

АРГОНОДУГОВЕ ЗВАРЮВАННЯ ВИСОКОМІЦНОГО ЕКОНОМНОЛЕГОВАНОГО ПСЕВДО- β -ТИТАНОВОГО СПЛАВУ Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe

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

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

Конструкційні економнолеговані титанові сплави розробляють з метою зниження собівартості готових виробів. Оцінювалась можливість застосування аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом (АДЗ) для економнолегованого псевдо- β -титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe. Оцінювався вплив різних видів аргонодугового зварювання на формування зварних швів та механічні властивості з'єднань сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe. Досліджувався вплив АДЗ наскрізним проплавленням, АДЗ по слою флюсу, АДЗ з подачею присадного нелегovanого титанового зварювального дроту ВТ1-00св. Встановлено, що структура металу шва і ЗТВ з'єднань економнолегovanого титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe, виконаного АДЗ, складається в основному з β -фази, з виділеннями метастабільної α -фази. Зниження погонної енергії АДЗ для сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe позитивно впливає на міцність з'єднань. Так, серед зварних з'єднань, виконаних без зміни хімічного складу металу шва, з'єднання, виконані зварюванням по флюсу, мають найбільшу міцність 972 МПа та найбільшу ударну в'язкість на рівні 5,7 Дж/см². Бібліогр. 15, табл. 3, рис. 3.

Ключові слова: титан, титанові сплави, аргонодугове зварювання, погонна енергія, флюс, дріт, механічні властивості

Аргонодугове зварювання вольфрамовим електродом (АДЗ) набуло найбільш широке застосування для зварювання титанових сплавів завдяки тому, що цей спосіб зварювання є найбільш дешевим і універсальним [1, 2]. Він дозволяє виконувати з'єднання в різних просторових положеннях, в умовах обмеженого простору і не вимагає складного переналадження обладнання при зміні товщини зварюваного виробу і типу з'єднання. Зварювання може виконуватися як з застосуванням присадного металу, так і без нього. В якості присадного металу застосовують зварювальні дроти або прутки з титанових сплавів [3]. Існує ряд різновидів цього способу – зварювання наскрізним проплавленням, зварювання по шару флюсу, які розширюють його технологічні можливості [4]. Для того, щоб здешевити процес виробництва та знизити собівартість виробів з титанових сплавів, набула поширення концепція «економно легування» титанових сплавів. Вона заснована на виборі таких легуючих елементів для сплавів, які мали б відносно невелику вартість. Найпоширеніший легуючий елемент для таких сплавів є залізо [5, 6]. Також залізо завдяки стабілізуючій дії на β -фазу застосовується для легування кількох дешевих сплавів на основі β -фази [7–9]. Зварювання таких сплавів на основі β -фази є малодослідженим процесом. Велика кількість заліза може викликати значне погіршення властивостей зварних з'єднань за рахунок утворення крихких фаз [10]. Існуючі флюси при зварюванні економнолегovanого сплаву можуть мати для металу швів

рафінуючий ефект [11], тому можливість застосування флюсів для зварювання цих сплавів треба розглянути окремо. Також в зв'язку з відсутністю зварювальних дротів з економнолегovanого титанових сплавів доцільно розглянути вплив на властивості з'єднань такого сплаву малолегovanого титанового дроту [12, 13].

Метою роботи було дослідити вплив режимів аргонодугового зварювання на формування зварних швів та механічні властивості отриманих з'єднань економнолегovanого псевдо- β -титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe.

В якості присадного металу використовували нелегovanий титановий зварювальний дріт ВТ1-00св діаметром 2 мм. Це дозволяє в невеликих межах змінювати ступінь легування металу шва. Визначали відносну кількість присадного металу в металі шва за допомогою визначення площини проплавлення металу з'єднання на поперечних шліфах зварних швів.

Зварювалися зразки титанового псевдо- β -сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe розмірами 200×100×6 мм. Зварювання проводилося з однієї сторони. Режими одностороннього аргонодугового зварювання вольфрамовим електродом наскрізним проплавленням економнолегovanого титанового псевдо- β -сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe наведено в табл. 1.

Режими зварювання обиралися за умови забезпечення повного провару з'єднань сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe товщиною 6 мм. Аргонодугове зварювання вольфрамовим електродом можливо виконувати в широких діапазонах значень швидко-

Таблиця 1. Режими одностороннього АДЗ наскрізним проплавленням економнолегованого титанового псевдо- β -сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe

Номер режиму	Струм зварювання $I_{зв}$, А	Напруга на дузі U_d , В	Швидкість зварювання $v_{зв}$, м/год	Швидкість подачі дроту $v_{прис.др}$, м/г	Довжина дуги предустановлена L_d , мм	Температура попереднього підігріву $T_{підгр}$, °С
1	330	12	10	–	2	–
2	350	12	10	30	2	–
3	350	12	10	60	2	–
4	310	12	10	–	2	400
5 (по флюсу)	240	12	16	–	2	–

стей зварювання та зварювального струму. Найбільш вживаним діапазоном швидкостей зварювання автоматичного АДЗ титанових сплавів є діапазон 10...20 м/год. Повний провар зразків товщиною 6 мм відбувається при АДЗ без присадки наскрізним проплавленням при струмі зварювання 330А та швидкості зварювання 10 м/год. Додавання присадного дроту призводить до збільшення струму зварювання. Зварювання з попереднім підігрівом дозволяє дещо знизити струм зварювання до 310А. АДЗ по флюсу за рахунок стискання аргонної дуги дозволяє суттєво знизити зварювальний струм до 240 А, збільшити швидкість зварювання та забезпечити повний провар металу сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe товщиною 6 мм. Таким чином, АДЗ по флюсу доз-

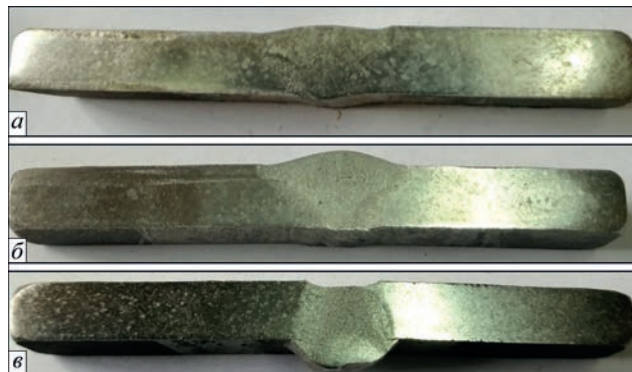


Рис. 1. Поперечний макрошліф з'єднання економнолегованого титанового псевдо- β -сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe, виконаного АДЗ: а – наскрізним проплавленням без застосування присадного дроту; б – з додаванням присадного металу в шов в кількості 10 %; в – виконаного АДЗ по слою флюсу без застосування присадного дроту

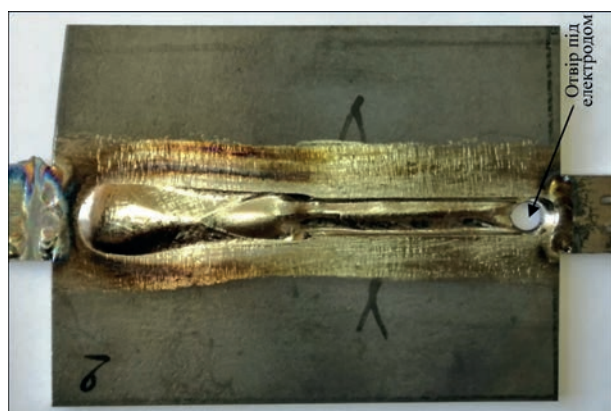


Рис. 2. Приклад зварного з'єднання економнолегованого титанового псевдо- β -сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe, яке виконано АДЗ наскрізним проплавленням, без присадного дроту, режим № 1

воляє виконувати зварювання титанового псевдо- β сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe на режимах з мінімальною погонною енергією та поперечною площею металу шва та ЗТВ (табл. 2).

Поперечні макрошліфи виконаних зварних швів наведено на рис. 1. Приклад зварного з'єднання вольфрамовим електродом наскрізним проплавленням (рис. 2) підтверджує формування наскрізного отвору під вольфрамовим електродом при зварюванні наскрізним проплавленням. При вимиканні зварного струму під вольфрамовим електродом утворюється отвір, якщо не використовувати режим заварки кратеру.

Розрахунок кількості присадного металу в металі зварного шва виконували за результатами досліджень отриманих поперечних макрошліфів. Встановлено, що при швидкості подачі присадного дроту VT1-00св діаметром 2 мм, що дорівнює 60 м/год, і швидкості зварювання 8 м/год кількість присадного металу VT1-00 в металі зварного шва становить 21...25 %. Відповідно при швидкості подачі присадного дроту 30 м/год кількість присадного металу VT1-00 в металі зварного шва становить 10...13 %.

Основний метал зварного з'єднання економнолегованого титанового псевдо- β -сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe складається з рекристалізованих зерен (рис. 3, а), рівноосних полідрічних β -зерен як в приповерхневих шарах, так і в глибині металу. Розмір β -зерен становить 200...600 мкм. В середині β -зерен знаходяться дисперсні частинки, α -фази. Дисперсні частинки різної форми і розмірів виділяються в мікроструктурі основного металу як поверхневих ділянок, так і віддалених від поверхні. Розміри виділень варіюють в широких межах (від менше 1 мкм до 15 мкм) і нерівномірно розподіляються в тілі зерен.

На рис. 3, б-е представлено мікроструктуру металу швів. Шви мають дендритну структуру (режими № 1 та № 2, див. табл. 1). Частки іншої фази, що виділилися, більш дрібні, ніж в основному металі, їх розміри становлять від менше 1 до 3...4 мкм (рис. 3, б, в). В шві зварного з'єднання, виконаного АДЗ з подачею присадного дроту зі швидкістю 60 м/год, що забезпечує 21..25 %, на відміну від вище розглянутих, внаслідок значної зміни хімічного складу металу шва та розбавлення металу шва, змінилася і його мікроструктура. В металі шва цього з'єднання нестабільність β -твердого розчину

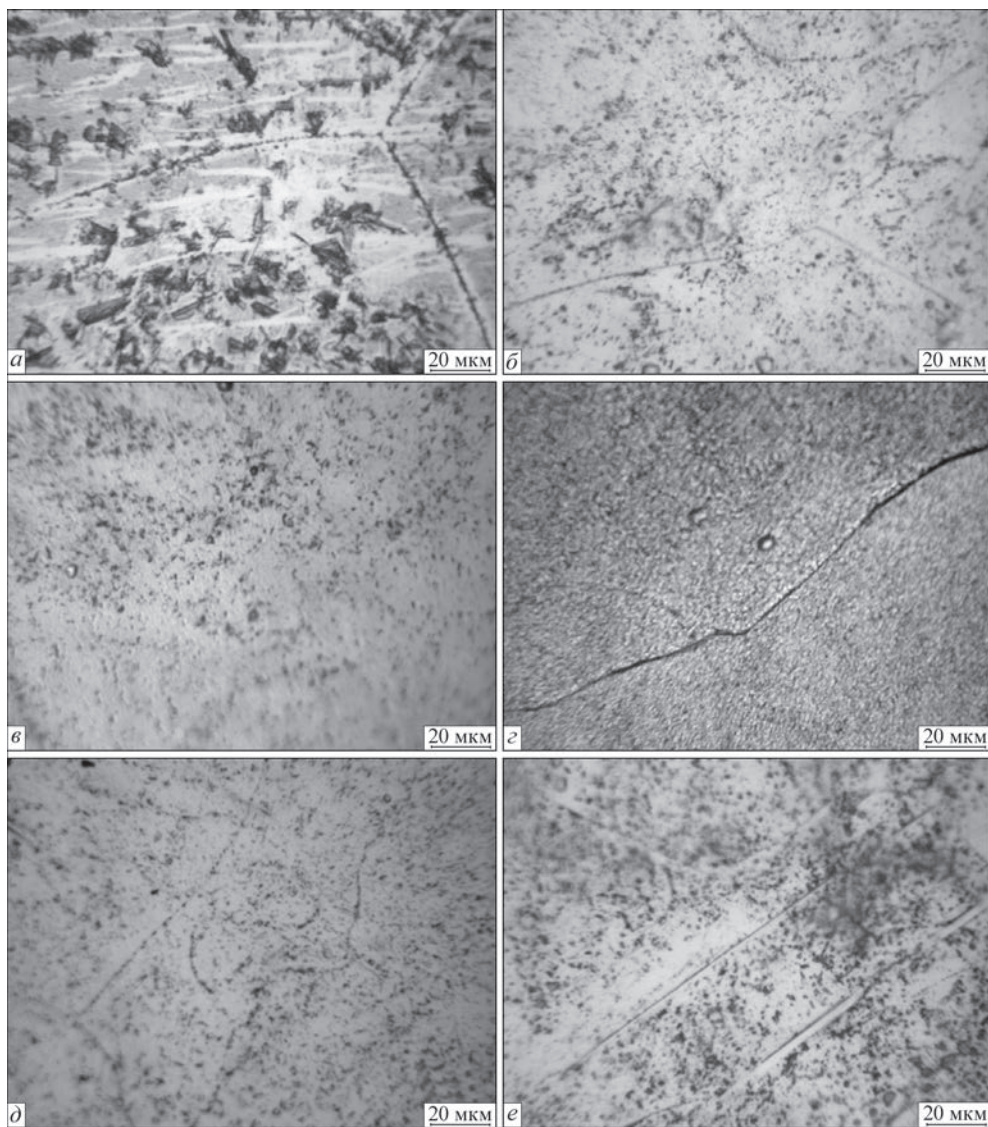


Рис. 3. Мікроструктура основного металу та металу шва з'єднань економічнолегованого титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe, виконаних АДЗ в стані після зварювання: а – основний метал; б – наскрізним проплавленням без присадного дроту, режим № 1; в – наскрізним проплавленням з присадним дротом, режим № 2; г – наскрізним проплавленням з присадним дротом, режим № 3; наскрізним проплавленням без присадного дроту з попереднім підігрівом, режим № 4; е – по шару флюсу без присадного дроту, режим № 5

Таблиця 2. Параметри зварних швів з'єднань економічнолегованого титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe, виконаних АДЗ*

Номер режиму	Тип зразка, $I_{зв}$, $v_{зв}$, $v_{пр}$	Ширина шва, мм	Ширина ЗТВ, мм	Площа шва, мм ²	Погонна енергія, Дж/см	Кількість β-фази, %
ОМ	Основний метал	–	–	–	–	76
1	Зварне з'єднання без присадки, $I_{зв} = 330$ А, $v_{зв} = 10$ м/г	13	21	53	14256	77
2	Зварне з'єднання з присадкою, $I_{зв} = 350$ А, $v_{зв} = 10$ м/г, $v_{пр} = 30$ м/г	15,1	24,1	59,8	15120	75
3	Зварне з'єднання з присадкою, $I_{зв} = 350$ А, $v_{зв} = 10$ м/г, $v_{пр} = 60$ м/г	16,5	25,5	73,1	1511,9	56
4	Зварне з'єднання з попереднім підігрівом 400 °С, $I_{зв} = 310$ А, $v_{зв} = 10$ м/г	17	25	65,0	13392	75
5	Зварне з'єднання по флюсу, $I_{зв} = 240$ А, $v_{зв} = 16$ м/г	7,2 мм	17,2	33,9	6480	63

Примітка. *Товщина з'єднань 6 мм.

призводить до значного розпаду при охолодженні металу шва після зварювання з виділенням значної кількості α -фази (рис. 3, з). Шви з'єднань, виконаних методом АДЗ наскрізним проплавленням без подачі присадного дроту (режим № 4, див. табл. 1) з попереднім підігрівом з'єднання до температури 400 °С та по флюсу (режим № 5, див. табл. 1) ґрунтується на основі β -фази, як і при зварюванні на режимах № 1 та № 2 (рис. 3, д, е).

Таким чином, в структурі металу швів найбільш дрібнодисперсні виділення метастабільної α -фази розміром до 1...2 мкм мають з'єднання, виконані зварюванням по флюсу. З'єднання, виконані АДЗ з попереднім підігрівом, крім великих розмірів шва і ЗТВ мають в стані після зварювання нерівномірне виділення дрібнодисперсних частинок метастабільної α -фази – у верхній частині шва більш дрібнодисперсні, ніж у нижній. Це може свідчити про занадто високу температуру застосованого попереднього підігріву, що складав в даному випадку 400 °С [14]. В цілому застосування попереднього підігріву для АДЗ з'єднань економнолегованого титанового сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe небажано.

Найменша кількість β -фази зафіксована в швах, виконаних АДЗ з подачею присадного дроту VT1-00 зі швидкістю 60 м/год, що забезпечує 21..25 % вмісту присадного дроту в шві і становить 56 % (табл. 2), що пояснюється зниженням ступеня легування металу шва. В швах, виконаних АДЗ по шару флюсу, кількість β -фази також знизилася до 63 %. Слід відзначити, що при АДЗ по шару флюсу з'єднання, виконані з найнижчими значеннями погонної енергії (див. табл. 2), мають найменші ширину шва, ширину ЗТВ, та площу шва. В інших швах, виконаних без зміни легування шва, кількість β -фази в стані після зварювання становить 75...77 %.

Встановлення механічних властивостей зварних з'єднань економнолегованого титанового сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe, виконаних АДЗ, дозволило зробити висновок, що найнижчі значення міцності в стані після зварювання мають з'єднання, виконані з попереднім підігрівом до 400 °С та складають 799 МПа, що становить 75 % від міцності основного металу (табл. 3). Найбіль-

шу міцність мають з'єднання, виконані із застосуванням присадного дроту VT1-00св на режимах, що забезпечують вміст металу VT1-00 в шві на рівні 10...13 %. В цьому разі значення міцності досягають 1002 МПа або 93 % від міцності основного металу. Ударна в'язкість зразків з гострим надрізом металу шва (*KCV*), виконаного з застосуванням присадного дроту VT1-00св зі швидкістю подачі 30 м/г при вмісті металу VT1-00 в шві на рівні 10...13 % досягає максимальних значень (5,5 Дж/см²). Значення ударної в'язкості зразків з гострим надрізом з'єднань, виконаних АДЗ, знаходяться майже на одному рівні 4,9...5,7 Дж/см², причому найбільші значення мають зразки, виконані з застосуванням флюсу.

Оскільки міцність матеріалу присадного дроту VT1-00св (295...470 МПа) набагато менше міцності основного металу титанового сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe (1071 МПа) і не може служити легуючим матеріалом, який зміцнює, тому причиною підвищеної міцності з'єднань є зміна структури та фазового складу при зварюванні з додаванням присадного дроту VT1-00св та розлегування металу шва. Кількість β -фази зменшується, тому зварні з'єднання з розлегуванням будуть мати підвищені показники міцності порівняно зі з'єднаннями без зміни легування шва.

Якщо розглядати окремо властивості зварних з'єднань сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe, виконаних без зміни хімічного складу металу шва, то найбільші міцність з'єднань на рівні 972 МПа і найбільшу ударну в'язкість металу шва на рівні 5,7 Дж/см² швів мають з'єднання, виконані на режимах зі зниженою погонною енергією. Так, зварювання по флюсу має мінімальну погонну енергію процесу на рівні 6480 Дж/см. Що майже вдвічі більше погонної енергії АДЗ наскрізним проплавленням (14256 Дж/см) та АДЗ з попереднім підігрівом (13392 Дж/см). Слід зауважити, що поперечна площа металу шва найбільша при АДЗ з попереднім підігрівом (см. табл. 2). Збільшення міцності з'єднань, виконаних на режимах зі зниженою погонною енергією можна пояснити меншою кількістю β -фази в металі шва. Зменшення кількості β -фази в металі шва відбувається

Таблиця 3. Механічні властивості основного металу та з'єднань економнолегованого титанового сплаву Ti–2,8Al–5,1Mo–4,9Fe, виконаних АДЗ в стані після зварювання

Номер режиму	Тип зразка	Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	Межа плинності σ_p , МПа	Відносне подовження δ , %	Відносне звування Ψ , %	Ударна в'язкість, <i>KCV</i> , Дж/см ²
ОМ	Основний метал	1071	971	2,0	-	5,3
1	З'єднання	921	-	-	-	4,9
2	«-»	1002	936	10	27	5,5
3	«-»	960	-	-	-	3,5
4	«-»	799	-	-	-	4,3
5	«-»	972	925	8,0	23	5,7

в умовах зменшення швидкостей охолодження в інтервалі температур поліморфного перетворення $\beta \rightarrow \alpha + \beta$ при охолодженні з'єднань.

Отримані дані дозволяють зробити висновок, що найбільшу міцність мають з'єднання, в яких метал шва має інший склад, ніж основний метал. Якщо порівнювати з'єднання, в яких хімічний склад металу не змінився, то найбільшу міцність (972 МПа або 90 % від міцності основного металу) мають з'єднання, виконані із застосуванням флюсу. Це дозволяє зробити висновок про доцільність застосування АДЗ вольфрамовим електродом по флюсу для виконання з'єднань економнолегованого титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe. АДЗ по шару флюсу забезпечує найнижчі значення погонної енергії та мінімальні розміри шва та ЗТВ.

Напроти, найнижчі значення міцності мають з'єднання, виконані з попереднім підігрівом до 400 °С, що свідчить про недоцільність цього способу зварювання для виконання з'єднань економнолегованого титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe.

Слід зазначити, що внаслідок впливу АДЗ на з'єднання псевдо- β -сплаву VT19 в швах також фіксується переважно β -фаза [15]. При цьому рівень міцності з'єднань при АДЗ із застосуванням присадного дроту VT1-00св в кількості 22 % знаходиться на рівні $\sigma_b = 965$ МПа. З'єднання сплаву VT19, виконані TIG-зварюванням без застосування присадного матеріалу, мають показники тимчасового опору розриву на рівні $\sigma_b = 860$ МПа, що значно нижче міцності сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe.

Таким чином, досліджено властивості зварних з'єднань економнолегованого титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe, виконаних АДЗ вольфрамовим електродом, і встановлено, що з'єднання, виконані із застосуванням присадного дроту VT1-00св в кількості 10..13 %, мають найбільшу міцність на рівні 1002 МПа або 93 % від міцності основного металу. При цьому кількість β -фази в металі шва складає 75 %. Для забезпечення рівномірної структури, розпаду метастабільних фаз і отримання рівномірності з'єднань їх необхідно піддавати подальшій термічній обробці.

Висновки

1. Режимы аргонодугового зварювання зі зниженою погонною енергією для економнолегованого псевдо- β сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe позитивно впливають на міцність з'єднань. Так, серед зварних з'єднань, виконаних без зміни хімічного складу металу шва, з'єднання, виконані зварюванням по флюсу з мінімальною погонною енергією та поперечною площею метал шва, мають най-

більшу міцність 972 МПа і найбільшу ударну в'язкість на рівні 5,7 Дж/см².

2. Структура металу шва і ЗТВ з'єднань економнолегованого титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe, виконаного АДЗ, складається в основному з β -фази, з виділеннями метастабільної α -фази, розмір виділень частинок α -фази в шві дрібніший, ніж в основному металі та становить від менше 1 мкм до 3...4 мкм, найбільш дрібнодисперсні виділення метастабільної α -фази мають з'єднання, виконані АДЗ по флюсу, розмір виділень до 1...2 мкм.

3. З'єднання титанового сплаву Ti-2,8Al-5,1Mo-4,9Fe, виконані АДЗ з застосуванням присадного дроту VT1-00св в кількості 10...13 % в стані після зварювання, мають міцність на рівні 1002 МПа або 93 % від міцності основного металу. При цьому кількість β -фази в металі шва складає 75 %. Для забезпечення рівномірної структури шва ЗТВ та ОМ, розпаду метастабільних фаз і отримання рівномірності з'єднань, усі з'єднання необхідно піддавати подальшій термічній обробці.

Список літератури/References

- Dhinakaran, V., Shriragav, S.V., Fahmidha, A.F.Y., Ravichandran, M. (2020). A review on the categorization of the welding process of pure titanium and its characterization. *Materials Today, Proceedings*, 27, 742–747.
- Pasang, T., Tao, Y., Azizi, M. et al. (2017). Welding of titanium alloys. *MATEC Web of Conferences*, 123, p. 00001. EDP Sciences.
- Ströber, K., Abele, C. (2018). Titanium Welding Technology for Series Production. *Lightweight Design worldwide*, 11(4), 12–15.
- Reddy, M.K.P., Naik, R.P., Samatham, M., Kumar, C.H. (2020). Review on different welding techniques of Titanium and its alloys. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology* (www.ijrsrset.com)© 2020IJSRSET | Volume 7| Issue 1| Print ISSN: 2395-1990 | Online ISSN: 2394-4099.
- Ночовная Н.А., Анташев В.Г. (2007) Титановые сплавы серии «LOW-COST» и возможности их применения. *Международная конференция Ti-2007 в СНГ*. Киев, РИО ИМФ им. Г.В. Курдюмова НАН Украины, сс. 191–192.
- Nochovnaya, N.A., Antashev, V.G. (2007) Titanium alloys of «LOW-COST» series and possibilities of their application. *In: Proc. of Int. Conf. on Ti-2007 in CIS* (Kiev, IMF), 191-192.
- Dobrescu, M., Dimitriu, S., Vasilescu, M. (2011) Studies on Ti-Al-Fe low-cost titanium alloys manufacturing, processing and applications. *Metalurgia International*, 16(4), 73.
- Lin D.J., Ju C.P., Lin J.H.C. (1999) Structure and Properties of Cast Ti-Fe Alloys. *Transactions of the American Foundrymen's Society*, 107, 859–864.
- Holden, F.C., Ogden, H.R., Jaffee, R.I. (1956) Heat Treatment and Mechanical Properties of Ti-Fe Alloys. *Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, 206(5), 521–528.
- Lee, D.B., Park, K.B., Jeong, H.W., Kim, S.E. (2002) Mechanical and Oxidation Properties of Ti-x Fe-y Si Alloys. *Materials Science and Engineering A*, 328(1-2), 161–168.
- tjering, G.Lu, Williams, J.C. (2003) *Titanium (engineering materials and processes)*. Berlin, Springer-Verlag, 3.
- Гуревич С.М., Блашук В.Е. (1968) Сварка титана плавящимся электродом в инертных газах. *Автоматическая сварка*, 11, 87–89.

- Gurevich, S.M., Blashchuk, V.E. (1968) Consumable electrode shielded-gas welding. *Avtomatich. Svarka*, **11**, 87–89 [in Russian].
12. Hong, S.H., Hwang, Y.J., Park, S.W. et al. (2019). Low-cost beta titanium cast alloys with good tensile properties developed with addition of commercial material. *J. of Alloys and Compounds*, **793**, 271–276.
13. Zheng, B., Dong, F., Zhang, Y. et al. (2018). Microstructure, mechanical properties and deformation behavior of new V-free low-cost Ti–6Al–xFe–yCr alloys. *Materials Research Express*, **6**(2), 026551.
14. Akhonin, S.V., Belous, V.Y., Selin, R.V., Kostin, V.A. (2021). Influence of TIG Welding Thermal Cycle on Temperature Distribution and Phase Transformation in Low-cost Titanium Alloy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **688**, № 1, p. 012012. IOP Publishing
15. Akhonin, S.V., Bilous, V.Yu., Selin, R.V., Petrychenko I.K. (2020) Impact of TIG welding on the structure and mechanical properties of joints of pseudo- β -titanium alloy. *TPWJ*, **2**, 9–15. <https://doi.org/10.37434/tpwj2020.02.02>

ARGON-ARC WELDING OF HIGH-STRENGTH SPARSELY-DOPED PSEUDO- β -TITANIUM ALLOY Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe

S.V. Akhonin, V.Yu. Bilous, R.V. Selin, I.K. Petrichenko, 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

Structural sparsely-doped titanium alloys are developed with the purpose of lowering the finished product cost. Possibility of application of tungsten electrode argon-arc welding (AAW) for sparsely-doped pseudo- β -titanium alloy Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe was evaluated. Influence of different kinds of argon-arc welding on weld formation and mechanical properties of Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe alloy joints were assessed. The effect of complete penetration AAW, semi-submerged AAW AAW with feeding unalloyed titanium welding filler wire VT1-00sv was studied. It was found that the structure of metal of the weld and HAZ in welded joints of sparsely-doped titanium alloy Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe made by AAW consists mainly of β -phase with precipitates of metastable α -phase. Lowering of AAW heat input for Ti–2.8Al–5.1Mo–4.9Fe alloy has a positive impact on the joint strength. So, among the welded joints made without changing the weld metal composition, the joints made by semi-submerged arc welding have the highest strength of 972 MPa and the highest impact toughness on the level of 5.7 J/cm². 15 Ref., 3 Tabl., 3 Fig.

Keywords: titanium, titanium alloys, argon-arc welding, heat input, flux, wire, mechanical properties

Надійшла до редакції 16.04.2021

ЕЛЕКТРОННІ ВИДАННЯ

(електронні аналоги друкованих видань)

Патон Є.О. Фотоальбом. – Київ: «Горобець», 2020 – 116 с.

Paton E.O. Photo Album. – Kyiv: «Gorobets», 2020 – 116 p.

Рябцев І.А., Демченко Ю.В., Панфілов А.І. Износостойкий и коррозионностойкий биметалл. Киев: Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины, 2020. – 224 с.

Лащенко Г.І., Никитюк Ю.А. Расширение технологических возможностей сварочного производства. – Киев: «ДИА», 2019. – 360 с.

Патон Б.Є. Фотоальбом. – Київ: «ДІА», 2018. – 196 с.

Paton B.E. Photo Album. – Kyiv: «DIA», 2018. – 196 p.

Физические процессы при сварке и обработке материалов. Теоретическое исследование, математическое моделирование, вычислительный эксперимент: Сб. статей и докладов под ред. акад. НАН Украины И.В. Кривцуна. – Киев: «ДИА», 2018. – 642 с.

Петров С.В., Катырджыоглу Т.Я. Технологические аспекты пароводяной плазмы. – Киев–Анкара: «ДИА», 2018. – 528 с.

Титан 2018. Производство и применение в Украине: Сб. докладов межд. конф. под ред. С.В. Ахонина. – Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2018. – 168 с.

Замовлення на електронні видання надсилають до редакції журналу «Автоматичне зварювання».

Видання висилаються Замовнику електронною поштою у форматі .pdf.

Титан. Технологии. Производство. (Тематический сборник статей, опубликованных в журналах «Современная электрометаллургия» и «Автоматическая сварка» в 2014–2016 гг.). Выпуск четвертый. – Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2017. – 254 с.

Наплавка. Технологии. Материалы. Оборудование. Сб. статей и докладов под ред. И.А. Рябцева, И.А. Кондратьева, Е.Ф. Переплетчикова, Ю.М. Кускова. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАНУ, 2015. – 402 с.

Сидорец В.Н., Пентегов И.В. Детерминированный хаос в нелинейных цепях с электрической дугой. Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2013. – 272 с.

Сварка и наплавка меди и сплавов на ее основе. Составители: В.М. Илюшенко, Е.П. Лукьянченко. – Киев: Международная Ассоциация «Сварка», 2013. – 396 с.

Назаренко О.К., Нестеренков В.М., Бондарев А.А., Кравчук Л.А., Архангельский Ю.А. Электроннолучевая сварка буровых долот. Киев: ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, 2012. – 116 с.

Металлургия дуговой сварки и сварочные материалы. Сб. статей и докладов под ред. акад. НАН Украины И.К. Походни. Киев: «Академперіодика», 2012. – 526 с.