

УДК 669.295

## ЗВАРЮВАННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДІВ TiAl З ВИКОРИСТАННЯМ НАНОШАРУВАТОЇ ФОЛЬГИ<sup>1</sup>

С. В. Щербина

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

*Інтерметалевий сплав  $\gamma$ -TiAl є новим перспективним матеріалом, який має замінити існуючі жаростійкі сплави. Для покращення міцностних характеристик зварного з'єднання запропоновано використовувати при контактному зварюванні опором інтерметалевого сплаву  $\gamma$ -TiAl наноструктуровані TiAl фольги різної товщини. Проведено контактне стикове зварювання інтерметалідного сплаву Ti48Al1,5Cr2Nb і сплаву титану ВТ6 з використанням в якості закладного елемента нанощаруватої фольги системи Ti-Al.*

*Интерметаллидный сплав  $\gamma$ TiAl является новым перспективным материалом, который должен заменить существующие жаропрочные сплавы. Для улучшения прочностных характеристик сварного соединения предложено использовать при контактной сварке сопротивлением наноструктурные TiAl фольги разной толщины. Проведена контактная стыковая сварка интерметаллидного сплава Ti48Al1,5Cr2Nb и сплава титана ВТ6 с использованием в качестве закладного элемента наноструктурной фольги системы Ti-Al.*

*Intermetallic alloy  $\gamma$ TiAl is a new promising material to replace existent high-temperature alloys. In order to improve strength characteristics of welded joints it has been suggested to use nanostructured TiAl foils of different thickness for resistance welding. Contact butt welding of intermetallic alloys Ti48Al1,5Cr2Nb, and titanium alloy ВТ6 has been carried out using nanostructured foil of Ti-Al system as a cast-in element.*

### Вступ

Інтерметалевий сплав  $\gamma$ TiAl є новим перспективним матеріалом, який має замінити існуючі жаростійкі сплави при температурах 600...800 °С.

---

<sup>1</sup> - статтю підготовлено під керівництвом д.т.н., професора Д. Ф. Чернеги, Національний технічний університет України „КПІ”

При цих температурах довготривала стійкість титанових сплавів, сталей і багатьох нікелевих сплавів. Крім того вони значно знижують вагу конструкцій завдяки відносно невеликій густині  $3,8 \text{ г/см}^3$ .

Найбільш ефективною сферою застосування сплаву  $\gamma\text{-TiAl}$  є двигунобудування (авіаційне, транспортне).

В авіаційному двигунобудуванні сплави на основі інтерметалідів можуть бути використані в таких вузлах як соплові лопатки, жарова труба, форсажна труба, розсікачі полум'я та інше.

Крім авіакосмічної техніки означені сплави можуть використовуватися при виробництві парових та газових електрогенераторів, двигунів внутрішнього згорання, у хімічному та нафтогазовому машинобудуванні [1, 3].

### **Постановка задачі дослідження**

Головним недоліком сплаву на основі  $\gamma\text{-TiAl}$  є дуже низька пластичність при кімнатній температурі, що ускладнює технологічну обробку (свердлення, фрезерування, обточку).

Специфічні властивості інтерметалідів також заважають процесам отримання їх з'єднання, зокрема зварюванню.

Дифузійне зварювання інтерметалевого сплаву при тривалій витримці (3 години) під тиском в інтервалі температур  $1000\text{...}1100^\circ\text{C}$  дозволяє отримати бездефектні зварні з'єднання, але їх міцнісні характеристики незадовільні [2, 4].

### **Методика проведення експериментів**

Для покращення міцнісних характеристик зварного з'єднання запропоновано використовувати при контактному зварюванні опором інтерметалевого сплаву  $\gamma\text{-TiAl}$  наноструктуровані TiAl фольги різної товщини.

Відомо, що плавлення наноструктурованої фольги відбувається при температурі нижчій від рівноважної. Крім того, при нагріванні TiAl фольги в ній відбувається екзотермічна реакція між складовими фольг. Все це дає можливість знизити температуру зварювання, сконцентрувати виділення тепла в зоні з'єднання і забезпечити рівномірне нагрівання поверхонь, що з'єднуються.

У 2008 році у відділі №26 ІЕЗ ім. Є. О. Патона було проведено контактне стикове зварювання інтерметалідного сплаву  $\text{Ti}_{48}\text{Al}_{1,5}\text{Cr}_2\text{Nb}$  і сплаву титану VT6 з використанням в якості закладного елемента нанощаруватої фольги системи Ti–Al товщиною 60 та 160 мкм.

Сплав  $\text{Ti}_{48}\text{AlCrNb}$  згідно зі складом знаходиться в області  $\gamma$ -фази системи Ti–Al. Металографічні дослідження показали, що в стані поставки

він являє собою гетерофазну систему, що складається з  $\gamma$ -фази (твердий розчин на базі сполуки TiAl) та  $\alpha_2$ -фази (твердий розчин на базі сполуки Ti<sub>3</sub>Al).

Мікроструктура сплаву морфологічно неоднорідна і не відповідає оптимальній, яка повинна складатися з ламелей триалюмініду титану (рис.1).

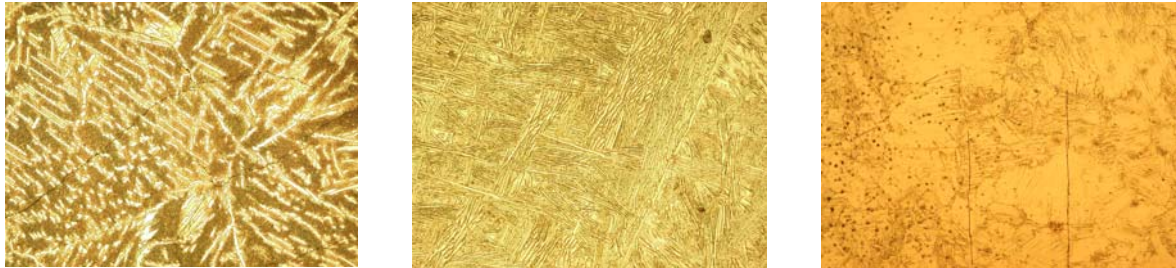


Рис.1 Мікроструктура сплаву Ti48AlCrNb на різних ділянках, збільшення x50

В об'ємі сплаву присутні внутрішні мікротріщини, спостерігаються скупчення хімічно активних включень, вірогідно, завдяки неоднорідному розподілу легуючих елементів.

Морфологічна неоднорідність мікроструктури зумовлена наявністю евтектоїдного перетворення  $\alpha$ -Ti  $\leftrightarrow$   $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al +  $\gamma$ -TiAl при  $\sim 1118^\circ\text{C}$ , сильно вираженою температурною залежністю лінії сольвусу  $\alpha/(\alpha+\gamma)$ , а також взаємною розчинністю фаз  $\alpha_2$ -Ti<sub>3</sub>Al,  $\gamma$ -TiAl. Це, з одного боку, дає можливість управляти структурою шляхом використання термічної та термопластичної обробки, а з другого – потребує жорсткого дотримання режимів обробки для отримання тієї чи іншої структури.

Неоднорідність мікроструктури супроводжується неоднорідністю механічних властивостей. Це знаходить відображення в розподілі мікротвердості. Так твердість по Берковичу на одних ділянках становить 1,727... 2,507 ГПа, на інших – 2,313...3, 222 ГПа.

Необхідно відзначити, що в процесі дослідження виявлено, що вміст Nb - 4,36 ...7,38 мас.% в деяких випадках перевищує зазначений в сплаві при поставці.

### Результати досліджень

Проведено контактне стикове зварювання інтерметалідного сплаву Ti-48Al-1,5Cr-2Nb і сплаву титану ВТ6 з використанням в якості закладного елемента нанощаруватої фольги системи Ti-Al товщиною 60 та 160 мкм.

При металографічних дослідженнях макроструктури встановлено, що з'єднання зразків, отриманих з фольгою товщиною 60 мкм, і 160 мкм формується по всій площині, дефекти зварювання відсутні.

Аналіз мікроструктури і мікрорентгеноспектральний аналіз розподілу елементів показав, що між інтерметалідним сплавом і сплавом титану утворюється проміжний дифузійний шар товщиною близько 20 мкм. На контактній межі дифузійного шару з інтерметалідним сплавом формуються спільні зерна (рис.2).



Рис. 2 Мікроструктура з'єднання сплаву алюмініду титану (Ti47Al1,5Cr2Nb) і сплаву титану VT6, отриманого з використанням фольги системи Ti-Al товщиною 60 мкм, збільшення x400

В дифузійному шарі вміст титану зменшується від 96,29 мас% до 61,46 мас%. в інтерметалідному сплаві. Згідно з діаграмою стану системи Ti-Al в такому інтервалі концентрацій титану можуть існувати твердий розчин змінного складу  $\alpha$ -Ti і  $\gamma$ -TiAl. Спільні зерна на контактній межі дифузійного шару з алюмінідом титану, можливо, утворюються завдяки виділенню  $\gamma$ -TiAl.

Дослідження перехідної зони методом мікроіндентування пірамідою Берковича виявило поступову зміну механічних властивостей. Так твердість і модуль Юнга в межах сплаву титану складають 1.015...1,290 ГПа і 81,3...124,9 ГПа відповідно. На ділянці дифузійної зони при переході від сплаву титану до сплаву алюмініду титану твердість поступово зростає від 1,465 ГПа до 1,885 ГПа, а модуль Юнга складає 81.3...177,8 ГПа. В

приконтатній ділянці сплаву алюмініду титану твердість зростає до 1,916...2,164 ГПа, а модуль Юнга складає 137,5...177,8 ГПа.

На відміну від з'єднання, отриманого з використанням фольги товщиною 60 мкм, в приконтатній зоні інтерметалідного сплаву з'єднання, що отримано з використанням фольги товщиною 160 мкм, спостерігаються мікротріщини, які розповсюджуються в дифузійну зону.

### **Висновки**

1. Встановлено, що при зварюванні з використанням нанощаруватої фольги системи Ti–Al товщиною 60 та 160 мкм з'єднання формується по всій площині і відсутні дефекти зварювання.
2. Аналіз мікроструктури показав, що між інтерметалідним сплавом і сплавом титану утворюється проміжний дифузійний шар товщиною близько 20 мкм. На контактній межі дифузійного шару з інтерметалідним сплавом формуються спільні зерна.
3. Досліджено твердість зварного з'єднання методом мікроіндентування пірамідою Берковича. Твердість зростає при переході від сплаву титану до сплаву алюмініду від 1,465 ГПа до 1,885 ГПа, а в приконтатній ділянці сплаву алюмініду титану твердість зростає до 1,916...2,164 ГПа.
4. Встановлено, що найкращі результати отримані при зварюванні з використанням фольги товщиною 60 мкм, адже при зварюванні з використанням фольги товщиною 160 мкм в приконтатній зоні інтерметалідного сплаву спостерігаються мікротріщини, які розповсюджуються в дифузійну зону.

### **Література**

1. И.И. Корнилов, Е.Н. Пылаев, М.А. Волкова. Сб. “Титан и его сплавы”, вып.10. М., Изд-во АН СССР, 1963, стр. 74.
2. Иванов В.И., Ясинский К.К. Эффективность применения жаропрочных сплавов на основе интерметаллидов  $Ti_3Al$  и  $TiAl$  для работы при температурах 600-800°C в авиакосмической технике//Технология легких сплавов. 1996. №3. С. 7.
3. Имаев Р.М., Кайбышев О.А., Салищев Г.А. Механическое поведение мелкозернистого интерметаллида  $TiAl$ . 1. Сверхпластичность//Физика металлов и металловедение. 1990. №9. С. 180
4. Бочвар Г.А., Саленков В.С. Исследование сплава на основе алюминиды титана с орторомбической структурой//Технология легких сплавов. 2004. №4. - С. 44.