

УДК 621.791.92

Олексієнко С.В., канд. техн. наук, доцент
Ющенко С.М., канд. техн. наук, доцент
Воробей О.М., магістр

Національний університет «Чернігівська політехніка», sv.oleks@ukr.net

Мартиненко В.О., канд. техн. наук, доцент

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв,
martynenko@mnaeu.edu.ua

ДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ МОЛІБДЕНУ НА ГРАФІТ У ВАКУУМІ

Характерний для графіту спектр властивостей забезпечує його широке використання в таких галузях як ядерна енергетика, аерокосмічна, електротехнічна промисловість. Так, наприклад, при виготовленні вузлів ядерних реакторів для підсилення теплового випромінювання використовуються з'єднання графіту з міддю, отримані дифузійним зварюванням у вакуумі. Проте суттєві відмінності фізико-механічних властивостей графіту та міді значно ускладнюють процес дифузійного зварювання у вакуумі, що призводить до розтріскування графіту при поперечній усадці міді [1].

Одним зі шляхів вирішення проблематики виготовлення мідно-графітових вузлів є використання при зварюванні даної пари матеріалів проміжного прошарку з молібдену. Молібден та графіт мають близькі значення коефіцієнта термічного розширення і теплопровідності, а при евтектичній температурі володіють взаємною розчинністю на рівні 1,1 % (ат.) [2]. При цьому при виготовленні вузла С-Мо-Сi товщина прошарку молібдену, яка дозволяє досягти суттєвого зниження величини розтягуючих напружень у графіті, повинна становити декілька міліметрів залежно від розміру вузла [3].

З урахуванням необхідної товщини шару молібдену на поверхні графіту для його нанесення доцільно використати способи дугового наплавлення.

Попередньо виконані нами дослідження [4] способу аргоно-дугового наплавлення молібдену як присадкового матеріалу на графіт з використанням неплавкого вольфрамового електрода показали незадовільну якість наплавленого шару. Відмічено утворення великої кількості пор в наплавленому шарі. Їх виникнення спричинене великою спорідненістю вуглецю (графіту) до кисню при великих температурах та його інтенсивним випаровуванням. Пористість повністю не усувається навіть при тривалому попередньому прогріванні графітових зразків.

Для вирішення зазначеної проблематики було реалізовано спосіб дугового наплавлення молібдену на графіт в середовищі вакууму з використанням спеціально розробленої та виготовленої установки (рис. 1).



Рис. 1 – Блок наплавлення та подачі присадкового матеріалу

У ході досліджень використовувався електротехнічний графіт марки СК та молібден марки МЧВП (дріт діаметром 1,0 мм). Наплавлення здійснювалось на режимах: сила зварювального струму 55 А, швидкість подачі дроту в дугу 10 м/год., попередній прогрів графітових електродів 15 с, висота графітового електроду 25 мм, діаметр зразків графіту 13 мм, глибина вакууму 2 Па. Катодом слугував графітовий електрод, заточений на конус з притупленням, анодом – зразок графіту з конусним заглибленням, в якому утримувалася зварювальна ванна та формувалася при кристалізації прошарок молібдену.

Як і в попередніх дослідженнях, перед початком проведення процесу наплавлення виконували дегазацію графіту. Дуговий розряд між двома електродами збуджувався і тривав 15 с, після чого впродовж 60 с проводилася витримка для відкачування із камери продуктів випаровування. При подальшому наплавленні молібдену і дослідженні зразків встановили, що пористість в шарі молібдену суттєво зменшується, коли кількість циклів дегазації здійснюється не менше трьох разів. Збільшення кількості циклів понад три не призводить до помітних змін (рис. 2).

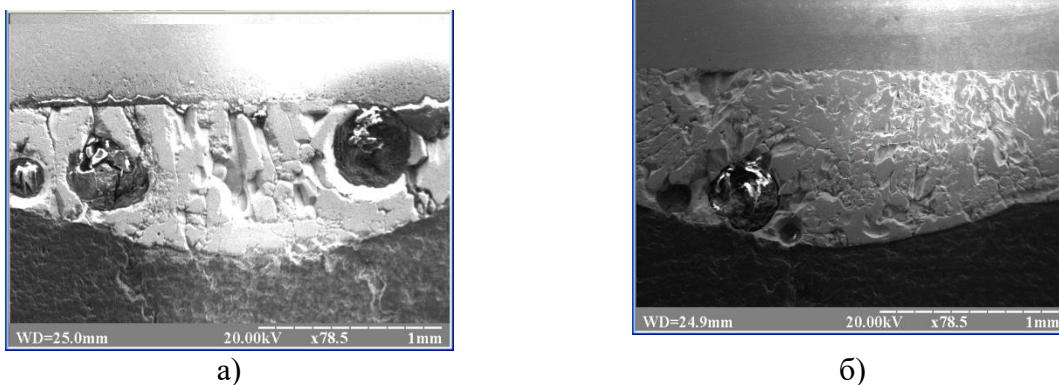


Рис. 2 – Мікрошліфи при одному циклі (а) та при трьох циклах (б) дегазації графіту

Як вказується в роботі [5], у мідно-графітових вузлах, виконаних через прошарок молібдену, рівень максимальних розтягуючих осьових напружень на поверхні графіту знижується в 4 рази вже при товщині прошарку 0,5 мм. При збільшенні товщини прошарку до 1 мм зниження рівня напружень більше, ніж у 6 разів, порівняно з рівнем напружень без прошарку.

Таким чином, реалізація даної технології дозволить при виготовленні мідно-графітових вузлів, отриманих дифузійним зварюванням у вакуумі, усунути небезпеку руйнування графіту після їх охолодження і вилучення із камери.

Список посилань

1. Zhong, Z. Brazing of doped graphite to Cu using stress relief interlayers [Text] / Z. Zhong, Z. Zhou, C. Ge // J. Mater. Process. Tech. – 2009. – No. 5. – P. 2662-2670.
2. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т.: т.1 [Текст] / Под общ. Ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996. – 992 с.
3. Ермолаев, Г.В. Влияние толщины жесткой прослойки на напряженно-деформированное состояние металлографитовых узлов при термическом нагружении [Текст] / Г.В. Ермолаев, В.А. Мартыненко, С.В. Олексенко, А.В. Лабарткава, М.В. Матвиенко // Проблемы прочности. – 2017. – № 3. – С.90-97.
4. Олексієнко С.В. Електродугове наплавлення молібдену на графіт / С.В. Олексієнко, М.М. Руденко, С.М. Ющенко, М.Ю. Найдьон, В.О. Мартиненко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: Матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів: ЧНТУ, 2018. – С. 91-92.
5. Ermolaev G.V., Martynenko V.A., Olekseenko S.V., Labartkava A.V., Matvienko M.V. Effect of the Rigid Interlayer Thickness on the Stress-Strain State of Metal-Graphite Assemblies Under Thermal Loading / Strength of Materials, Vol. 49, No.3, May, 2017, p. 422-428.