

УДК 621.791.762.1

Зяхор І.В., канд. техн. наук
 Завертанний М.С., канд. техн. наук
 Наконечний А.О.

¹ Інститут електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, м. Київ, zyakhor2@ukr.net

Wang Qichen²

² SIMC Offshore Engineering Institute Company Limited, qichen.wang@cimc-raffles.com

БІМЕТАЛІЧНІ ПЕРЕХІДНИКИ СПЛАВ CuCrZr – СТАЛЬ 316L

При проектуванні конструкції системи охолодження вольфрамових моноблоків дивертора для Міжнародного експериментального термоядерного реактора (ITER), виникла необхідність розробки технологій нероз'ємного з'єднання елементів різних сталей і сплавів на основі вольфраму, міді, нікелю, композиційних матеріалів. Одне із завдань – отримання трубчастих біметалічних перехідників системи охолодження моноблока дивертора із нержавіючої сталі 316L (SS316L) та дисперсійнозміцненого сплаву CuCrZr (Cu-0,8...0,9% Cr-0,07...0,15% Zr згідно EN 12163/12167) (рис. 1).

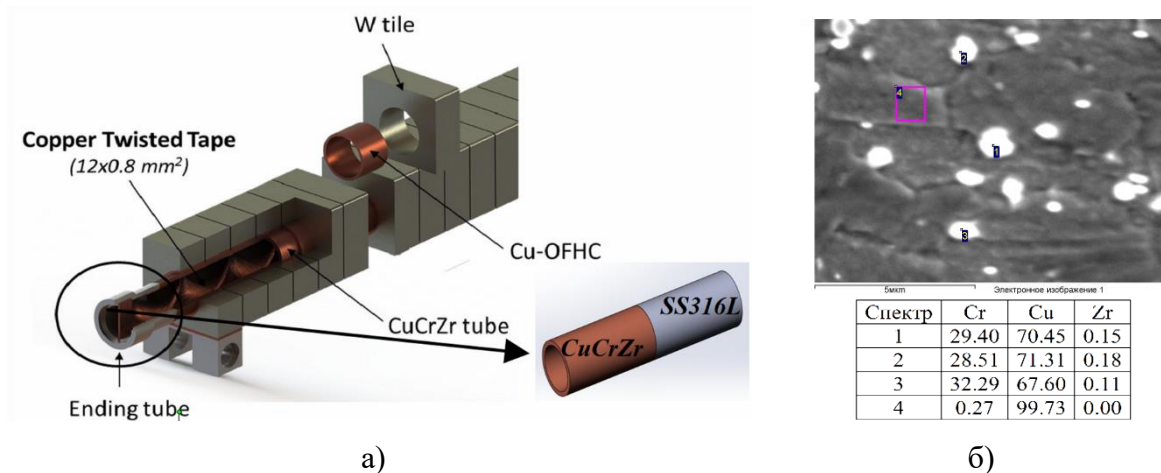


Рис. 1 – Елемент конструкції системи охолодження моноблока дивертора з біметалічним перехідником (а), структура та склад структурних складових сплаву CuCrZr, $\times 10\ 000$ (б)

Вимоги до зварного з'єднання трубчастих біметалічних перехідників: відсутність будь-яких дефектів; газощільність при випробуванні гелієм під тиском 7,5 МПа; збереження заданих показників механічних властивостей сплаву CuCrZr. Найбільш ефективними для вирішення цього завдання є методи зварювання тиском, зокрема, зварювання тертям (ЗТ).

Мета роботи полягала у встановленні можливості виготовлення якісних, розробці ефективної технології їх ЗТ.

Досліджували формування з'єднань при двох різних схемах – безпосереднє ЗТ сплаву CuCrZr із сталлю 316L (схема 1) та ЗТ з використанням перехідного елемента (схема 2). У якості перехідного елемента використовували мідь М1 і технічний нікель НП2.

При металографічних дослідженнях стиків (рис. 2), виконаних ЗТ за схемою 1, спостерігається відсутність частинок зміцнюючої фази з боку сплаву CuCrZr на відстані 20...100 мкм від лінії з'єднання (ЛЗ). У той же час присутні значні скупчення високодисперсних частинок зміцнюючої фази (розміром 0,5...1 мкм) безпосередньо у ЛЗ з боку сплаву CuCrZr. Структура металу у ЛЗ та хімічний склад частинок зміцнюючої фази свідчать про дифузійне переміщення легуючих елементів зі сталі 316L у процесі ЗТ та утворення крихкого прошарку, збагаченого Cr, Fe з боку сплаву CuCrZr.

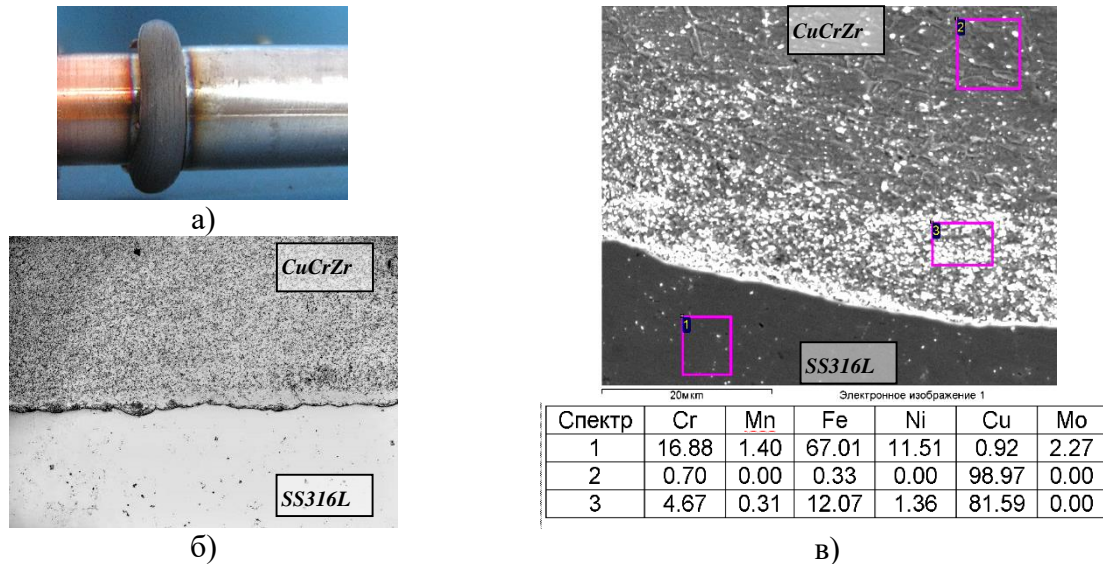


Рис. 2 – Зварний стик при ЗТ за схемою 1 (а), мікроструктура (б), СЕМ-зображення та хімічний склад різних ділянок у зоні з'єднання сплав CuCrZr/сталь 316L (в)

На рис. 3. представлені біметалічні перехідники CuCrZr/сталь 316L, виконані ЗТ за схемою 2 через проміжний прошарок нікелю НП2. При металографічних дослідженнях комбінованого з'єднання CuCrZr / НП2 / сталь 316L фіксується відсутність будь-яких дефектів і рівномірний розподіл частинок зміцнюючої фази з боку сплаву CuCrZr.

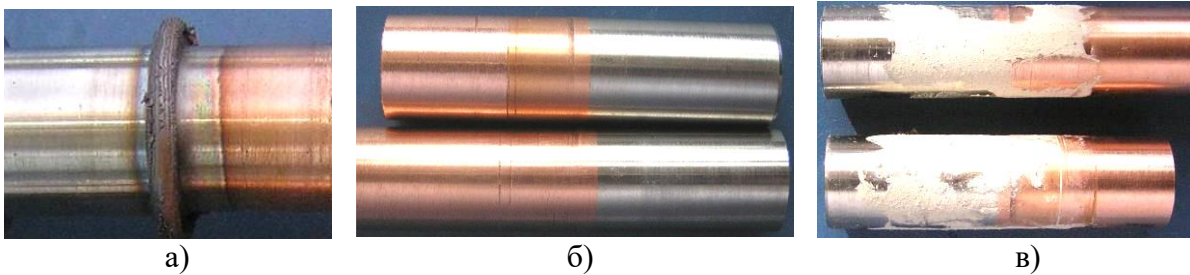


Рис. 3 – Біметалічні перехідники CuCrZr/НП2/SS316L, виконані ЗТ, – зварний стик (а), зразки після механічної обробки (б) і контролю проникаючою рідиною (в)

Мікроструктура в зоні з'єднання, представлена на рис. 4. Після термічної обробки перехідників показники мікротвердості металу в зоні з'єднання з боку сплаву CuCrZr відновлюються та відповідають вимогам EN 12163/12167.

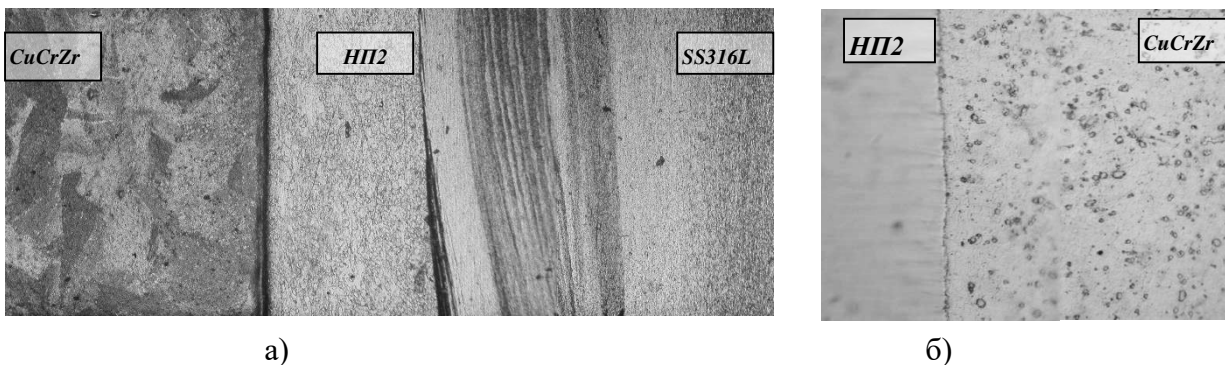


Рис. 4 – Мікроструктура з'єднання CuCrZr/НП2/SS316L, ×25 (а), ×1000 (б)

Випробування на газоцильність гелієм під тиском 7,5 МПа показали відповідність біметалічних перехідників технічним вимогам.