

# ВПЛИВ ЛОКАЛЬНОЇ ТЕРМООБРОБКИ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ІНТЕРМЕТАЛІДУ СИСТЕМИ TiAl, ОДЕРЖАНОГО МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Л.М. Лобанов, Ю.А. Асніс, Н.В. Піскун, Е.Л. Вржижевський, Л.М. Радченко

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: [office@paton.kiev.ua](mailto:office@paton.kiev.ua)

В роботі досліджувалися зварні з'єднання інтерметалідного  $\beta$ -стабілізованого сплаву TiAl–Ti–44Al–5Nb–3Cr–1,5Zr (ат. %). Заготовки інтерметаліду товщиною 3 та 10 мм були зварені методом електронно-променевого зварювання. З метою запобігання виникнення холодних тріщин в зварних з'єднаннях зразків алюмініду титану різної товщини проводили наступну післязварювальну локальну термообробку за допомогою електронного променя. Вказаний метод обробки є одним з найбільш привабливих для поліпшення структури зливку і зниження рівня залишкових зварювальних напружень, що, в свою чергу, значно підвищує механічні властивості сплаву. Для оцінки міцності зварних з'єднань були проведені випробування на статичний розтяг. Руйнування зразків відбувалося по основному матеріалу. В роботі наведено гістограми, на яких показані значення межі міцності ( $\sigma_b$ ) зварних з'єднань, що були отримані при випробуванні на розтяг для зразків різної товщини з використанням локальної термообробки (ЛТО) і без неї. Показано, що застосування ЛТО сприяє підвищенню межі міцності зразків товщиною 3 та 10 мм у порівнянні зі зразками, які одержані без її використання. Крім того, значення цього показника для зварних з'єднань різної товщини, які одержані з застосуванням цього технологічного прийому, достатньо рівномірні. Проведений порівняльний аналіз результатів випробувань на розтяг з результатами досліджень мікротвердості, який показав, що руйнування зразків проходило по зоні зниження механічних властивостей. Вивчено характер зламів різних частин зварного з'єднання, який підтвердив, що руйнування відбувається в зоні крихкої частини зразка. Відомо, що механічні властивості зварного з'єднання тісно пов'язані з його структурним станом. В процесі локальної термічної обробки в структурі з'являється додаткова  $\beta_0$  (B2) фаза, яка сприяє збільшенню пластичності матеріалу зварного шва. Бібліогр. 14, табл. 2, рис. 9.

*Ключові слова:* інтерметалідний сплав системи TiAl, електронно-променеве зварювання, локальна термообробка, механічні випробування на розтяг, межа міцності, структурний стан, мікротвердість

З інтерметалідів виготовляється широкий асортимент виробів для літаків. При виготовленні ряду вузлів турбін високого і низького тиску доцільно застосовувати зварювання [1].

Однією з найважливіших проблем сучасного металознавства є підвищення рівня механічних властивостей титанових сплавів, а також зварних з'єднань та вузлів, які в даний час широко застосовують для виготовлення деталей газотурбінного двигуна (ГТД).

Таким чином, оптимізація властивостей та розробка технологій зварювання конструкційного інтерметаліду системи титан-алюміній з метою подальшого використання є вельми актуальною.

Один з найбільш придатних способів отримання якісного з'єднання інтерметаліду є електронно-променеве зварювання (ЕПЗ), яке дозволяє зварювати вироби різних геометричних форм, виконувати шви різної протяжності, а також перервані шви. В порівнянні з іншими видами зварювання плавленням електронно-променеве також має переваги: по-перше, оскільки воно проводиться у високому вакуумі, то повністю за-

безпечує захист такого активного матеріалу, яким є титан; по-друге, при ЕПЗ формується вузький шов і дуже незначна зона термічного впливу, що, в свою чергу, повинно призводити до мінімальних деформацій зварювального з'єднання [2, 3].

При отриманні зварних з'єднань інтерметалідів системи TiAl методом ЕПЗ істотним їх дефектом є холодні тріщини, які виникають при температурах нижче 700 °С, коли матеріал переходить з в'язкого в крихкий стан [4, 5]. Низька пластичність зварного з'єднання в стані після зварювання, в свою чергу, визначається несприятливою структурою зварного з'єднання і, при наростанні зварювальних напружень в процесі охолодження, призводить к появі холодних тріщин [6–8].

З метою боротьби з тріщинами необхідно забезпечити уповільнену швидкість охолодження [9]. При цьому знижується температурний градієнт і, відповідно, рівень напруженого стану, що є важливим фактором в боротьбі з утворенням тріщин. В той же час поліпшується пластичність зварного з'єднання в результаті сприятливих структурних перетворень.

Найважливішим завданням підвищення надійності авіаційних і газотурбінних двигунів є запобігання небезпеки руйнування найбільш відповідальних конструктивних елементів. Жорсткість вимог до працездатності зварних конструкцій відповідального призначення, виготовлених на основі титанових сплавів, може бути задоволено високою якістю зварних з'єднань. Актуальним напрямком дослідження є підвищення механічних властивостей зварного з'єднання до рівня не нижче властивостей вихідного матеріалу шляхом запобігання утворення макро- та мікротріщин, пористості в зварному шві і біляшовної зони.

**Електронно-променеве зварювання з наступною локальною термічною обробкою.** Експерименти по ЕПЗ і дослідження зварних з'єднань інтерметалідного сплаву Ti-44Al-5Nb-3Cr-1,5Zr (at. %) проводили на зразках товщиною 3 та 10 мм. Товщина зразків для відпрацювання режимів зварювання вибиралася виходячи з того, що товщини  $\delta = 3$  мм можуть бути використані в зварних вузлах ГТД високого і низького тиску, а вибір 10 мм обґрунтований тим, що такі товщини використовують для лопаток компресорів авіаційних двигунів.

Зразки зварювалися з попереднім підігрівом на наступному режимі:  $T_{\text{поп.підігріву}} = 450$  °C;  $U_{\text{приск}} = 60$  кВ;  $V_{\text{зв}} = 7$  мм/с;  $P = 5 \cdot 10^{-3}$ ;  $I_{\text{п}} = 35$  мА (для товщини  $\delta = 3$  мм) і  $I_{\text{п}} = 90$  мА (для товщини  $\delta = 10$  мм). Отримані зразки мали поперечні тріщини, які проходили через зварний шов.

Розрахунковими методами були визначені теплові умови, що призводять до утворення холодних тріщин. Проведені дослідження напруженого стану зварних з'єднань, а також процесів структуроутворення, які відбуваються при ЕПЗ. В результаті узагальнення цих досліджень було показано, що крім попереднього підігріву відразу після проведення зварювання необхідно проводити локальну термообробку (ЛТО). Для цього найбільш раціональним є використання можливостей електронного променя. Місцева локальна термообробка шляхом сканування променя вздовж шва одразу після закінчення зварювання дозволить знизити швидкість наростання тимчасових напруг при зварюванні і рівень залишкових зварювальних напруг, що дасть можливість зменшити вірогідність появи тріщин.

Розроблена технологія ЕПЗ інтерметаліду Ti-44Al-5Nb-3Cr-1,5Zr (at.%) з наступною ЛТО, яка відбувається відразу після закінчення процесу зварювання, забезпечуючи швидкість охолодження зварного з'єднання в діапазоні  $0,7 \dots 0,9$  °C/с. При цьому електронний промінь розфокусується від 2 мм при зварюванні діаметром до 15 мм при термообробці, а зварювальний струм змен-

шується на 1/3, що дозволяє підтримувати рівень температури зварного з'єднання 1000 °C продовж 5 хв. Застосування запропонованого способу ЛТО дозволило знизити рівень залишкових зварювальних напружень і, за рахунок цього, уникнути утворення тріщин в шві на матеріалі товщиною 10 мм [10].

Для пластин товщиною 3 мм були запропоновані режими контрольованого охолодження, що дозволяють компенсувати надлишкову поверхневу тепловіддачу. При застосуванні цієї технології рекомендовано проводити термообробку розфокусованим і розгорнутим електронним пучком з поступовим зниженням його потужності, а саме, безпосередньо після закінчення зварювання електронну гармату потрібно виводити на середину зварного шва і за допомогою спеціальної комп'ютерної програми розгортати промінь до необхідної конфігурації в одну та другу сторону від середини шва до його кінця. При цьому частота сканування електронного променя становить 100 Гц, а зварювальний струм знижується на 1/3. Загальний час зазначеної термообробки становить 10 хв. Температура зварного з'єднання 1000 °C підтримується протягом 5 хв. Потім завдяки повільному ( $\sim 5$  хв) зменшенню струму по спеціальній програмі зварне з'єднання охолоджується до температури 500 °C [11].

Використання локальної термообробки дозволило знизити зварювальні залишкові напруги майже на 30 % – з 225 до 160 МПа. Це дало можливість уникнути появу холодних тріщин і отримати бездефектні з'єднання.



Рис. 1. Зовнішній вигляд зразка інтерметаліду, який виготовлений для механічних випробувань: а – товщина 3; б – 10 мм

**Дослідження механічних властивостей зварних з'єднань.** Для оцінки міцності зварних з'єднань були проведені випробування на статичний розтяг. Випробування проводилися по ГОСТ 1497-84 на розривній машині ZD-4.

Для випробувань були підготовлені зразки МІ-12.

На рис. 1 показано зовнішній вигляд зразків, виготовлених для випробування на розтяг.

Руйнування зразків відбувалося по основному матеріалу.

На рис. 2 представлено зразки інтерметаліду циліндричної форми після випробування на розтяг.

На рис. 3 наведена типова діаграма розтягування зварного з'єднання інтерметаліду товщиною 3

та 10 мм, які були отримані ЕПЗ зварюванням з ЛТО.

Результати механічних випробувань зварних з'єднань зразків, отриманих при випробуваннях на розтяг, наведено в табл. 1.

Для порівняння були проведені механічні випробування зварних з'єднань зразків, які одержані ЕПЗ без застосування ЛТО. У табл. 2 наведено результати випробувань.

На рис. 4 наведена типова діаграма розтягування зварного з'єднання інтерметаліду товщиною 3 мм, яке отримано ЕПЗ без застосування ЛТО.

На рис. 5 наведено гістограми, на яких показані значення межі міцності ( $\sigma_b$ ) зварних з'єднань, які отримані при випробуванні на розтяг для зразків різної товщини з використанням ЛТО і без неї.

Як видно з гістограм, значення межі міцності у зразків товщиною 3 та 10 мм, які зварені з використанням післязварювальної локальної термообробки, значно вище ніж для зразків, які одержані без використання ЛТО і достатньо рівномірне для зразків різних товщин.



Рис. 2. Зразки інтерметаліду після випробування на розтяг: а – товщина 3 мм; б – 10

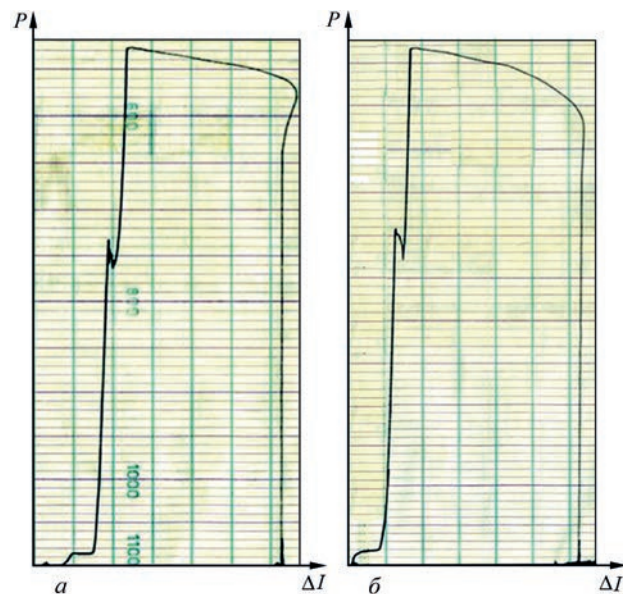


Рис. 3. Діаграма випробувань зварних з'єднань на розтяг: а – товщина 3 мм; б – 10

Таблиця 1. Межа міцності зварних з'єднань

Номер зразка	Товщина $\delta$ , мм	Значення $\sigma_b$ , МПа	Місце руйнування
1	3	310,9	ОМ
2	3	319,1	"-
3	10	343,8	"-
4	10	337,4	"-
5	10	346,6	"-
Середнє значення: $\delta = 3$ мм		315,0	
$\delta = 10$ мм		342,6	

Таблиця 2. Межа міцності зварних з'єднань інтерметаліду, отриманого методом ЕПЗ без ЛТО

Номер зразка	Товщина $\delta$ , мм	Значення $\sigma_b$ , МПа	Місце руйнування
1	3	197,8	ОМ
2	3	152,1	"-
3	3	175,5	"-
Середнє значення:		175,13	

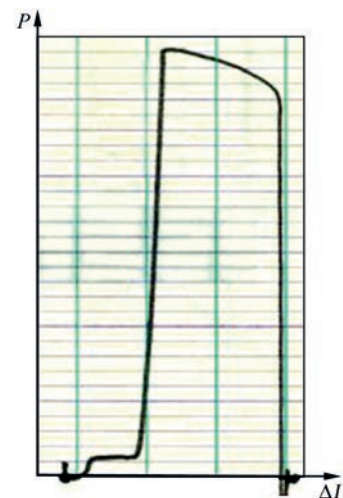


Рис. 4. Діаграма випробувань зварного з'єднання на розтяг товщиною 3 мм, яке отримане методом ЕПЗ без ЛТО



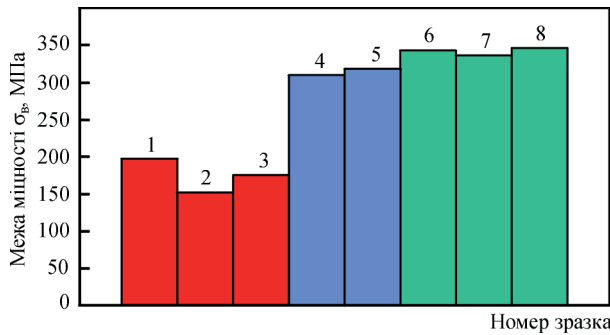


Рис. 5. Значення межі міцності зварних з'єднань інтерметаліду, які отримані при випробуванні на розтяг: 1–3 – отримані ЕПЗ без ЛТО ( $\delta = 3$  мм); 4, 5 – отримані ЕПЗ з наступною ЛТО ( $\delta = 3$  мм); 6–8 – отримані ЕПЗ з наступною ЛТО ( $\delta = 10$  мм)

Вимірювання мікротвердості зварних з'єднань показали, що в зоні основного металу відбувається зниження мікротвердості до 3570 МПа в порівнянні зі зварним швом, що має мікротвердість порядку 5430 та ЗТВ, яка має мікротвердість 4810 МПа.

Таким чином, результати вимірів мікротвердості зварних зразків корелюються з результатами міцності зварного з'єднання після руйнування всіх зразків – руйнування зразків відбувалося приблизно по зоні зниження механічних властивостей.

Досліджений характер ламів різних частин зварного з'єднання. На рис. 6 показана фрактограма поверхні зламу зварного з'єднання на ділянці

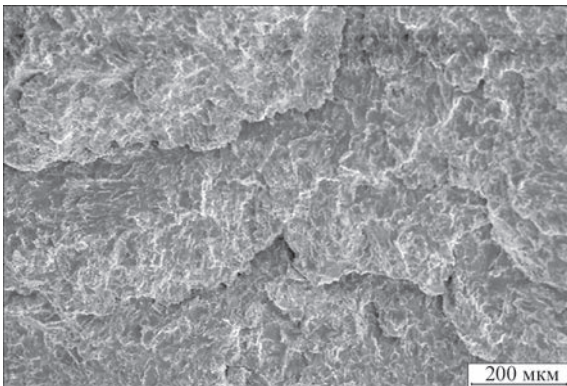


Рис. 6. Фрактограма поверхні зламу вихідного металу інтерметаліду титану системи TiAl із застосуванням ЛТО

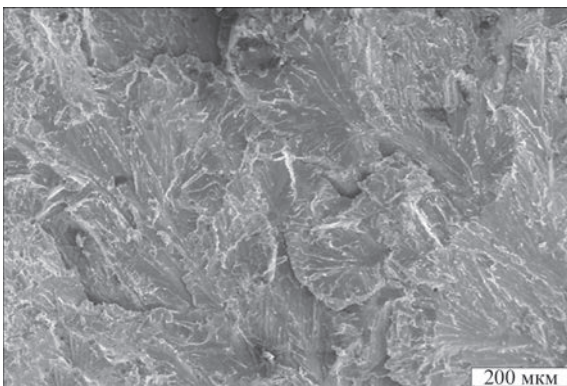


Рис. 7. Фрактограма поверхні зламу зварного з'єднання інтерметаліду титану системи TiAl, ділянка металу шва ( $\times 200$ )

основного матеріалу. Видно, що на ділянках основного матеріалу спостерігається ступеневе руйнування. Сходинки просуюються в одному напрямку паралельно один одному. Такий тип зламу характерний для крихкого руйнування.

Злами зварних з'єднань алюмініду титану, які були зварені із застосуванням після зварювальної ЛТО, мають змішаний характер руйнування (з  $\sim 30\%$  в'язкої складової).

Фактографічні дослідження (рис. 7) підтвердили, що руйнування відбувається в зоні крихкої частини зразка.

Аналіз даних, які отримані при випробуванні, показав, що для зразків, які зварювалися з наступною ЛТО, характерні найбільш високі значення межі міцності.

Руйнування не по зварному з'єднанню завжди трактується як ознака високої якості зварювання [12–14].

Оскільки механічні властивості зварного з'єднання тісно пов'язані з його структурним станом, то необхідно провести порівняльний аналіз металографічних досліджень з механічними характеристиками. Зварний шов, отриманий ЕПЗ без подальшої термообробки, має двокомпонентну

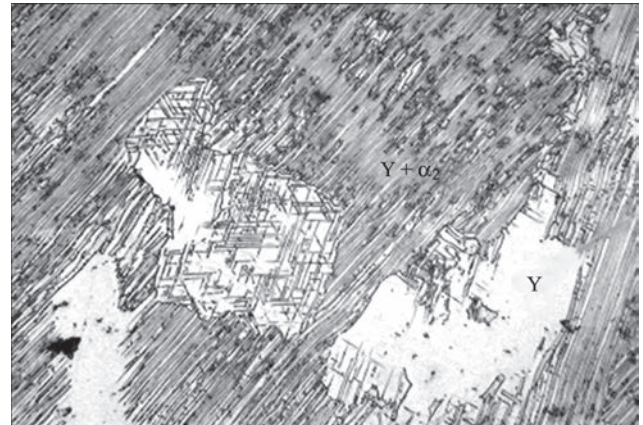


Рис. 8. Мікроструктура ( $\times 500$ ) зварного шва, виконаного без ЛТО

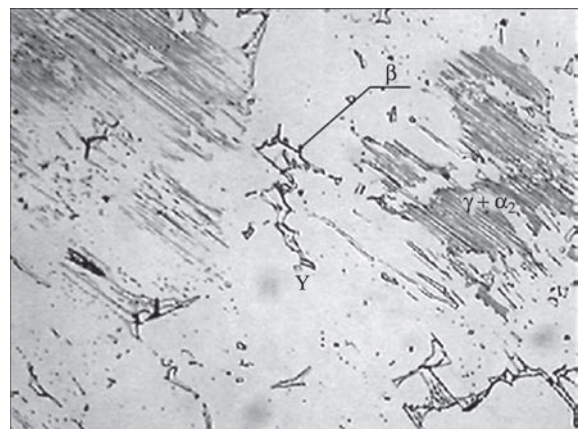


Рис. 9. Мікроструктура ( $\times 500$ ) ділянки основного металу зварного з'єднання алюмініду титану, яке виконане ЕПЗ з подальшою ЛТО

структуру, що складається з  $\gamma$  та  $\alpha_2$ - фаз (рис. 8), а застосування ЛТО сприяє зниженню швидкості охолодження зварного шва, і при цьому відбувається утворення  $\beta$ -фази (рис. 9), що відповідає за підвищення пластичності і міцності зварного з'єднання.

Така структурна відмінність зварних з'єднань, які одержані з наступною післязварювальною термообробкою, позитивно впливає на рівень міцності при механічних випробуваннях, а саме, дозволяє збільшити межу міцності зварного з'єднання за середніми значеннями приблизно в 1,8 рази – з 175 до 315 МПа.

Таким чином, ЛТО зварного з'єднання дозволяє значно підвищити його якість.

### Висновки

1. Механічні випробування зварних з'єднань на розтягнення показали, що руйнування зразків відбувається по основному матеріалу, це свідчить про високу якість зварювання.

2. Порівняльний аналіз рівня міцності зварних з'єднань з результатами вимірів мікротвердості, а також з результатами фрактографічних досліджень показав, що руйнування зразків відбувалося по зоні зниження механічних властивостей.

3. При застосуванні ЛТО зварних з'єднань при охолодженні від температури 1000 °C відбувається фазова трансформація, при якій в структурі з'являються додаткова  $\beta_0$  (B2) фаза, що розташовується по межах колоній і сприяє збільшенню пластичності матеріалу.

4. Застосування ЛТО збільшує рівень межі міцності зварного з'єднання приблизно в 1,8 рази.

### Список літератури

1. Appel F., Paul, J.D.H., Oering, M. (2011) *Gamma Titanium Aluminide Alloys*. Science and Technology, WILEY-VCH, Weinheim.
2. Кучук-Яценко С.И., Зяхор И.В., Чернобай С.В. др. (2015) Структура соединений алюминидов титана  $\gamma$ -TiAl при контактной стыковой сварке сопротивлением с использованием промежуточных прослоек. *Автоматическая сварка*, **9**, 7–14.
3. Patterson, R.A. (1990) Titaniumaluminide: electron beam weldability. *Welding J.*, **1**, 39–44.
4. Pflumma, R., Donchev, A., Mayer, S. et al. (2014) High-temperature oxidation behavior of multi-phase Mo-containing  $\gamma$ -TiAl-based alloys. *Intermetallics*, **53**, 45–55.
5. Куликовский Р.А., Пахолка С.Н., Павленко Д.В. (2015) Перспективы промышленного применения алюминидов титана в авиадвигателестроении. Строительство, материаловедение, машиностроение. *Стародубовские чтения*, **80**, 369–372.
6. Xu, Q., Chaturvedi, MC, Richards, NL. (1999) The role of phase transformation in electron-beam welding of TiAl-based alloys. *Metallurgical and Materials Transactions, A*, **30A**, 1717–1726.
7. Liu, J., Dahmen, M., Ventzke, V. et al. (2013) The effect of heat treatment on crack control and grain refinement in laser beam welded beta-solidifying TiAl-based alloy. *Intermetallics*, **40**, 65–70.
8. Замков В.Н., Сабокарь И.К., Вржижевский Э.Л. и др. (2005) *Электронно-лучевая сварка  $\gamma$ -алюминидов титана*.

- на. Сборник трудов Междунар. конф. «Ti-2005 в СНГ». Киев, Наукова думка, сс. 157–164.
9. Chen, G.Q., Zhang, B.G., Liu, W., Feng, J.C. (2011) Crack formation and control upon the electron beam welding of TiAl-based alloys. *Intermetallics*, **19**, 1857–1863.
  10. Лобанов Л.М., Аснис Е.А., Пискун Н.В. и др. (2019) Исследование напряженно-деформированного состояния сварных соединений интерметаллидов системы TiAl. *Автоматическая сварка*, **11**, 11–15.
  11. Velikoivanenko E.A., Milenin A.S., Rozyinka G.F. et al. (2019) Forecasting of inclination of welded joints of titan  $\gamma$ -aluminide based alloy towards cold cracking under electron beam welding. *Технологические системы*, **3**, 59–66.
  12. Пухальская Г.В., Марков И.Б. (2016) Определение механических свойств в различных зонах сварных соединений из титанового сплава VT3-1. *Вестник двигателестроения*, **1**, 89–91.
  13. Медведев А.Ю., Павлини С.П. (2012) Испытания на растяжение сварных соединений титановых сплавов, выполненных линейной сваркой трением. *Вестник УГАТУ*, **16**, **7**, 52, 68–71.
  14. Ночовная Н.А., Панин П.В. (2014) Анализ остаточных макронапряжений в сварных соединениях титановых сплавов различных классов. *Труды ВИАМ*, **5**, 2.

### References

1. Appel, F., Paul, J.D.H., Oering, M. (2011) Gamma titanium aluminide alloys. *Sci. and Technol.*, WILEY-VCH, Weinheim.
2. Kuchuk-Yatsenko, S.I., Zyakhor, I.V., Chernobaj, S.V. et al. (2015) Structure of  $\beta$ -TiAl joints in resistance butt welding with application of interlayers. *The Paton Welding J.*, **9**, 5-12.
3. Patterson, R.A. (1990) Titanium aluminide: electron beam weldability. *Welding J.*, **1**, 39–44.
4. Pflumma, R., Donchev, A., Mayer, S. et al. (2014) High-temperature oxidation behavior of multi-phase Mo-containing  $\gamma$ -TiAl-based alloys. *Intermetallics*, **53**, 45–55.
5. Kulikovskiy, R.A., Pakholka, S.N., Pavlenko, D.V. (2015) Prospects of industrial application of titanium aluminide in aircraft engine construction. *Stroitelstvo, Materialovedenie, Mashinostroenie. Starodubov Lectures*, **80**, 369–372 [in Russian].
6. Xu, Q., Chaturvedi, MC, Richards, NL. (1999) The role of phase transformation in electron-beam welding of TiAl-based alloys. *Metallurg. and Mater. Transact., A*, **30A**, 1717–1726.
7. Liu, J., Dahmen, M., Ventzke, V. et al. (2013) The effect of heat treatment on crack control and grain refinement in laser beam welded beta-solidifying TiAl-based alloy. *Intermetallics*, **40**, 65–70.
8. Zamkov, V.N., Sabokar, I.K., Vrzhezhevskiy, E.L. et al. (2005) *Electron beam welding of  $\gamma$ -titanium aluminide*. In: Proc. of Int. Conf. on Ti-2005 in CIS. Kiev, Naukova Dumka, 157–164.
9. Chen, G.Q., Zhang, B.G., Liu, W., Feng, J.C. (2011) Crack formation and control upon the electron beam welding of TiAl-based alloys. *Intermetallics*, **19**, 1857–1863.
10. Lobanov, L.M., Asnis, E.A., Piskun, N.V. et al. (2019) Investigation of stress-strain state of welded joints of the system TiAl intermetallics. *The Paton Welding J.*, **11**, 8-11.
11. Velikoivanenko, E.A., Milenin, A.S., Rozyinka, G.F. et al. (2019) Prediction of cold cracking susceptibility of welded joints of  $\gamma$ -titanium aluminide based alloy in electron beam welding. *Tekhnologicheskie Sistemy*, **3**, 59–66.
12. Pukhalskaya, G.V., Markov, I.B. (2016) Determination of mechanical properties in different zones of welded joints of titanium alloy VT3-1. *Vestnik Dvigatelistroeniya*, **1**, 89–91 [in Russian].
13. Medvedev, A.Yu., Pavlini, S.P. (2012) Tensile tests of welded joints of titanium alloys performed by linear friction welding. *Vestnik UGATY*, **16**, **7**, 52, 68-71 [in Russian].
14. Nochovnaya, N.A., Panin, P.V. (2014) Analysis of residual macrostresses in welded joints of titanium alloys of different classes. *Trudy VIAM*, **5**, 2 [in Russian].



## INFLUENCE OF LOCAL HEAT TREATMENT ON MECHANICAL CHARACTERISTICS OF WELDED JOINTS OF INTERMETALLIC TIAL SYSTEM OBTAINED BY ELECTRON BEAM WELDING

L.M. Lobanov, E.A. Asnis, N.V. Piskun, E.L. Vrzhyzhevskiy, L.M. Radchenko

E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine, 11 Kazymyr Malevych Str., 03150, Kyiv, Ukraine.

E-mail: office@paton.kiev.ua

Welded joints of intermetallic  $\beta$ -stabilized alloy of TiAl system – Ti-44Al-5Nb-3Cr-1.5Zr (at. %) were investigated. Intermetallic blanks of 3 and 10 mm thickness were welded by electron beam welding. In order to prevent the occurrence of cold cracks in the welded joints of titanium aluminide samples of different thickness, the following post-welding local heat treatment using an electron beam was performed. This method of processing is one of the most attractive for improving the structure of the ingot and reducing the level of residual welding stresses, which, in its turn, significantly increases the mechanical properties of the alloy. Static tensile tests were performed to assess the strength of welded joints. The samples failed in the base material. The paper presents histograms showing the values of tensile strength ( $\sigma$ ) of welded joints obtained during tensile test for samples of different thickness with and without LHT application. It is shown that the use of local heat treatment increases the tensile strength of samples of 3 and 10 mm thickness by 1.8 times, compared with samples produced without LHT. In addition, the values of this characteristic for welded joints of different thicknesses, which are obtained using this technique, are quite uniform. Comparative analysis of the results of tensile tests and the results of microhardness studies was performed, which showed that destruction of the samples took place in the zone of lowering of mechanical properties. The nature of fractures of different parts of the welded joint was studied, which confirmed that fracture occurs in the zone of brittle part of the sample. It is known that mechanical properties of the welded joint are closely related to its structural state. During local heat treatment, an additional  $\beta_0$  (B2) phase appears in the structure, which increases the ductility of the weld material. 14 Ref., 2 Tabl, 9 Fig.

*Keywords: intermetallic alloy of TiAl system, electron beam welding, local heat treatment, mechanical tensile tests, tensile strength, structural state, microhardness*

Надійшла до редакції  
29.07.2020

ВЕДУЩАЯ ВЫСТАВКА В МИРЕ  
СВАРКА • РЕЗКА • ОБРАБОТКА

LET'S JOIN  
THE WORLD!

13.-17. сентября 2021

РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ  
СЕЙЧАС!

SCHWEISSEN  
& SCHNEIDEN  
No. 1  
IN THE WORLD

MESSE  
ESSEN

www.schweissen-schneiden.com

MESSE  
ESSEN

DVS GERMAN WELDING  
SOCIETY