ ПОРОШКУ ГІДРОКСИЛАПАТИТУ, ЛЕГОВАНОГО СРІБЛОМ

Розвиток бактеріальних інфекцій в зоні встановлення ортопедичного імплантату є однією із проблем, що потребує нових рішень, які якісно будуть відрізнятимуться від традиційної медикаментозної антибактеріальної терапії та спричиняти менш згубний вплив на організм пацієнта [1]. Зосереджено увагу на пролонговану антибактеріальну дію, спрямовану до зменшення розвитку бактеріальних інфекцій у місці контакту живої тканини та поверхні імплантату. Відомо, що покриття металевого імплантату гідроксилапатитом підвищує успішність остеоінтегрування імплантованого виробу в кісці [2]. Останнім часом почали застосовувати гідроксилапатит, у склад якого додають такі легуючі добавки, як срібло. Іони срібла мають властивості знижувати розвиток бактеріальних інфекцій, що є особливо актуально при встановленні імплантатів пацієнтам із кульовими, чи осколковими пораненнями кісток, отриманими в зоні бойових дій.

Відомі різні методи, що застосовуються для отримання покриттів із гідроксилапатиту, серед яких набуває поширення метод мікроплазмового напилення (МПН) [3]. Проте насьогодні недостатньо представлено інформації стосовно механізму формування покриттів МПН із гідроксилапатиту, легованого сріблом (Hap+Ag), та впливу технологічних параметрів на проплавлення частинок порошку, з яких формується структура покриття. Тому мета роботи була в дослідженні впливу технологічних параметрів МПН на проплавлення частинок напилюваного порошку із (Hap+Ag).

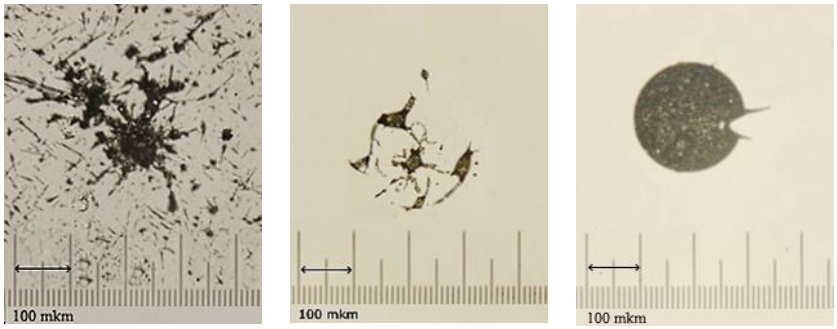
Для вивчення впливу параметрів режиму МПН, таких як сила струму (I, А), витрата плазмоутворюючого газу ($Q_{пл}$, л/год), дистанція напилення (H, мм) та розмір напилюваних частинок порошку ($D_ч$, мкм), на проплавлення частинок порошку (Hap+Ag), було використано методику «сплет-тесту». План експерименту був побудований за допомогою методу математичного планування згідно матриці напівреплiки 2^{4-1} (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця для дослідження впливу параметрів режиму МПН на стан часток порошку (Hap+Ag) при напиленні.

№ режиму	I, А	$Q_{пл}$, л/год	H, мм	$D_ч$, мкм
1	45	2	160	90
2	45	2	80	50
3	45	1	160	50
4	45	1	80	90
5	35	2	160	50
6	35	2	80	90
7	35	1	160	90
8	35	1	80	50

З отриманих результатів сплет-тесту встановлено вагомий вплив на проплавлення частинок (Hap+Ag) таких досліджуваних факторів МПН, як сила струму та дистанція

напилення, крім того було відзначено суттєвий вплив розміру частинок порошку. Так із аналізу зовнішнього вигляду сплетів частинок (Hap+Ag) (рис. 1) виявлено, що повне проплавлення напилюваного матеріалу відбувається на всіх режимах МПН окрім №7 (табл. 1). Це пояснюється мінімальним значенням сили струму та більшим розміром частинок (Hap+Ag), завдяки чому відбувалося неповне їх розплавлення. Крім того, при довгій дистанції напилення збільшується час руху частинок (Hap+Ag) поза зоною дії мікроплазмового струменя, що призводить до охолодження та затвердіння значної кількості рідкої фази (Hap+Ag). За таких умов, на поверхні основи, з якою взаємодіяли частинки порошку при напиленні, спостерігаються закріплені залишки рідкої фази поверхневого шару частинок порошку (рис. 1, режим 7). На відміну від режиму №7 на режимі №2 сплети формувалися із перегрітих частинок порошку, для яких характерна значна кількість крапель рідкої фази матеріалу навколо сплету (рис. 1, режим 2). Перегрів сплетів пояснюється сумісним впливом параметрів МПН із великим значенням сили струму 45 А, найменшим значенням дистанції напилення 80 мм та розміру частинок напилюваного матеріалу 50 мкм. З огляду зовнішнього вигляду сплетів режим №6 із значенням сили струму 35 А та найбільшим значенням витрат плазмоутворюючого газу 2 л/год призводить до зменшення температури мікроплазмового струменю і як наслідок спостерігалося зниження вірогідності перегріву частинок порошку та фазових перетворень в покритті із (Hap+Ag). Водночас великі розміри частинок 90 мкм та коротка дистанція напилення в 80 мм сприяли зниженню швидкості та меншому деформуванню частинок, що при достатній кількості рідкої фази дозволяло їм закріплюватися на поверхні основи та формувати сплети типової округлої форми.



Режим №2 Режим №7 Режим №6

Рис. 1 – Сплети частинок (Hap+Ag) при різних режимах МПН

Опубліковані результати отримані в рамках реалізації проєкту № 032/0070 від 03.03.2025. «Розробка інноваційних біосумісних антибактеріальних покриттів та технології їх нанесення на ортопедичні імплантати для застосування при лікуванні травм у військовослужбовців та цивільних громадян», за грантової підтримки Національного фонду досліджень України в рамках конкурсу «Наука для зміцнення обороноздатності України».

Список посилань

1. Staphylococcus aureus aggregates on orthopedic materials under varying levels of shear stress / Tripti Thapa Gupta [et al.] // Applied and environmental microbiology. – 2020. – Vol. 86, no. 19. – Mode of access: https://doi.org/10.1128/aem.01234-20

2. Robert B. Heimann. Plasma-sprayed osseoconductive hydroxylapatite coatings for endoprosthetic hip implants: phase composition, microstructure, properties, and biomedical functions / Heimann Robert B. // Coatings. – 2024. – Vol. 14(7) – 787. – Mode of access https://doi.org/10.3390/coatings14070787

3. Microplasma-sprayed titanium and hydroxyapatite coatings on Ti6Al4V alloy: in vitro biocompatibility and corrosion resistance: Part II / Darya Alontsev [et al.] // Johnson matthey technology review. – 2025. – Vol. 69, no. 1. – P. 59–75. – Mode of access https://doi.org/10.1595/205651325x17290035905758