УДК 669.295:621.791.75:620.3:620.1

Демченков С.О., канд. техн. наук
Мельниченко Т.В., докт. техн. наук
Устінов А.І., докт. фіз.-мат. наук, професор
Самофалов О.В.
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, s_demchenkov@ukr.net

МЕХАНІЗМ ФОРМУВАННЯ ДИФУЗІЙНОГО З'ЄДНАННЯ СПЛАВУ Ti6Al4V ЧЕРЕЗ ПРОМІЖНИЙ ПРОШАРОК БАГАТОШАРОВОЇ ФОЛЬГИ Ti/Ni ЕВТЕКТИЧНОГО СКЛАДУ

Тонколистові титанові сплави, зокрема Ti6Al4V, є ключовими конструкційними матеріалами в авіаційно-космічній галузі. Проте застосування традиційних методів з'єднання (дугове, електронно-променеве та лазерне зварювання) часто супроводжується утворенням грубозернистих структур, метастабільних фаз, крихких інтерметалідів та пор, що погіршує механічні властивості та спричиняє залишкові напруження в зоні з'єднання [1, 2]. Використання дифузійного зварювання у твердому стані за температур, нижчих за температуру α→β-перетворення, дозволяє зменшити термічний вплив. Для активації дифузії застосовують багатошарові реакційні фольги на основі систем Ti–Al, Ni–Al, Ti–Ni з компонентами у стехіометричному співвідношенні, але такі методи зазвичай потребують значного тиску (понад 10 МПа), що обмежує їх використання для з'єднання тонкостінних елементів складної форми [3]. Паяння титанових сплавів із застосуванням припоїв системи Ti–Cu–Ni при температурах нижче 970 °C дозволяє уникнути прикладення тиску, але супроводжується хімічною неоднорідністю в зоні з'єднання, що знижує корозійну стійкість і термостабільність конструкцій.

Одним із перспективних підходів є дифузійне з'єднання при низькому тиску із застосуванням пластичних проміжних шарів, зокрема багатошарових фольг евтектичного складу, які під час нагрівання демонструють пластичну плинність, зумовлену дифузійною взаємодією шарів [4]. У цій роботі досліджено особливості формування дифузійного з'єднання сплаву Ti6Al4V з використанням багатошарової фольги Ti/Ni евтектичного складу при температурі 920–950 °C і тиску 70 кПа.

Встановлено, що високоміцні з'єднання утворюються завдяки інтенсивній дифузійній взаємодії компонентів фольги та сплаву, що активується при досягненні фізичного контакту між поверхнями в температурному діапазоні 600–800 °C. Цьому сприяє висока пластичність фольги Ti/Ni у зазначеному діапазоні та локальне перегрівання, зумовлене тепловиділенням у ході реакції самопоширюваного високотемпературного синтезу (СВС). Показано, що зменшення мікроструктурної неоднорідності в зоні з'єднання підвищує його міцність. Максимальна міцність на розтяг (до 874 МПа) досягалася за умови формування в зоні з'єднання дисперсної евтектоїдної структури з вмістом нікелю менш ніж 4 ат. %.

Список посилань

1. T. Balasubramanian, V. Balasubramanian, M. Muthumanikkam, Fatigue performance of gas tungsten arc, electron beam, and laser beam welded Ti-6Al-4V alloy joints, J. Mater. Eng. Perform. 20 (2011) 1620–1630. https://doi.org/10.1007/s11665-010-9822-y.

2. Y.M. Ahmed, K. Salleh, M. Sahari, Welding of Titanium (Ti-6Al-4V) Alloys: A Review, In Proceedings National Graduate Conference, Universiti Tenaga Nasional, Putrajaya Campus, 2012, pp. 8-10.

3. Y. Ma, H. Li, L. Yang, A. Hu, Reaction-assisted diffusion bonding of Ti6Al4V alloys with Ti/Ni nanostructured multilayers, J. Mater. Process. Technol. 262 (2018) 204-209. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.05.035.

4. A. Ustinov, Y. Falchenko, T. Melnichenko, A. Shishkin, G. Kharchenko, L. Petrushinets, Diffusion welding of aluminium alloy strengthened by Al2O3 particles through an Al/Cu multilayer foil, J. Mater. Process. Technol. 213 (2013) 543-552. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.11.012.