

ВПЛИВ NІ-ПОКРИТТІВ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НЕРОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ

Внаслідок продовження ускладнення конструкцій машин і механізмів у зв'язку із бурхливим розвитком технологій все частіше постає необхідність створювати нероз'ємні з'єднання між металургійно несумісними матеріалами. Одним із способів з'єднати Al-сталь і Al-Cu є додавання Ni у склад шва, який утворює з матеріалами зразків міцні інтерметалічні з'єднання.

У роботі [1] досліджено вплив Ni-покриття на з'єднання алюмінієвого сплаву 1060 (аналог Al99,6) та нержавіючої сталі 304 (аналог 08X18H10) товщиною 3 мм. Під час високочастотного індукційного нагрівання всі рідкі присадкові метали змочувалися на основних металах і розподілялися паяним швом, паяння проводили при 610 °С протягом 20 секунд.

Твердість за Віккерсом інтерметалічних шарів з'єднання Al-сталь і Al-сталь із покриттям Al/Ni була вищою, ніж твердість сталевих матриці та зон шва пайки. Введення шару покриття Ni знизило твердість інтерметалічних шарів у порівнянні зі з'єднанням Al-сталь. Це свідчить про те, що з'єднання Al-сталь з проміжним шаром Ni має кращу міцність, ніж з'єднання Al-сталь. Максимальна міцність на зсув з'єднання з покриттям Al/Ni становила 44,21 МПа, що є більше на 20,3%, ніж для з'єднання Al-сталь.

Розрахункові результати хімічного потенціалу прояснили різну агрегацію атомів Si в інтерфейсі з сталі та сталі з нікелем. Під час реакції пайки шар покриття Ni розчинився в рідкому присадному металі. Якщо шар Ni розчинився не повністю, інтерфейс являє собою фазу Ni-Al. Розчинений атом Ni випадає в осад у вигляді Al₃Ni після охолодження. Якщо шар Ni розчинився повністю, відбулася реакція на інтерфейсі між сталлю і рідким присадним металом. Продуктом реакції на інтерфейсі є фаза Fe-Al.

У другому дослідженні [2] проаналізували вплив покриття Ni на міцність з'єднання Al (аналог Al99,6) і Cu марки C11000 (аналог M1) товщиною 1 мм, зварених лазером. Підготовлено зразки з покриттям товщиною 1 мкм (1-Ni) і 4 мкм (4-Ni), а також без покриття. Випробування на зсув показали, що з додаванням Ni міцність з'єднань значно зросла: зразок без покриття витримав максимальне навантаження 590 Н і зміщення становило 0,23 мм, 1-Ni - 800 Н і 0,41 мм, а 4-Ni - 878 Н і 0,46 мм, за потужності лазера 1,4 кВт. Покриті зразки показують: збільшення міцності на 35% і подовження на 78% для 1-Ni, збільшення міцності на 49% і подовження на 100% для 4-Ni порівняно з непокритим зразком.

При додаванні нікелю спостерігається збільшення псевдов'язкості: 92,3 Н мм для зразка без покриття, 221,1 Н мм для покриття товщиною 1 мкм і 285,4 Н мм для 4 мкм. Тобто, на 240% і 309% для покриттів товщиною 1 мкм і 4 мкм відповідно. Аналіз поверхні зламу показав, що покриття Ni змінило механізми руйнування та вплинуло на мікроструктуру, що вказує на підвищення стабільності з'єднання.

У дослідженні ефекту розчиненого Ni в інтерметалічних сполуках (ІМС) було проаналізовано розміри атомів: 128 пм для Cu, 143 пм для Al і 124 пм для Ni. Ni має менший атомний розмір (110 пм) порівняно з Cu (112 пм) і Al (126 пм), що дозволяє йому утворювати повний твердий розчин із Cu. Це означає, що Ni заміщає Cu, спотворюючи кристалічну решітку і зменшуючи відстань між атомами, що підтвердили спостереження за допомогою трансмісійної електронної мікроскопії. Це стиснення, викликане меншими атомами, зміцнює твердий розчин і підвищує міцність матеріалів. Таким чином, Ni в ІМС на межі лазерного зварювання Al-Cu створює міцніший інтерфейс, знижуючи ризик утворення тріщин.

Отже, із огляду на унікальну дію атомів Ni на зміцнення нероз'ємних з'єднань у подальших дослідженнях заплановано виконати розрахунковий експеримент із моделюванням ІМС методом ab initio та вивчення їх властивостей.

Список літератури

1. Effect mechanism of Ni coating layer on the characteristics of Al/steel dissimilar metal brazing / **G. Yu et al.** Materials Characterization. 2020. Vol. 167. P. 110518. URL: <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2020.110518>
2. Effect of the Ni plating on Al-Cu dissimilar metal laser welded joint / **H.-M. Sung et al.** Journal of Materials Research and Technology. 2024. Vol. 31. P. 2473–2483. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.07.007>