

ЗВАРЮВАННЯ У ВУЗЬКИЙ ЗАЗОР МАГНІТОКЕРОВАНОЮ ДУГОЮ ТИТАНОВОГО СПЛАВУ ПТ-3В

С.В. Ахонін, В.Ю. Білоус, Р.В. Селін, І.К. Петриченко, Л.М. Радченко, С.Б. Руханський

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: belousvy@gmail.com

Аргонодугове зварювання титанових сплавів вольфрамовим електродом у вузький зазор – економічний та ефективний спосіб з'єднання конструкцій з титанових сплавів великої товщини. Технологія зварювання титанових сплавів у вузький зазор магнітокерованою дугою дозволяє змінювати в широких межах параметри режиму зварювання. У даній роботі розглядається застосування зварювання у вузький зазор вольфрамовим електродом з використанням керуючого магнітного поля для виконання з'єднань з плит із титанового сплаву ПТ-3В завтовшки 45 та 64 мм. Міцність зварних з'єднань титанового сплаву ПТ-3В, виконаних зварюванням у вузький зазор вольфрамовим електродом з керуючим магнітним полем, становить 636 МПа або 85 % від міцності основного металу, та аналогічна властивостям зварних з'єднань, виконаних за існуючою технологією аргонодугового зварювання. Застосування отриманих результатів дозволило виконувати зварювання з'єднань змінної товщини від 45 до 65 мм з титанового сплаву за однаково кількість проходів. Бібліогр. 18, табл. 3, рис. 9.

Ключові слова: зварювання у вузький зазор, титан, титановий сплав, аргонодугове зварювання, вольфрамовий електрод, керуюче магнітне поле, погонна енергія, структура, мікроструктура, механічні властивості, металографічні дослідження

Вступ. Зварювання у вузький зазор – економічний та ефективний спосіб з'єднання металу великої товщини [1, 2]. Зниження витрат присаджувального дроту, інертного газу та інших зварювальних матеріалів, трудомісткості підготовки кромки деталей, що зварюються, – фактори, які особливо важливі у разі зварювання титану та сплавів на його основі [3]. Відомим способом зварювання титану є розроблений в ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України метод зварювання у вузький зазор вольфрамовим електродом (ЗВЗ) магнітокерованою дугою [4]. Цей спосіб зварювання має такі переваги як: мала ширина одержуваного шва і малий об'єм металу, що наплавляється. Також перевагою можна вважати просту форму кромки під зварювання.

Як відомо, ЗВЗ можна виконувати в широкому діапазоні значень зварювального струму, швидкостей зварювання та подачі присаджувального дроту [5, 6]. При цьому можна наплавляти за один прохід шар металу завтовшки від 3 до 8 мм і більше. Збільшена товщина шару металу, що наплавляється за один прохід, дозволяє скоротити кількість проходів для заповнення зазору, що, у свою чергу, збільшує продуктивність процесу зварювання. Однак головною умовою при виборі режиму зварювання титанових сплавів є отримання бездефектного з'єднання [7, 8]. Надмірне збільшення товщини шару металу, який наплавляється за один

прохід, може призводити до виникнення дефектів у шві [9, 10]. Характерним дефектом багатшарового зварювання титанових сплавів у вузький зазор є несплавлення між металом шва та основним металом, а також міжшарові несплавлення в шві [11, 12].

Технологія зварювання титанових сплавів у вузький зазор магнітокерованою дугою дозволяє змінювати не тільки погонну енергію процесу зварювання [13–15], але й параметри керуючого магнітного поля – такі як: величина магнітної індукції в зоні дуги, а також частота реверсування керуючого магнітного поля [16].

Таким чином, доцільно провести дослідження, що дозволяють визначити вплив таких параметрів процесу зварювання титанових сплавів у вузький зазор магнітокерованою дугою, як величина магнітної індукції керуючого магнітного поля, а також величина погонної енергії, на властивості зварних з'єднань титанового сплаву марки ПТ-3В.

Мета роботи – дослідити вплив величини індукції керуючого магнітного поля та величини погонної енергії процесу зварювання у вузький зазор вольфрамовим електродом титанового сплаву ПТ-3В на структуру та механічні властивості зварних з'єднань.

Матеріали, застосовані в дослідженні. Для досягнення поставленої мети виконувалося багатшарове зварювання зразків завтовшки 45 і 65

мм, виготовлених із титанового сплаву ПТ-3В за ГОСТ 1050-88. Довжина дослідних зразків для зварювання становила 600 мм.

В якості присадки був застосований титановий присаджувальний дріт марки 2В діаметром 3 мм, рекомендований для титанового сплаву ПТ-3В. Зварювання виконувалось з накладенням зовнішнього керуючого магнітного поля для відхилення дуги. У роботі було застосовано вольфрамові електроди марки ЕВІ-2 діаметром 5 мм. Здійснювалось зварювання на постійному струмі прямої полярності. Використовувалось джерело зварювального струму ВДУ-501. Величина струму зварювання обиралась в межах 420...480 А, напруга на дузі підтримувалась системою автоматичного регулювання напруги на дузі на рівні 12 В. Швидкість подавання присаджувального дроту марки 2В діаметром 3 мм у зварювальну ванну змінювалась в межах 64...82 м/г.

Збирання деталей під зварювання проводилося із застосуванням підкладки, що залишається, яку вручну приварюють зі зворотного боку деталі [17] (рис. 1). Ця підкладка слугує нижньою стінкою вузького зазору при виконанні першого проходу. Після виконання кореневого проходу виконувались заповнюючі проходи. Для зварювання стику завтовшки 65 мм потрібно 13 проходів, тобто відбувається наплавлення шару металу завтовшки 5 мм при зварюванні за існуючою технологією. Якщо збільшити товщину шару металу, що наплавляється за один прохід, продуктивність процесу виконання зварного з'єднання загалом збільшиться.

Схему процесу багатошарового зварювання наведено на рис. 2. Зварювання виконується вольфрамовим електродом, що опускається у вузький зазор. При цьому дріт, що присаджується, подається перпендикулярно до електрода в головну частину зварювальної ванни. Керуюче магнітне поле створює спеціальний електромагніт з вузьким осердям, розміщеним у вузькому зазорі [17]. У результаті взаємодії магнітного поля зі струмом дуги виникає

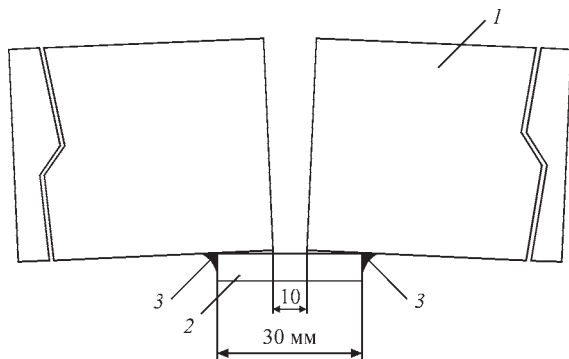


Рис. 1. Схema збирання зразків під зварювання: 1 – бокові стінки вузького зазору; 2 – підкладка, що залишається; 3 – зварні шви для приварювання підкладки до бокових стінок

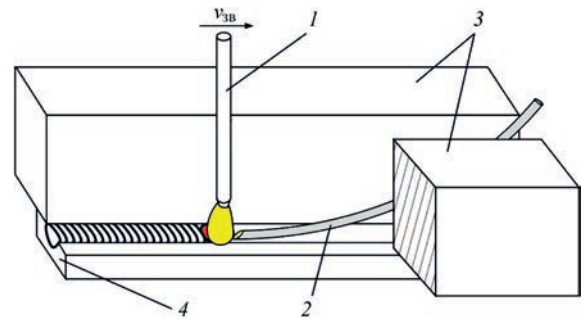


Рис. 2. Схema процесу багатошарового зварювання у вузький зазор вольфрамовим електродом: 1 – вольфрамовий електрод; 2 – присаджувальний дріт; 3 – плити, що зварюються; 4 – приварена підкладка, що залишається

сила Лоренца, яка відхиляє дугу та призводить до зміщення анодної плями до бокової стінки.

Схему оплавлення бокових стінок вузького зазору при зварюванні у вузький зазор вольфрамовим електродом із зовнішнім керуючим магнітним полем показано на рис. 3. Величина зміщення анодної плями на бокову стінку пропорційна значенню магнітної індукції керуючого магнітного поля. З наведеної схеми можна зробити висновок, що для того, щоб забезпечити гарантоване сплавлення шару металу шва заввишки h_z з боковою стінкою, необхідно відхилити зварювальну дугу так, щоб анодна пляма піднялася по боковій стінці на відповідну висоту h_z та оплавилася метал.

Режими зварювання з різними значеннями погонної енергії та значеннями магнітної індукції керуючого магнітного поля, які забезпечують якісне формування поверхні наплавленого валика та відсутність несплавлень наплавленого металу шва з боковими стінками зварних з'єднань титанового сплаву ПТ-3В, наведені в табл. 1. Макрошліфи зварних з'єднань наведено на рис. 4.

Зварювання за параметрами режиму № 1 та № 3 забезпечують якісне формування поверхні наплавленого валика зразка титанового сплаву ПТ-3В. Причому ЗВЗ з керуючим магнітним полем із найбільшою швидкістю подачі присад-

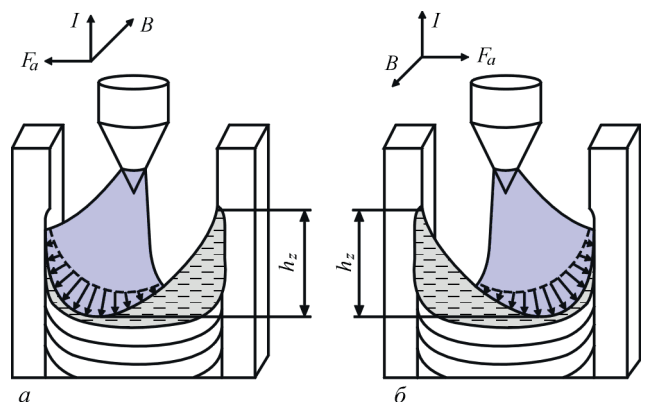


Рис. 3. Схema оплавлення бокових стінок вузького зазору та розташування зварювальної дуги: а, б – крайні положення; h_z – висота шару металу шва, що наплавляється

Таблиця 1. Режими зварювання у вузький зазор вольфрамовим електродом титанового сплаву ПТ-3В із зовнішнім керуючим магнітним полем

Номер режиму	Швидкість зварювання $V_{зв}$, м/год	Індукція керуючого магнітного поля, мТл	Струм зварювання $I_{зв}$, А	Погонна енергія (повна), кДж/м	Швидкість подачі присаджувального дроту, м/г
1	8	8	420	2268	64
2	5	8	480	4147	64
3	8	11	450	2430	82

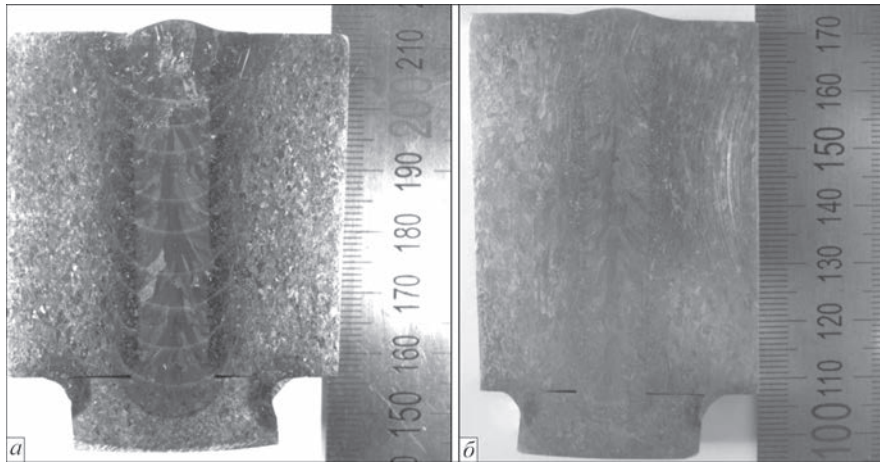


Рис. 4. Поперечні макрошліфи зварних з'єднань титанового сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВЗ з керуючим магнітним полем: *a* – зварне з'єднання завтовшки 45 мм, режим № 1; *б* – зварне з'єднання завтовшки 65 мм, режим № 3

жувального дроту на рівні 82 м/год (режим № 3, табл. 1) забезпечує найбільшу висоту наплавленого за один прохід шару металу завтовшки 7 мм. Слід зазначити, що при збільшенні швидкості подачі присаджувального дроту без збільшення значень магнітної індукції керуючого магнітного поля на режимі № 2 в металі швів фіксуються утворення несплавлень. Для того щоб підвищити продуктивність одного проходу і наплавляти за один прохід шар металу завтовшки 7 мм, потрібно зменшення швидкості зварювання та збільшення зварювального струму до 480 А. Це відповідає режиму № 2 (табл. 1), що відрізняється великим значенням погонної енергії процесу зварювання (4147 кДж/м).

Якщо збільшувати значення магнітної індукції керуючого магнітного поля з 8 до 11 мТл, збільшується висота переміщення анодної плями на бокову

стінку вузького зазору та висота шару металу шва, що наплавляється, h_z (див. рис. 4). У цьому випадку можливе збільшення швидкості подачі присаджувального дроту та можливо наплавляти шар металу завтовшки 7 мм без зниження швидкості зварювання та з незначним збільшенням погонної енергії процесу зварювання режим, № 3 (табл. 1).

Дослідження мікроструктури зварних з'єднань титанового сплаву ПТ-3В, виконаних ЗВЗ з керуючим магнітним полем. Титановий сплав ПТ-3В і присаджувальний зварювальний дріт марки 2В відносяться до групи псевдо- α сплавів. Сплав ПТ-3В містить, мас. %: Fe – до 0,25; С – до 0,1; Si – до 0,12; V – 1,2...2,5; N – до 0,04; Ti – 91,39...95; Al – 3,5...5,0; Zr – до 0,3; O – до 0,15; H – до 0,006, інші домішки – 0,3. При ЗВЗ з керуючим магнітним полем в метал шва потрапляє не більше 10 % основного металу [4].

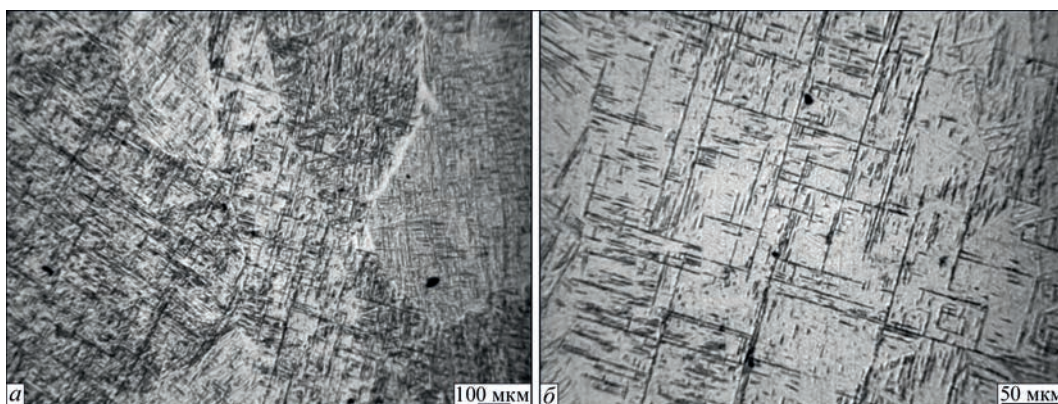


Рис. 5. Мікроструктура основного металу титанового сплаву ПТ-3В

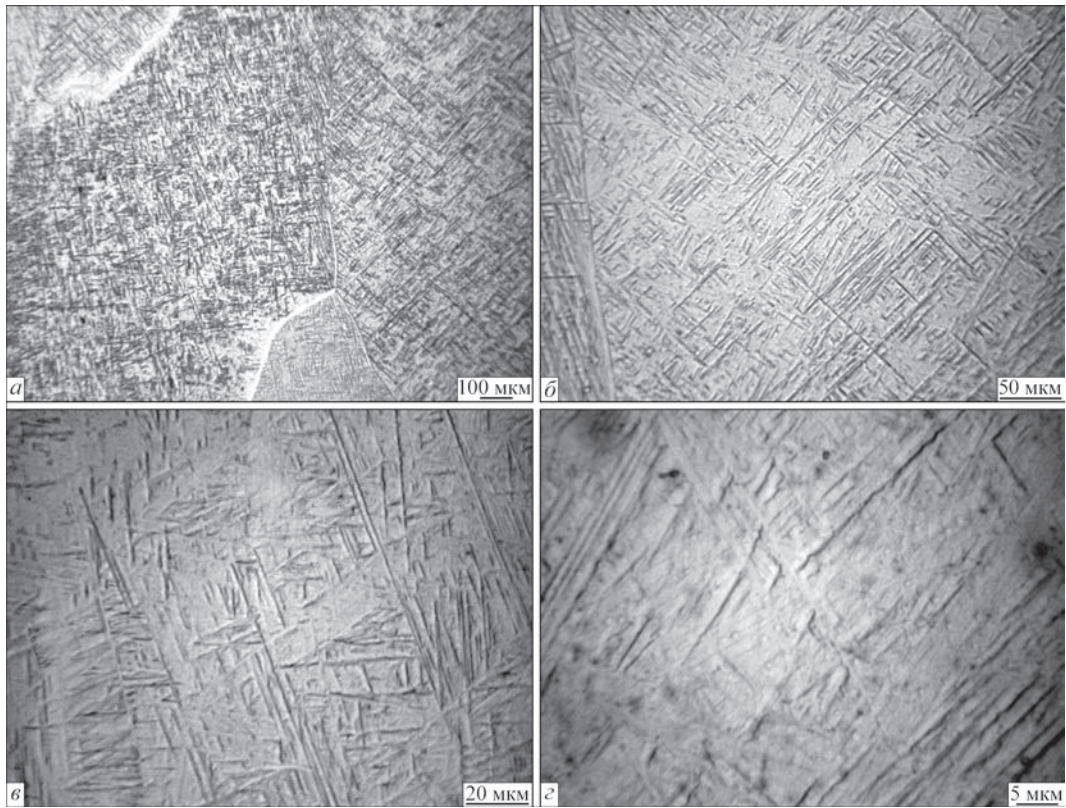


Рис. 6. Мікроструктура металу шва титанового сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВ3 з керуючим магнітним полем

Мікроструктура основного металу сплаву ПТ-3В представлена на рис. 5. Структура основного металу складається з рівновісних первинних β -зерен різного розміру, обрмлених стрічкою суцільної або переривчастої α -фази (рис. 5, *a*) завтовшки до 15 мкм. Внутрішньозеренна структура складається з пластинчастої α -фази (рис. 5, *б*) завтовшки до 1,5 мкм (рис. 5, *б*). У проміжках між α -пластинами можлива присутність невеликої кількості β -фази, яка не завжди виявляється при дослідженні на оптичному мікроскопі.

Мікроструктура металу шва сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВ3 на режимі № 3, в його середній частині представлена на рис. 6. У металі шва утворюються рівновісні та витягнуті первинні зерна різних розмірів. Незважаючи на відмінності конфігурації та розмірів первинних зерен, внутрішньо-

зеренна мікроструктура металу шва, виконаного ЗВ3 з дротом марки 2В (рис. 6, *a, б*) пластинчастого типу, дуже схожа на мікроструктуру основного металу. Мікроструктури металу швів, виконаних на режимах № 1 і № 2, аналогічні (рис. 6, *г*).

Мікроструктура металу шва сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВ3 на режимі № 3, в зоні сплавлення наведена на рис. 7. У зоні сплавлення спостерігається утворення дрібних первинних зерен (рис. 7, *a*), у той час як внутрішньозеренна структура подібна до структури основного металу (рис. 7, *б*).

Мікроструктура металу зони термічного впливу (ЗТВ) відразу за зоною сплавлення, а саме ділянка великого зерна сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВ3 на режимі № 3, представлена на рис. 8. Метал цієї зони складається з рівновісних первинних зерен (рис. 8, *a*) з мікроструктурою, близькою до вну-

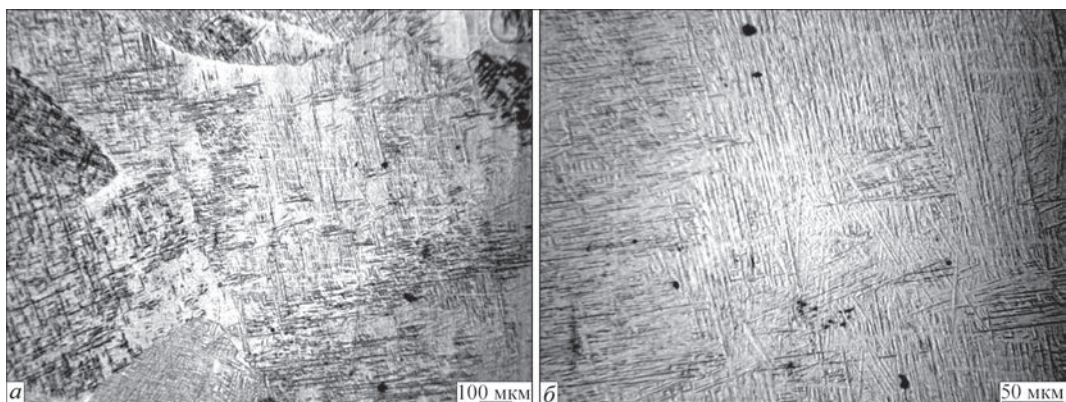


Рис. 7. Мікроструктура металу зони сплавлення титанового сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВ3 з керуючим магнітним полем

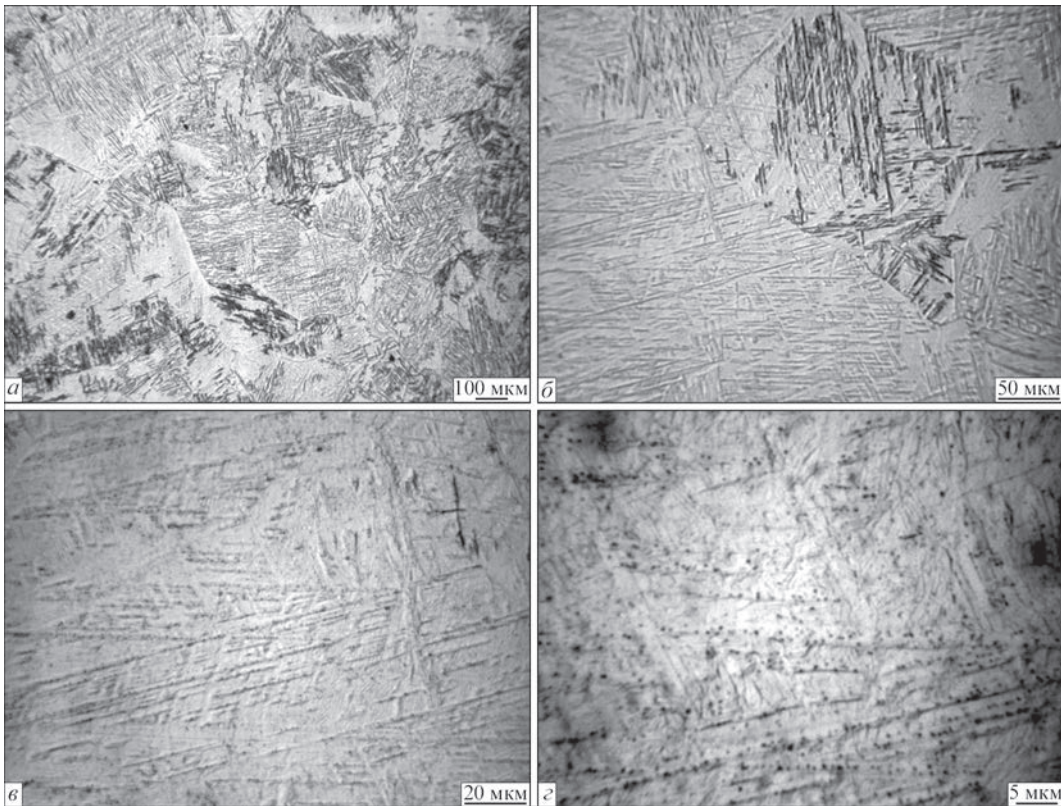


Рис. 8. Мікроструктура металу ЗТВ сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВЗ з керуючим магнітним полем

трішньої структури в обсязі зерна металу шва (рис. 8, б, в). На рис. 8, г можна спостерігати розміщення дисперсних частинок другої фази, найімовірніше β-фази, вздовж границь α-пластин. Розміри таких частинок становлять 0,5 мкм і менше (рис. 8, г).

Мікроструктуру металу ЗТВ поблизу основного металу сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВЗ на режимі № 3, наведено на рис. 9. Мікроструктура металу ЗТВ поблизу основного металу (рис. 9, а, б) також дуже подібна до інших ділянок зварного з'єднання сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВЗ із застосуванням присаджувального дроту марки 2В.

Таким чином, мікроструктура металу швів, виконаних на режимах №№ 1, 2 та 3, аналогічна. Мікроструктура металу ЗТВ, виконаних на режимах №№ 1, 2 та 3, також аналогічна. Однак розміри ЗТВ з'єднань, виконаних на режимі № 2 (табл. 2), най-

більші, що пов'язано з найбільшим значенням погонної енергії процесу зварювання на режимі № 2.

Обговорення результатів. Встановлення механічних властивостей зварних з'єднань титанового псевдо-α сплаву ПТ-3В, виконаних ЗВЗ із зовнішнім керуючим магнітним полем, дозволило зробити висновок, що найнижчі значення міцності в стані після зварювання на рівні 617 МПа мають

Таблиця 2. Розміри шва та ЗТВ зварних з'єднань титанового сплаву ПТ-3В, виконаних зварюванням у вузький зазор вольфрамовим електродом із зовнішнім керуючим магнітним полем

Номер режиму	Висота шару, що наплавляється за один прохід, мм	Ширина шва, мм	Ширина ЗТВ, мм
1	5	11,6	2,85
2	7,1	12,4	4,95
3	7,0	11,5	2,75

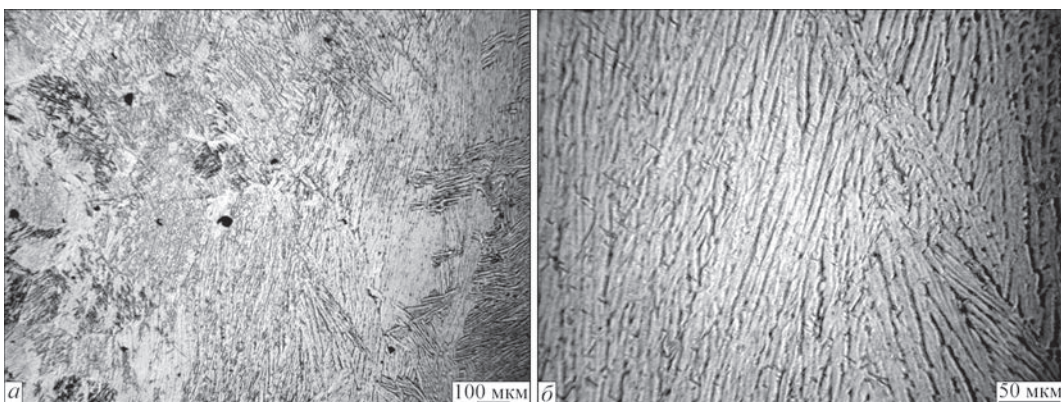


Рис. 9. Мікроструктура металу ЗТВ поблизу основного металу сплаву ПТ-3В, виконаного ЗВЗ з керуючим магнітним полем

Таблиця 3. Механічні властивості основного металу та зварних з'єднань титанового сплаву ПТ-3В, виконані ЗВЗ із зовнішнім керуючим магнітним полем*

Тип зразка, № режиму	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	
					Шов	ЗТВ
Основний метал ПТ-3В $\delta = 65$ мм	746,6	677,5	12,7	30,8	95,3	
Зварне з'єднання, режим № 1	643,2	603,5	12,7	41,2	107,4	77,9
Зварне з'єднання, режим № 2	617,4	559,7	9,0	38,7	112,2	77,7
Зварне з'єднання, режим № 3	636,5	583,4	14,0	46,2	104,7	79,0

Примітка. *Присаджувальний дріт 2В.

з'єднання, виконані на режимі № 2, зі значеннями погонної енергії зварювання 4147 кДж/м (табл. 3), що становить 82 % від міцності основного металу. Найбільші значення міцності в стані після зварювання на рівні 643 МПа мають зварні з'єднання, виконані на режимі № 1, з найменшими значеннями погонної енергії зварювання 2268 кДж/м (табл. 3), що становить 86 % від міцності основного металу. Значення міцності зварних з'єднань, виконаних на режимі № 3 з найбільшими значеннями магнітної індукції керуючого магнітного поля (11 мТл, див. табл. 1), знаходяться на рівні 636 МПа, що становить 85 % від міцності основного металу. Механічні властивості зварних з'єднань, виконаних на режимах № 1 та № 3, близькі. Для встановлення причин зниження міцності зварних з'єднань, виконаних на режимах № 2 з найбільшими значеннями погонної енергії зварювання і розмірами шва та ЗТВ, необхідні додаткові дослідження мікроструктури зварних з'єднань [17, 18].

Значення показників ударної в'язкості зразків з гострим надрізом металу шва для зварних з'єднань, виконаних на режимах №№ 1, 2, та 3, перевищують значення показника ударної в'язкості для основного металу. Це пов'язано з меншим вмістом легуючих елементів в металі шва, який складається на 90 % з присаджувального металу зварювального дроту марки 2В. Значення показників ударної в'язкості ЗТВ для зварних з'єднань, виконаних на режимах №№ 1, 2, та 3, менше за значення показника ударної в'язкості для основного металу.

Таким чином, встановлено можливість збільшення товщини шару металу шва, який наплавляється за один прохід, з 5 до 7 мм та підвищення загальної продуктивності процесу зварювання у вузький зазор титанового сплаву ПТ-3В за рахунок підвищення магнітної індукції керуючого магнітного поля до 11 мТл. Це дозволило забезпечити надійне оплавлення бокових стінок вузького зазору та отримати якісне зварне з'єднання. Механічні властивості зварних з'єднань, виконаних на режимі зі значеннями магнітної індукції керуючого магнітного поля 11 мТл, аналогічні властивостям зварних з'єднань, виконаних за існуючою технологією аргонодугового зварювання.

Застосування отриманих результатів дозволило запропонувати технологію зварювання титанового сплаву ПТ-3В змінної товщини, а саме завтовшки 45...65 мм за однакову кількість проходів.

Висновки

1. Визначено параметри режиму ЗВЗ із зовнішнім керуючим магнітним полем титанового сплаву марки ПТ-3В, що дозволяють наплавляти у вузький зазор завширшки 10 мм за один прохід шар металу завтовшки 7 мм.

2. Значення міцності зварних з'єднань сплаву марки ПТ-3В, виконаних ЗВЗ із присаджувальним дротом марки 2В на режимі зі значеннями магнітної індукції керуючого магнітного поля 11 мТл становлять 636 МПа або 85 % від міцності основного металу та аналогічні властивостям зварних з'єднань, виконаних за існуючою технологією аргонодугового зварювання.

3. Мікроструктура металу швів і ЗТВ сплаву марки ПТ-3В, виконаних ЗВЗ із присаджувальним дротом марки 2В на режимах з підвищеними значеннями індукції керуючого магнітного поля, аналогічні мікроструктурі металу швів, виконаних за існуючою технологією аргонодугового зварювання.

4. Застосування отриманих результатів дозволило запропонувати технологію зварювання титанового сплаву ПТ-3В змінної товщини, а саме завтовшки 45...65 мм за однакову кількість проходів.

Список літератури/References

1. Хори К., Ханэда М. (1999) Дуговая сварка в узкий зазор. *Журн. Япон. свароч. общества*, 3, 41–62.
2. Dak, G., Khanna, N., Pandey, C. (2023) Study on narrow gap welding of martensitic grade P92 and austenitic grade AISI 304L SS steel for ultra-supercritical power plant application. *Archiv.Civ.Mech.Eng.*, 23, 14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43452-022-00540-3>
3. Luo, Y., Zhang, Z.L., Zhou, C.F. et al. (2017) Effect of narrow groove MAG welding oscillation parameters on weld formation. *J. Hebei Univ. Sci. Technol.*, 38(1), 7–12. DOI: <https://doi.org/10.7535/hbkd.2017yx01002>
4. Ахонин С.В., Белоус В.Ю., Романюк В.С., Стесин В.В., Великий С.И., Семененко А.В., Полищук А.К. (2010) Сварка в узкий зазор высокопрочных титановых сплавов толщиной до 110 мм. *Автоматическая сварка*, 5, 44–48. Akhonin, S.V., Belous, V.Yu., Romanyuk, V.S., Stesin, V.V., Veliky, S.I., Semenenko, A.V., Polishchuk, A.K. (2010) Narrow-gap welding of up to 110 mm thick high-strength titanium alloys. *The Paton Welding J.*, 5, 34–37.

5. Jae-Ho Jun, Sung-Ryul Kim, Sang-Myung Cho (2016) A study on productivity improvement in narrow gap TIG welding. *J. of Welding and Joining*, 34(1), 68–74. DOI: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2016.34.1.68>
6. Nguyen, D.H. (2014) *Research on droplet transfer and welding process of oscillation arc narrow gap GMAW*. Master's Thesis, Harbin Institute of Technology, Harbin, China.
7. Sun, Qing Jie, Hai Feng Hu, Xin Yuan, Ji Cai Feng (2011) Research status and development trend of narrow-gap TIG welding. *Advanced Materials Research*, 308, 1170–1176. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.308-310.1170>
8. Dong, Z., Tian, Y., Zhang, L. et al. (2024) Research status of high efficiency deep penetration welding of medium-thick plate titanium alloy: a review. *Defence Technology*, 45, 178–202. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dt.2024.08.004>
9. Fang, D.S. (2017) *Study on the characteristics of three-wire indirect arc and its thick-wall narrow gap welding process under gas protection*. Ph.D. Thesis, Dalian University of Technology, Dalian, China.
10. Белоус В.Ю., Ахонин С.В. (2011) Формирование сварного соединения при сварке титана в узкий зазор с управляющим магнитным полем. *Автоматическая сварка*, 4, 22–26. Belous, V.Yu., Akhonin, S.V. (2011) Formation of narrow-gap welded joints on titanium using the controlling magnetic field. *The Paton Welding J.*, 4, 19–22.
11. Shoichi, M., Yukio, M., Koki, T. et al. (2013) Study on the application for electromagnetic controlled molten pool welding process in overhead and flat position welding. *Sci. Technol. Weld. Join.*, 18, 38–44. DOI: <https://doi.org/10.1179/1362171812Y.00000000070>
12. Ding, L., Qin, B., Ge, K. et al. (2023) Microstructures and mechanical properties of thick Ti–6Al–3Nb–2Zr–1Mo joint by magnetron-controlled narrow gap TIG welding. *Metals and Materials International*, 29(8), 2304–2315. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12540-022-01367-6>
13. Wang, J., Sun, Q., Feng, J. et al. (2017) Characteristics of welding and arc pressure in TIG narrow gap welding using novel magnetic arc oscillation. *The International J. of Advanced Manufacturing Technology*, 90, 413–420. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9407-5>
14. Wan, L., Huang, Y., Lv, S. et al. (2016) Narrow-gap tungsten inert gas welding of 78-mm-thick Ti–6Al–4V alloy. *Materials Science and Technology*, 32(15), 1545–1552. DOI: <https://doi.org/10.1080/02670836.2015.1131941>
15. Fang, N., Guo, E., Huang, R. et al. (2021) Effect of welding heat input on microstructure and properties of TC4 titanium alloy ultra-narrow gap welded joint by laser welding with filler wire. *Materials Research Express*, 8(1), 016511. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/2053-1591/abd4b3>
16. Xinyu Bao Yonglin Ma, Shuqing Xing, Yongzhen Liu, Weiwei Shi (2022) Effects of pulsed magnetic field melt treatment on grain refinement of Al–Si–Mg–Cu–Ni alloy direct-chill casting billet. *Metals*, 12(7), 1080. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12071080>
17. Ахонін С.В., Білоус В.Ю., Селін Р.В. та ін. (2023) TIG зварювання у вузький зазор сталі 20 підвищеної товщини. *Автоматичне зварювання*, 6, 21–26. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2023.06.04> Akhonin, S.V., Bilous, V.Yu., Selin, R.V. et al. (2023) Narrow-gap TIG welding of thick steel 20. *The Paton Welding J.*, 6, 18–23. DOI: <https://doi.org/10.37434/tpwj2023.06.03>
18. Yujun Hu, Hongjin Zhao, Xuede Yu et al. (2022) Research progress of magnetic field regulated mechanical property of solid metal materials. *Metals*, 12, 1988. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12111988>

NARROW GAP WELDING OF TITANIUM ALLOY PT3V WITH A CONTROL MAGNETIC FIELD

S.V. Akhonin, V.Yu. Bilous, R.V. Selin, I.K. Petrichenko, L.M. Radchenko, S.B. Rukhansky

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

E-mail: belousvy@gmail.com

Tungsten inert gas (TIG) welding of titanium alloys in a narrow gap is a cost-effective and efficient method for joining thick titanium alloy structures. The technology of narrow-gap welding of titanium alloys with a magnetically-controlled arc enables a wide range of welding parameter adjustments. This study considers the application of narrow-gap welding with a tungsten electrode and a control magnetic field for producing joints of titanium alloy PT3V plates with thicknesses of 45 mm and 64 mm. The strength of the welded joints of PT3V titanium alloy produced by narrow-gap welding with a control magnetic field reaches 636 MPa, which is 85 % of the base metal strength, and it is comparable to the properties of welded joints made using the conventional gas tungsten arc welding technology. Application of the obtained results allowed welding joints of titanium alloys with variable thicknesses ranging from 45 to 65 mm while maintaining the same number of passes. 18 Ref., 3 Tabl., 9 Fig.

Keywords: narrow-gap welding, titanium, titanium alloy, TIG welding, tungsten electrode, control magnetic field, heat input, structure, microstructure, mechanical properties, metallography

Отримано 25.02.2025

Отримано у переглянутому вигляді 04.04.2025

Прийнято 16.07.2025

Visit us at Schweissen & Schneiden 2025 and stop by the Paton Welding Institute in Hall 1, Booth 1A12 to learn about the future of welding and cutting. Our experts will be on hand to answer your questions, demonstrate the new MIAB welding system, and help you discover how WELDING can transform your workflow. Visit us and receive a free copy of "The Paton Welding Journal" 08_2025 and a 25% discount on a subscription to the journal in 2026.

