

## РОЗДІЛ III. ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ

УДК 621.791.03

**Ю.В. Фальченко**, канд. техн. наук

**С.Г. Григоренко**, канд. техн. наук

**В.Е. Федорчук**, мол. наук. співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, м.Київ, Україна

**М.М. Руденко**, ст. викладач

Чернігівський державний технологічний університет, м.Чернігів, Україна

### ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕРЕХІДНИКІВ НЕРЖАВІЮЧА СТАЛЬ-АЛЮМІНІЙ ЗВАРЮВАННЯМ ТИСКОМ У ВАКУУМІ

*Розроблена технологія зварювання тиском у вакуумі біметалічних трубних перехідників з нержавіючої сталі X18H9T з алюмінієм АД1. Встановлено, що модифікування поверхні сталеві заготовки за допомогою отворів сприяє локалізації пластичної деформації в стику й одержанню зварних з'єднань з міцністю не нижче міцності алюмінію.*

#### Вступ

У ряді сучасних конструкцій, наприклад, енергетичних апаратах, питання про можливість утворення надійних з'єднань труб з різнорідних металів є питанням про можливість одержання цих апаратів взагалі.

З'єднання труб з алюмінієвих сплавів з трубами зі сталей за допомогою перехідників широко застосовується в конструкціях вузлів, де до них пред'являються високі вимоги за працездатністю. У посудинах для зберігання й транспортування криогенних продуктів використовують труби з нержавіючої сталі й алюмінієвих сплавів, які з'єднують за допомогою вставок та перехідників.

Складність одержання зварних з'єднань алюмінію зі сталлю зумовлена:

- 1) значною різницею в температурах плавлення сталі ( $\sim 1530^{\circ}\text{C}$ ) і алюмінію ( $660^{\circ}\text{C}$ );
- 2) відмінностями в коефіцієнтах лінійного розширення: для алюмінію –  $23,5 \times 10^{-6}$ , заліза –  $11,9 \times 10^{-6}$   $1/^{\circ}\text{C}$  при кімнатній температурі та відповідно  $31,1 \times 10^{-6}$  і  $14,3 \times 10^{-6}$   $1/^{\circ}\text{C}$  при  $500^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) наявністю на поверхні алюмінію тугоплавкої окисної плівки –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

Метою даної роботи є розробка технологічного процесу зварювання тиском у вакуумі біметалічних трубних перехідників сталь-алюміній з міцністю на рівні міцності алюмінію.

#### Дослідження впливу обробки поверхні на формування зварного з'єднання

Дослідження впливу обробки поверхні на формування зварних з'єднань проводили на плоских і циліндричних зразках. Розмір плоских зразків: сталь X18H9T –  $50 \times 20 \times 2$  мм, алюміній АД1 –  $50 \times 20 \times 4$  мм. Поверхні зразків з нержавіючої сталі перед зварюванням шліфували або шліфували й полірували. Поверхні зразків з алюмінію перед зварюванням зашабрювали. Зварювання зразків проводили у вільному стані при температурі  $T=500^{\circ}\text{C}$ , тиск  $P=8$  МПа, швидкість нагрівання  $v \approx 5^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ . Деформація з'єднань становила  $\varepsilon = \sim 25\%$ . Температуру й тиск процесу зварювання вибирали, виходячи з рекомендацій робіт [1;2].

Відомо, що основні складнощі при дифузійному зварюванні у вакуумі нержавіючої сталі з алюмінієм виникають внаслідок утворення в стику тендітних інтерметалідних з'єднань. Інтерметаліди на початкових стадіях розвитку, коли вони не утворюють суцільного шару в контакті, практично не виявляють впливу на механічні характеристики

з'єднання. При наявності в контактї суцільного інтерметалідного шару пластичність і міцність з'єднань падає. Це зумовлено не тільки високою крихкістю нової фази, але й внутрішніми напруженнями, що виникають внаслідок об'ємних змін [3]. При зварюванні металів, що утворюють інтерметаліди, необхідно прагнути звести до мінімуму третю стадію процесу дифузійного зварювання – стадію об'ємної взаємодії, зумовлену дифузійними процесами. Тому час зварювання становив  $t = 1$  хвилину [3].

Після зварювання отримані з'єднання розрізали на електроерозійному верстаті на смужки розміром 50x9 мм. Проводили випробування з'єднань на кут загину. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що більш високу міцність мають зразки, у яких поверхня сталеві деталі оброблена шліфуванням. Кут загину таких з'єднань становить  $\alpha=120^{\circ}$ . Однак треба відзначити, що в обох випадках відбувалося розтріскування з'єднань на краях.

Відомо [4;5], що застосування м'яких перфорованих прошарків дозволяє локалізувати пластичну деформацію на контактній поверхні деталей, що зварюються. При зварюванні металокерамічних з'єднань модифікування поверхні кераміки [6] шляхом створення на її поверхні «армуючих отворів» дозволяє підвищити тріщиностійкість виробів в 1,3...1,5 рази. Тому, для усунення розтріскування з'єднань, поверхню сталеві пластини модифікували шляхом висвердлювання «глухих» отворів.

Отвори на поверхні сталеві пластини робили діаметром  $\varnothing 2,5$  мм глибиною  $\sim 1,2$  мм з кроком 10x10 мм. Отримані з'єднання також випробовували на кут загину. Кут загину склав  $\alpha=180^{\circ}$ , при цьому розтріскування з'єднань не спостерігалось.

Проведені металографічні дослідження біметалічних з'єднань (рис.1). У зоні з'єднання зразків з отворами виявлено окремі ділянки з наявністю шару інтерметаліду (рис. 1а). У зразку без отворів інтерметалід займає 50-70% від площі зони з'єднання (рис. 1б). Необхідно відзначити, що зварювання обох зразків здійснювалося одночасно.

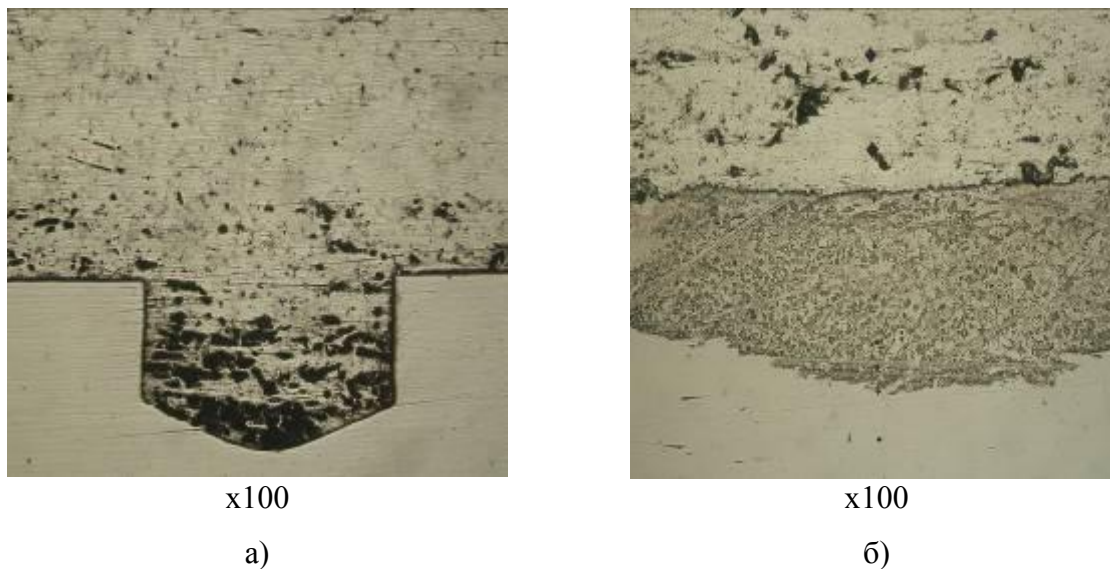


Рис.1. Мікроструктура зони з'єднання зразків зі сталі X18H9T й алюмінію АД1: а – з'єднання з отворами на поверхні сталеві заготовки; б – з'єднання без отворів

Відомо, що збільшення швидкості пластичної деформації приводить до зменшення товщини інтерметалідного шару в 2-3 рази [7]. Також відомо, що в початковий час зварювання напруження, що діють у контактї, значно перевищують межу текучості, і розвивається активна пружнопластична деформація мікровиступів. Через кілька секунд після додавання навантаження швидкість деформації падає на 2...3 порядки, і процес

переходить у стадію несталого повзучості [8]. Можна припустити, що отримана різниця в товщині шару, що утворювався, інтерметаліду в зразку з отворами й у зразку без отворів зумовлена різними швидкостями пластичної деформації приконттактних шарів алюмінію щодо поверхні нержавіючої сталі. У випадку зварювання зразка з отворами швидкість пластичної деформації алюмінію була вище, ніж у випадку зварювання зразка без отворів.

### Дослідження особливостей зварювання тиском у вакуумі трубних заготовок

Зварювання трубних заготовок з нержавіючої сталі X18H9T і алюмінію АД1 проводили у вакуумній камері установки П-115. Сталева труба мала зовнішній діаметр  $\varnothing 25$  мм, внутрішній –  $\varnothing 20$  мм, висоту – 30 мм, а алюмінієва труба – відповідно  $\varnothing 41,5$  і  $\varnothing 23,6$  мм при висоті 30 мм.

Для проведення зварювання було виготовлено розбірне обладнання (рис. 2), призначене для центрування й фіксації трубних заготовок перед зварюванням. Схема обладнання і його вид представлені на рис. 2. У середину обладнання вставляли опорну шайбу 1, на яку встановлювали алюмінієву заготовку 2. У щільному контакті з алюмінієвою заготовкою перебувала сталеві заготовка 3, зверху яку центрувала розбірна напрямна шайба 4. Фіксацію трубних заготовок та центруючих втулок здійснювали за допомогою двох сталевих ободів 5, до яких були приварені проушини 6 з отворами. Відповідно до відпрацьованої на зразках методики, на поверхні сталеві трубки висвердлювали отвори (рис. 3). На кінці сталеві трубки для центрування з алюмінієвою трубкою створювали конусність. Безпосередньо перед зварюванням поверхні зразків знежирювали ацетоном.

Після зварювання отримане біметалічне з'єднання розрізали на електроерозійному верстаті на циліндричні заготовки товщиною 5 мм. На рис. 4 представлений макрошліф з'єднання X18H9T-АД1. Як видно з рис. 4, у процесі зварювання відбувається повне заповнення отворів алюмінієм, що видавлюється за рахунок пластичної деформації приконттактних об'ємів металу. Проведені механічні випробування показали, що руйнування зварних з'єднань відбувається по алюмінію.

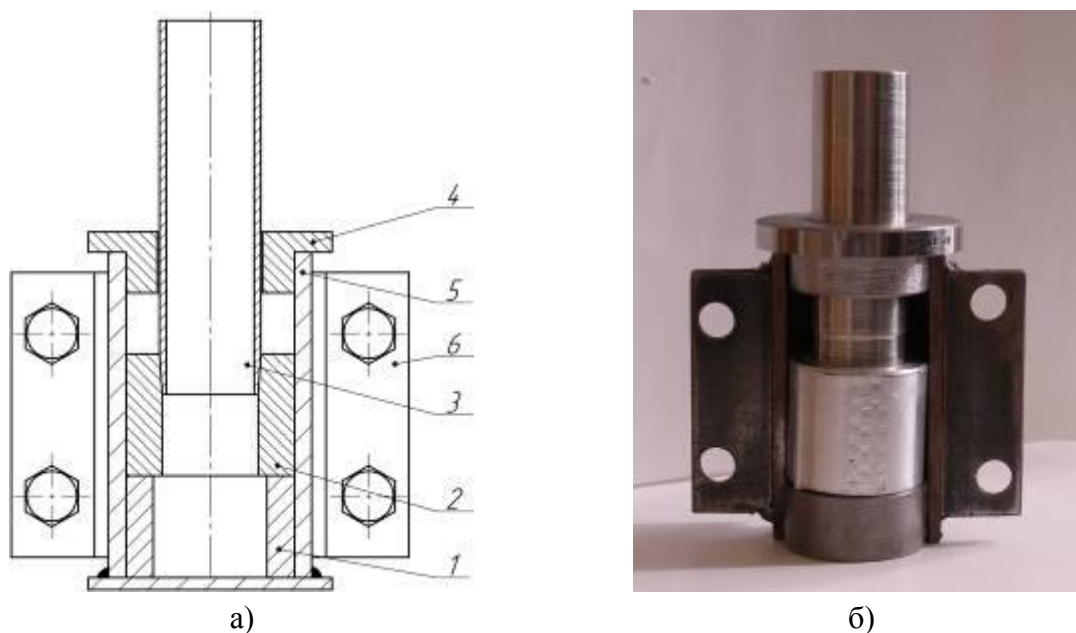


Рис.2. Обладнання для одержання біметалічних труб: а – схема обладнання, б – вид у зборі



Рис.3. Вид сталевій заготовки



Рис.4. Макрошліф зварного з'єднання

### Висновки

Розроблена технологія одержання біметалічних трубних з'єднань Х18Н9Т-АД1 методом зварювання тиском у вакуумі. Модифікування поверхні більш твердої сталевій заготовки отворами дозволяє збільшити швидкість пластичної деформації приконттактних шарів алюмінію, що забезпечує одержання зварних з'єднань з мінімальною товщиною інтерметалідного шару.

### Список використаних джерел

1. Бачин В.А. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки / Бачин В.А., Квасницкий В.Ф., Котельников Д.И. [и др.] – М.: Машиностроение, 1991. – 271 с.
2. Диффузионная сварка материалов: справочник / под ред. Н.Ф. Казакова. – М.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
3. О формировании соединений при диффузионной сварке в вакууме / Копылов Ю.Н., Казаков Н.Ф., Гришин И.С., Конюшков Г.В. // Диффузионная сварка в вакууме металлов, сплавов и неметаллических материалов: сборник научных трудов VII всесоюзной научно-технической конференции. – Москва, 1973. – №6. – С. 12-25.
4. Мусин Р.А. Интенсификация пластической деформации прокладок при диффузионной сварке / Мусин Р.А., Лямин Я.В. // Автоматическая сварка. – 1991. – №8. – С. 26-29.
5. Мусин Р.А. Деформируемость перфорированных прокладок при диффузионной сварке / Мусин Р.А., Лямин Я.В. // Сварочное производство. – 1994. – №6. – С.24-26.
6. Разработка методов интенсификации процесса диффузионной сварки и повышение прочности металл-керамических соединений: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Лямин Я.В. – Пермь, 1998. – 20 с.
7. Терновский А.П. Особенности образования соединений разнородных металлов при диффузионной сварке по схеме принудительного деформирования / Терновский А.П., Каракозов Э.С., Зимидченко С.С. // Автоматическая сварка. – 1983. – №3. – С.31-34.
8. Конюшков Г.В. Диффузионная сварка в электронике / Г.В. Конюшков, Ю.Н. Копылов. – М.: Энергия, 1974. – 167 с.