

УДК 621.793.7.
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ
ПОКРИТТІВ ПІСЛЯ ПЕРЕДРЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Карпеченко А. А.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри вищої математики
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
anton.karpchenko@nuos.edu.ua*

Бобров М. М.

*кандидат технічних наук,
асистент кафедри матеріалознавства і технології металів
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
laborantmtm@gmail.com*

Лабарткава О. В.

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри зварювального виробництва
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
oleksandr.labartkava@nuos.edu.ua*

Лабарткава А. В.

*кандидат технічних наук,
професор кафедри зварювального виробництва
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
andreynuk@gmail.com*

Токарева О.В.

*науковий співробітник,
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
olga.tokareva@nuos.edu.ua*

Данько С.В.

*науковий співробітник,
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
danserdan77@gmail.com*

Анотація. У роботі досліджено можливість застосування передрекристиалізаційної термічної обробки для підвищення комплексу властивостей композиційних електродугових покриттів систем дріт Св-08Г2С–Al₂O₃ та дріт 65Г–TiC. В результаті такої обробки спостерігається максимальне підвищення мікротвердості металевої матриці на 54% та 38% відповідно. Експериментальними дослідженнями міцності зчеплення покриттів з металевою основою

встановлено, що передрекристалізаційна термічна обробка забезпечує її підвищення на 15...20% у порівнянні з покриттями після напилення.

Ключові слова: електродугове напилення, композиційні покриття, термічна обробка, мікротвердість, міцність зчеплення.

Вступна частина. Формування функціональних композиційних покриттів забезпечується за рахунок застосування металічних матеріалів та наповнювачів [1] або плакованих порошків [2]. На практиці реалізовано нанесення таких покриттів в основному шляхом використання різновидів плазмового та високошвидкісного методів. Авторами робіт [3, 4] пропонується використання модернізованого розпилювача та порошку зміцнюючої фази у вільному вигляді для нанесення покриттів різноманітних складів. Запропонованим способом нанесено металополімерні [3], металокерамічні та металокарбідні композиційні покриття [4].

Значного підвищення та забезпечення унікальних властивостей металічних та композиційних покриттів можливо досягти шляхом цілеспрямованого формування здрібненої мікро- і нанокристалічної структури. Перспективним є формування саме наноструктурованих напилених покриттів шляхом застосування низки способів. Більшість з них пов'язані з нанесенням агломерованих порошків з нанорозмірними частинками [5]. Також використовують подачу ультрадисперсних порошків до високотемпературного струменя при напиленні за допомогою суспензій [6]. Досить перспективними вважаються способи формування нанокристалічного стану в поверхневому шарі за рахунок, наприклад, ультразвукового ударного оброблення [7], електромеханічної обробки напилених покриттів [8]. Автори роботи [9] вказують на альтернативу – застосування передрекристалізаційної термічної обробки (ПТО) для формування нанорозмірної полігонізаційної субструктури для підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей металевих плазмових та електродугових покриттів. Однак на даний час відсутні дослідження щодо можливості застосування ПТО для ряду перспективних композиційних електродугових покриттів.

Метою роботи є дослідження впливу температурно-часових параметрів ПТО на рівень фізико-механічних та експлуатаційних властивостей функціональних композиційних електродугових покриттів.

Основна частина. Об'єктом досліджень обрано: електродугові металокерамічні покриття з композиції дріт Св-08Г2С – порошок оксиду алюмінію (Al_2O_3) та металокарбідні покриття – дріт 65Г – порошок карбіду титану (TiC). Для формування зазначених покриттів застосовували комплект електродугового напилення КДМ-2, який оснащений модернізованим розпилювачем ЕМ-14М з вузлом подачі порошку зміцнюючої фази до високотемпературної зони дугового розряду [10]. Оптимальний режим нанесення зазначених покриттів встановлено у роботах [3, 4, 11]. ПТО зразків проводили за допомогою «Надвисоковакуумного універсального технологічного комплексу ВВУ-1 Д».

В результаті ПТО визначено оптимальні температури для металевої матриці композиційних покриттів з дрітів Св-08Г2С (450 °С) та 65Г (400 °С). Однак тривалість витримки при введенні зміцнюючої фази до складу покриття може змінюватися внаслідок зміни газодинамічних параметрів гетерофазного струменя та фізико-хімічних процесів які протікають при їх формуванні.

Оптимальні температурно-часові параметри ПТО згаданих композиційних покриттів: для Св-08Г2С - Al_2O_3 є витримка протягом 1 хв при температурі 450°С; для покриттів 65Г-TiC – 2 хв при 400 °С при цьому спостерігається максимальне підвищення мікротвердості металевих матриць на 54% та 38% відповідно. Значніший ефект підвищення твердості композиційних покриттів у порівнянні з ненаповненими після ПТО пояснюється додатковим наклепом металевої матриці твердими частинками Al_2O_3 та TiC, що мають високу швидкість при співударі з напилюваною поверхнею.

Металографічні дослідження показали, що для композиційних покриттів характерна типова луската структура та добре диференціюються частинки дисперсної зміцнюючої фази (Al_2O_3 , TiC). Після проведення ПТО структурних змін не спостерігається, пористість залишається на тому ж рівні (близько 8% та 5% відповідно).

Міцність зчеплення композиційних металокерамічних та металокарбідних покриттів з основою визначали на розривній машині УММ-5 за методикою та з використанням матеріалів, описаних у роботі [4]. Після проведення ПТО спостерігається підвищення міцності зчеплення з металевою основою на 15...20% у порівнянні з покриттями після напилення за рахунок зменшення їх внутрішніх напружень.

Висновки. Встановлено оптимальні температурно-часові параметри ПТО композиційних покриттів: для Св-08Г2С - Al_2O_3 є витримка протягом 1 хв при температурі 450°C; для покриттів 65Г-TiC – 2 хв при 400 °C при цьому спостерігається максимальне підвищення мікротвердості металевих матриць та їх міцності зчеплення на 15...20% з металевою основою у порівнянні з покриттями після напилення.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Mal'tseva S. V., Mel'nikova I.P., Lysanikova A. V., Zaharevich A.M. Structure and properties of modified plasma-sprayed composite coatings on a titanium base. *Mechanics of Composite Materials*. 2016. Vol. 52. P. 531 – 534. doi:10.1007/s11029-016-9603-2.
- [2] Borisov Y.S., Borisova A.L., Kolomytsev M.V. High-Velocity Air Plasma Spraying of (Ti, Cr)C–32 wt.% Ni Clad Powder. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*. 2017. Vol.56. P.305 – 315. doi:10.1007/s11106-017-9898-0.
- [3] Карпеченко А.А., Бобров М.М., Лимар О.О. Електродугове напилення композиційних металополімерних покриттів *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2021. № 2. С. 114 – 119. doi:10.31649/1997-9266-2021-155-2-114-119.
- [4] Карпеченко А. А., Бобров М. М., Дубовий О. М., Макруха Т. О., Неделько Є. Ю. Формування композиційних металокерамічних та металокарбідних електродугових покриттів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ». 2021. № 1 (7). С. 9-17. doi:10.20998/2413-4295.2021.01.02*
- [5] Hashemi S.M., Parvin N, Valefi Z. Effect of Addition of Multimodal YSZ and SiC Powders on the Mechanical Properties of Nanostructured Cr_2O_3 Plasma-Sprayed Coatings. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2019. Vol 28. P.544 – 554. doi: 10.1007/s11666-019-00834-8.
- [6] Vaßen R., Kaßner H., Mauer G., Stover D. Suspension Plasma Spraying: Process Characteristics and Applications. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2010. Vol. 19(1-2). P. 219-225. doi: 10.1007/s11666-009-9451-x.
- [7] Васильєв М.О., Мордюк М.О., Сидоренко С.І., Волошко С.М., Бурмак А.П., Кіндрачук М.В. Синтез деформаційних нанокомпозитів на поверхні алюмінієвого сплаву Д16 за допомогою ультразвукового ударного оброблення. *Металофізика та новітні технології*. 2016. №4. С.545-563. doi: 10.15407/mfint.38.04.0545.
- [8] Ivannikov A.Y., Kalita V.I., Komlev D.I., Radyuk A. A., Alpatov A. V., Zakharov I. N., Grigoriev S. N., Prozhega M. V. The Effect of Electromechanical Treatment on Structure and Properties of Plasma-Sprayed Fe-30Cr Coating. *Journal of Thermal Spray Technology*. 2019. Vol 28. P.883 – 892. doi: 10.1007/s11666-019-00868-y.
- [9] Дубовий О.М., Карпеченко А.А., Бобров М.М., Лабарткава О.В., Неделько Ю.Є., Лимар О.О. Підвищення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей електродугових та плазмових покриттів формуванням термічно стабільної здрібненої і нанорозмірної субструктури. *Металофізика та новітні технології*. 2019. № 4. С. 461-480. doi: 10.15407/mfint.41.04.0461.

[10] Дубовий О.М., Карпеченко А.А., Бобров М.М., Мазуренко А.О. Пат. 111760 Україна, МПК C23C 26/02, B05B 7/22. *Пристрій для електродугового напилення композиційних покриттів*. – а 2014 07318; заявл. 01.07.2014; опубл. 10.06.2016, Бюл. №11.

[11] Dubovoy O.M., Karpechenko A.A., Bobrov M.M., Gerasin O.S., Lymar O.O. Electric arc spraying of cermet coatings of steel 65G-TiC system. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. Vol. 2. P. 63 – 68. doi: 10.33271/nvngu/2021-2/063.

Physical And Mechanical Properties Of Electric Arc Composite Coatings After Pre-Crystallization Heat Treatment

Karpechenko Anton, PhD, Associate Professor; Maksym Bobrov, PhD, Associate Professor; Labartkava Aleksandr, PhD, Associate Professor; Labartkava Andrey, PhD, Professor; Tokarieva Olha, Research Assistant; Danko Serhii, Research Assistant; (Admiral Makarov National University of Shipbuilding)

Abstract. The paper investigates the possibility of applying pre-recrystallization heat treatment to improve the complex properties of composite electric arc coatings of Sv-08Г2С–Al₂O₃ wire and 65Г–TiC wire. As a result of this treatment, the maximum increase in the microhardness of the metal matrix is observed by 54% and 38%, respectively. Experimental studies of the strength of adhesion of coatings to a metal base have established that pre-recrystallization heat treatment ensures its increase by 15...20% compared to coatings after spraying.

Key words: electric arc spraying, composite coatings, heat treatment, microhardness, bond strength.