

УДК 621.791.92

Олексієнко С.В., канд. техн. наук, доцент

Руденко М.М., ст. викладач

Ющенко С.М., асистент

Найдьон М.Ю., магістрант

Чернігівський національний технологічний університет, [sv.oleks@ukr.net](mailto:sv.oleks@ukr.net)

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

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,

[volodymyr.martynenko@nuos.edu.ua](mailto:volodymyr.martynenko@nuos.edu.ua)

## ЕЛЕКТРОДУГОВЕ НАПЛАВЛЕННЯ МОЛІБДЕНУ НА ГРАФІТ

Графіт завдяки поєднанню таких властивостей як самозмащування, теплопровідність та електропровідність широко використовується в ядерній енергетиці, аерокосмічній, електротехнічній промисловості. Зокрема, при виготовленні вузлів ядерних реакторів для підсилення теплового випромінювання використовується з'єднання графіту з міддю.

Однак суттєва відмінність фізико-механічних властивостей графіту та міді значно ускладнює процес дифузійного зварювання у вакуумі, що в результаті призводить до розтріскування графіту при поперечній усадці міді [1].

Вирішити проблему виготовлення мідно-графітових вузлів при зварюванні даної пари матеріалів нам представляється можливим за рахунок використання проміжного прошарку з молібдену. Молібден має близькі до графіту значення коефіцієнта термічного розширення та теплопровідності і при евтектичній температурі володіє взаємною розчинністю з ним на рівні 1,1 % (ат.) [2]. При цьому товщина прошарку молібдену, яка дозволяє суттєво знизити величину розтягуючих напружень в графіті при виготовленні вузла С-Мо-Сu, повинна складати значення у кількості декількох міліметрів в залежності від розміру вузла [3].

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

У роботі розглянуто використання дуги, що горить між вольфрамовим електродом та графітом в середовищі захисного газу аргону. Матеріал для наплавлення – дріт молібдену марки МЧ діаметром 1,5 мм. Процес наплавлення здійснювався на режимі: діаметр вольфрамового електроду – 3,2 мм, сила зварювального струму – 65 А, продувка – 20 с, діаметр зразків графіту – 6 мм, висота – 15 мм. Для вирішення проблеми наплавлення було розроблено пристосування, яке забезпечує об'ємне інертне середовище.

Перші спроби наплавлення та зішліфовування шару молібдену показали наявність у молібдені значної кількості пор. Причиною такого результату, на нашу думку, є велика спорідненість вуглецю (графіту) до кисню при високих температурах та його інтенсивне випаровування, що перешкоджає формуванню якісного молібденового покриття.

Для усунення вказаного дефекту з метою дегазації графіту нами було здійснено дослідження впливу на якість наплавлення збільшення часу попереднього підігріву графітової деталі. Результати вимірювань крайового кута змочування поверхні наплавленого шару показали зменшення його величини зі збільшенням часу підігріву від 10 до 20 с, що свідчить про високу якість наплавленого шару молібдену.

### 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. Алексеенко, А.В. Лабарткава, М.В. Матвиенко // Проблемы прочности. – 2017. – № 3. – С.90-97.

УДК 621.891-539.375.6

Селіверстов І.А., канд. техн. наук, доцент  
Херсонський національний технічний університет, [sia04041972@gmail.com](mailto:sia04041972@gmail.com)

## ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ СКЛЕРОМЕТРІЇ

Науково-технічний прогрес, ефективність виробництва в багатьох галузях народного господарства визначаються рівнем розвитку машинобудування.

Прогресивні технології, нові матеріали і покриття з підвищеними експлуатаційними характеристиками дозволяють підвищити довговічність і надійність машин.

Для оцінки міцності матеріалів в обсязі розроблені і стандартизовані ефективні методи визначення механічних властивостей: проводяться випробування на розрив, втомна, в'язкість руйнування і т.д, оцінка аналогічних властивостей поверхні за такого підходу не може бути реалізована, головним чином тому, що поверхня має не три виміри об'єму, а тільки два - поверхня як об'єкт випробувань, має нульову або майже нульову товщину - третю координату. Якщо навіть задатися деякою малою товщиною приповерхневого шару, то порядок її повинен бути від часток до одиниць мікрона. Велика товщина вже відноситься не до поверхні, а до об'єму.

Існують два способи або виміру механічних властивостей поверхні: 1) вдавнення з переміщенням по нормалі до поверхні; вдавнення з переміщенням по дотичній до поверхні - дряпання.

Другий метод названий склерометрією, що перекладається з латинської мови як метод вимірювання твердості. І це відповідає його призначенню - склерометрія - це один з методів вимірювання твердості [1].

Але варто зазначити, що дряпання - спосіб руйнування поверхні, супроводжується пружними і пластичними деформаціями і тому він ближче всього до задачі визначення характеристик механічних властивостей.

Дряпання виконувалося ребром вперед алмазної пірамідою Віккерса з кутом між межею і вертикаллю 136°. Опір дряпанню визначався як співвідношення сили на умовну площу поперечного перерізу подряпини.

Випробуваннями на різних матеріалах в різних ступенях встановлено: опір дояпання є стійкою характеристикою, слабо залежною від навантаження. Порядок розташування випробуваних матеріалів по опору подряпин істотно відрізняється від розташування цих матеріалів по мікротвердості, що говорить про те, що між твердістю і опором подряпин немає однозначного зв'язку. У більшості випадків, чим вище твердість, тим більше опір подряпин. Однак є випадки, коли збільшення твердості не призводить до збільшення сил опору.

Метод склерометрії успішно використовується для оцінки міцності та адгезії покриття [2, 3]. При одночасному переміщенні ступінчасто або безперервно збільшується нормальне навантаження на індентор. Навантаження, що призводить до руйнування покриття носить назву критичного нормального навантаження. При цьому розрізняють три етапи:

- 1) початок адгезійного руйнування - фіксується по появі перших тріщин;
- 2) несуча здатність - момент початку відшарування;
- 3) повне руйнування - повне видалення покриття.

Відмічено, що ефективність методу може бути значно підвищена з урахуванням сил тертя. На точність методу впливають:

- 1) твердість;
- 2) товщина покриття;