

КОРОЗИЙНО-МЕХАНІЧНА ТРИВКІСТЬ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ В1341, ОТРИМАНИХ АРГОНОДУГОВИМ ЗВАРЮВАННЯМ ВІЛЬНОЮ ТА СТИСНУТОЮ ДУГОЮ

Л.І. Ниркова, Т.М. Лабур, С.О. Осадчук, М.Р. Яворська

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

В роботі наведено результати досліджень корозійно-механічної тривкості зварних з'єднань сплаву В1341 товщиною 1,2 мм в залежності від технології виконання ручного зварювання вільною та стиснутою дугою. Коефіцієнт міцності зварних з'єднань становить 0,79 та 0,8. Потенціометричними дослідженнями встановлена електрохімічна гетерогенність між основним металом та зварним швом у з'єднаннях, отриманих вільною та стиснутою дугою, яка дорівнює, відповідно 100 та 86 мВ. Більш позитивний потенціал при цьому властивий для зони з меншою площиною – зварного шва, що є безпечно для експлуатації. Прискореними корозійними випробуваннями визначено, що форма стовпа дуги при ручному зварюванні не впливає на стійкість зварних з'єднань проти розшаровуючої корозії та корозійно-механічну тривкість в умовах сталої деформації. Рівень стійкості металу проти розшаровуючої корозії з'єднань, отриманих за обох видів технології, оцінили балом 2-3. У зразках з'єднань після зварювання вільною дугою час руйнування зменшився у середньому до 20 діб порівняно з основним металом (73 доби). Аналогічні результати також одержані для з'єднань, зварених стиснутою дугою. Водночас встановлено, що застосування для зварювання стиснутої дуги викликає зниження стійкості з'єднань проти міжкристалітної корозії. Максимальна глибина руйнування границь зерен для з'єднань, отриманих вільною дугою, становить 0,350 та 0,460 мм – стиснутою дугою. Бібліогр. 15, табл. 3, рис. 11.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, зварювання вільною і стиснутою дугою, зварне з'єднання, механічні властивості, структура, міжкристалітна корозія, розшаровуюча корозія, корозія при постійній деформації, потенціометрія, прискорені корозійні випробування.

Алюмінієві сплави системи легування Al–Mg–Si–Cu, які застосовують в авіаційній техніці, характеризуються високою технологічністю у поєднанні з характеристиками міцності, зварюваності та корозійної тривкості [1–8]. До такої групи сплавів відноситься сплав марки В1341, який застосовують для виготовлення конструкцій балонів, бачків, в яких зберігаються рідкі речовини [3]. Саме з цим пов'язана потреба забезпечення у виробі оптимального рівня як механічних, так й корозійних властивостей. В умовах виробництва окремі елементи конструкцій гідроаків після штампування часто з'єднуються ручним аргонодуговим зварюванням неплавким електродом вільною або стиснутою дугою [1, 4, 7]. Вільна дуга характеризується порівняно низькою проплавляючою здатністю. Застосування режимів імпульсно-дугового процесу покращує форму та розміри швів, умови їх кристалізації, а також сприяє зменшенню втрати міцності основного металу при зварюванні. Завдяки циліндричній формі стовпа дуги, який утворюється внаслідок його стискання шаром інертного газу, під час зварювання стиснутою дугою відбувається збільшення концентрації тепла. Крім того, відомо [2–4], що стійкість металу шва, зазвичай, не співпадає зі стійкістю основного металу.

Ниркова Л.І. – <https://orcid.org/0000-0003-3917-9063>, Лабур Т.М. – <https://orcid.org/0000-0002-4064-2644>, Осадчук С.О. – <https://orcid.org/0000-0001-9559-0151>, Яворська М.Р. – <https://orcid.org/0000-0003-2016-6289>
© Л.І. Ниркова, Т.М. Лабур, С.О. Осадчук, М.Р. Яворська, 2020

талу в результаті утворення при зварюванні неоднорідної структури з'єднань. Тому метою даної роботи є дослідження впливу технології ручного зварювання вільною та стиснутою дугою на комплекс корозійних та корозійно-механічних властивостей зварних з'єднань (ЗЗ) сплаву В1341Т для визначення ефективності зазначених технологічних процесів.

Методика експериментів. В роботі застосовано алюмінієвий сплав марки В1341, хімічний склад якого за даними спектрального аналізу, проведеного на спектрометрі ДФС-36, наступний, мас. %: (0,45...0,9) Mg, (0,5...1,2) Si, (0,15...0,35) Mn, (0,1...0,5) Cu, (0,05...0,1) Ca, 0,25 Cr, 0,2 Zn, 0,15 Ti, 0,5 Fe, інші елементи не більше 0,1, Al – основа.

Листові заготовки сплаву В1341 товщиною 1,2 мм перед зварюванням травили в 10 %-му розчині NaOH та освітлювали в 25 %-му розчині HNO₃, ретельно промивали у проточній гарячій та холодній воді, висушували на повітрі. Торці заготовок механічно зачищали шабером на глибину 0,1 мм. Зварювання стикових швів здійснювали вздовж прокату листового напівфабрикату. Заготовки зварювали встик, без підкладки, однопрохідним ручним зварюванням з присадним дротом

марки Св 1217 діаметром 1,2 мм в аргоні (згідно з ГОСТ 10157 [9]). На рис. 1 наведена схема послідовності та режимів виконання зварювання.

Зварювання вільною дугою здійснювали різнополярним струмом синусоїдальної форми хвилі з використанням інвертора MW2000 фірми «Fronius», стиснутою дугою – різнополярним асиметричним струмом з прямокутною формою хвилі та перевантаженням тривалості струму, використовуючи джерело живлення PLASMA POWER SUPPLY, яке розроблено в ІЕЗ ім. Є.О. Патона для ручного та автоматичного зварювання тонколистових (0,3...1,5) мм чорних і кольорових металів на сталому і змінному струмі. Режими зварювання та зварювальні матеріали представлені в табл. 1.

Зовнішній вигляд зварних з'єднань, отриманих при зварюванні вільною та стиснутою дугою, наведено на рис. 2.

Визначення та оцінювання механічних властивостей проводили на плоских зразках з технологічним посиленням на лицевій та зворотній по-

верхніх шва. Випробування здійснювали згідно з [11, 12] на машині MTS 318-25. Навантаження виконували зі швидкістю переміщення траверси 2 мм/хв до руйнування. Під час випробувань безперервно реєстрували показники навантаження та деформації, за результатами яких розраховували значення відповідних показників: межу плинності, тимчасовий опір розриву (межу міцності) та відносне подовження. Рівень деформаційної здатності основного металу та зварних з'єднань встановлювали за показником кута згину (α) за умов триточкового згину з прикладанням навантаження зі сторони кореня шва згідно з ГОСТ 6996 [12].

Мікроструктуру зварних з'єднань вивчали на металографічних шліфах, які вирізали перпендикулярно до осі швів та готували за стандартною методикою. Для виявлення мікроструктури застосовували електролітичне травлення у розчині складу: 930 мл CH_3COOH + 70 мл HClO_4 .

Електрохімічні дослідження проводили методами потенціометрії та поляризаційних кривих за допомогою потенціостату ПИ-50-1.1 та програматору Пр-8. Розподіл потенціалу по поверхні зварного з'єднання досліджували методом вимірювання потенціалу під краплею в розчині 3% NaCl за методикою, розробленою в ІЕЗ ім. Є.О. Патона. Для аналізу поляризаційних кривих використовували притиску електрохімічну комірку. Робочим електродом слугували різні зони зварного з'єднання, електродом порівняння – насичений хлоридсрібний електрод ЭВЛ-1М1, допоміжним – платина. Поляризаційні криві реєстрували в потенціодинамічному режимі зі швидкістю сканування потенціалу 0,5 мВ/с у розчині 3% NaCl. Поверхню зразків перед вимірюваннями зачищали

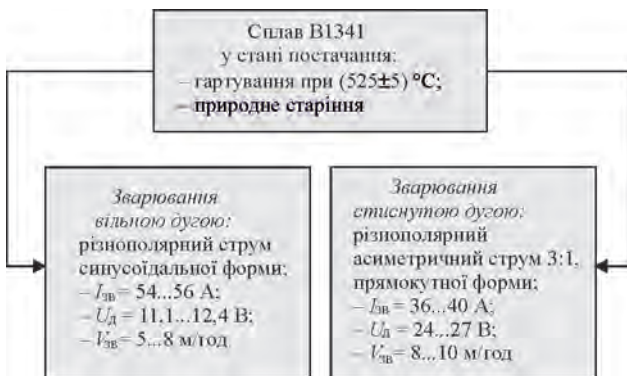


Рис. 1. Схема послідовності виконання операцій отримання зразків для досліджень та їх режими

Таблиця 1. Режими ручного одностороннього аргонодугового зварювання сплаву В1341Т товщиною 1,2 мм неплавким електродом вільною і стиснутою дугою

Спосіб зварювання	Діаметр вольфрамового електроду, мм	Діаметр присадного дроту, мм	Витрати аргону, л/хв	Витрати захисного газу, л/хв.	Витрати плазмутворюючого газу, л/хв.	Співвідношення прямої та зворотної полярності
Вільна дуга [10]	1,6	2,0...2,5	7...8,0	–	–	–
Стиснута дуга	1,6	2,0	4,0...8,0	3,0...6,0	0,8...1,5	3/1

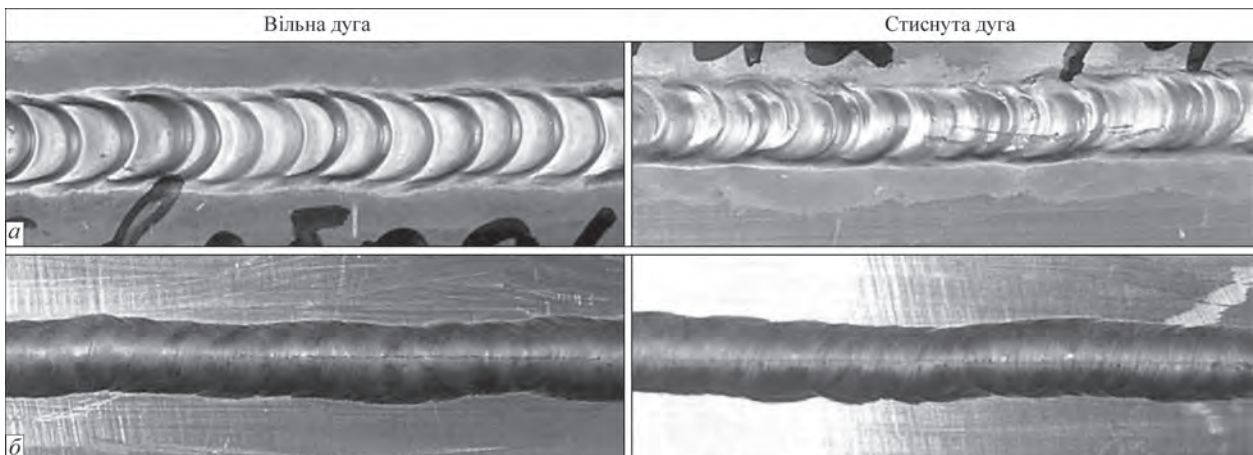


Рис. 2. Зовнішній вигляд зварних з'єднань у стані після зварювання: а – лицьова поверхня шва; б – корінь шва

шліфувальним папером та знежирювали етиловим спиртом.

Тривкість проти міжкристалітної (МКК) та розшаровуючої корозії оцінювали за стандартними методиками відповідно до ГОСТ 9.021 [13] та ГОСТ 9.904 [14].

Стійкість проти корозійного розтріскування досліджували згідно з ГОСТ 9.019 [15]. Випробування проводили за постійного осьового розтягуючого напруження на рівні 160 МПа при повному зануренні зразків зварних з'єднань у розчин 3 % NaCl на установці «Сигнал». Зварний шов розташовували перпендикулярно відносно напрямку дії вектору навантаження. Тривалість випробувань становила не менше 45 діб.

Результати та їх обговорення. *Геометричні параметри швів і коефіцієнт форми.* Після отримання нероз'ємних з'єднань із застосуванням різних технологічних прийомів ручного зварювання вільною та стиснутою дугою визначали геометричні розміри швів. Пояснення стосовно їх визначення наведено на рис. 3, а отримані результати – в табл. 2. Коефіцієнт форми шва розраховували за формулою: $K = l/t$, де $t = h + q$, t – товщина шва; l – ширина шва; q – висота підсилення; h – найбільша глибина розплавленого основного металу.

Аналіз результатів розрахунку показав, що коефіцієнт форми шва зварного з'єднання, отриманого стиснутою дугою, приблизно на 4 % більше порівняно зі зварним з'єднанням, отриманим вільною дугою, тобто мало впливає на площину перетину швів.

Макро- та мікроструктура зварних з'єднань. Нижче представлено результати дослідження макро- та мікроструктури основного металу та

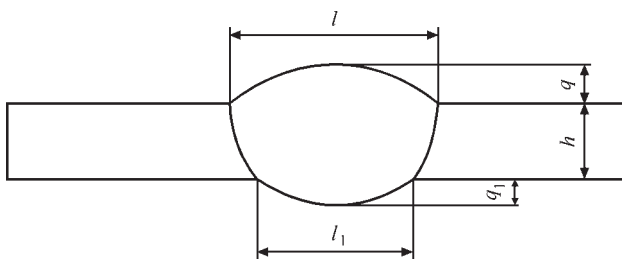


Рис. 3. Схема вимірювання геометричних розмірів швів для обчислення коефіцієнту його форми

Таблиця 2. Геометричні параметри та коефіцієнт форми швів, отримані вільною і стиснутою дугою при ручному зварюванні сплаву В1341 товщиною 1,2 мм

Спосіб зварювання	Позначення параметрів	Геометричні параметри зварних швів, мм				Коефіцієнт форми шва
		Мінімальні	Середні	Максимальні	Середні	
Ручне зварювання вільною дугою	l	3,53...4,86	4,68	4,92...5,60	5,2	2,43
	l_1	3,15...4,15	3,84	4,2...5,1	4,55	
	q	0,23...0,70	0,47	0,8...1,3	0,94	
	q_1	0,17...0,68	0,5	0,85...1,15	0,91	
Ручне зварювання стиснутою дугою	l	3,99...4,80	4,42	4,9...5,5	5,17	2,52
	l_1	3,52...4,50	4,04	4,65...5,35	4,89	
	q	0,15...0,56	0,38	0,6...1,3	0,85	
	q_1	0,35...0,58	0,48	0,75...1,15	0,97	

зварних з'єднань сплаву В1341, отриманих вільною та стиснутою дугою (рис. 4 і 5).

Металографічними дослідженнями встановлено, що мікроструктура основного металу сплаву В1341Т складається з насиченого твердого розчину, виділень фази Mg_2Si та грубих включень нерозчинних інтерметалідів, які потрапляють у метал на металургійному етапі виготовлення напівфабрикатів (рис. 5, а). Під час дугового зварювання сплаву В1341Т в металі відбуваються структурні перетворення, внаслідок яких формуються три структурні зони: шов (рис. 5, а), зона сплавлення та зона термічного впливу (рис. 5, б). Структура швів зразків у стані після зварювання однорідна з характерним розташуванням фаз і складається з дрібних дендритів (рис. 5, а). В об'ємі швів грубих дефектів і несучільностей не спостерігається.

Металографічний аналіз макроструктури з'єднань сплаву В1341Т показав, що його шви характеризуються достатньо високою якістю, оскільки відсутні грубі дефекти. У відміну від основного металу (рис. 5) в зварному з'єднанні спостерігаються три характерні ділянки структури, що відображає ступень впливу на метал термічного циклу зварювання.

Шви мають незалежно від форми дуги литу однорідну дрібнодендритну будову. Розмір дендритів змінюється в межах 0,25...0,38 мкм. Наявність

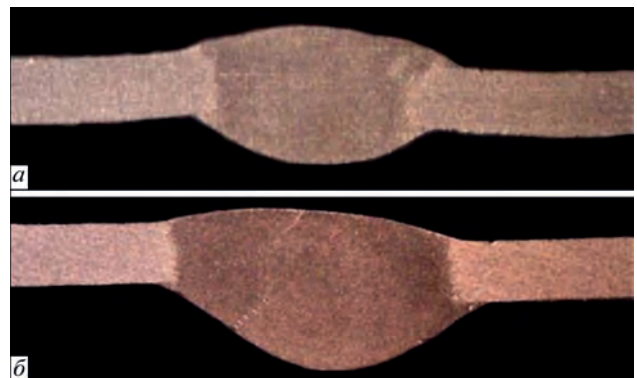


Рис. 4. Макрошліфи зварних з'єднань сплаву В1341, виконаних ручним аргонодуговим зварюванням за різних технологічних прийомів зварювання неплавким електродом: а – вільною дугою; б – стиснутою дугою

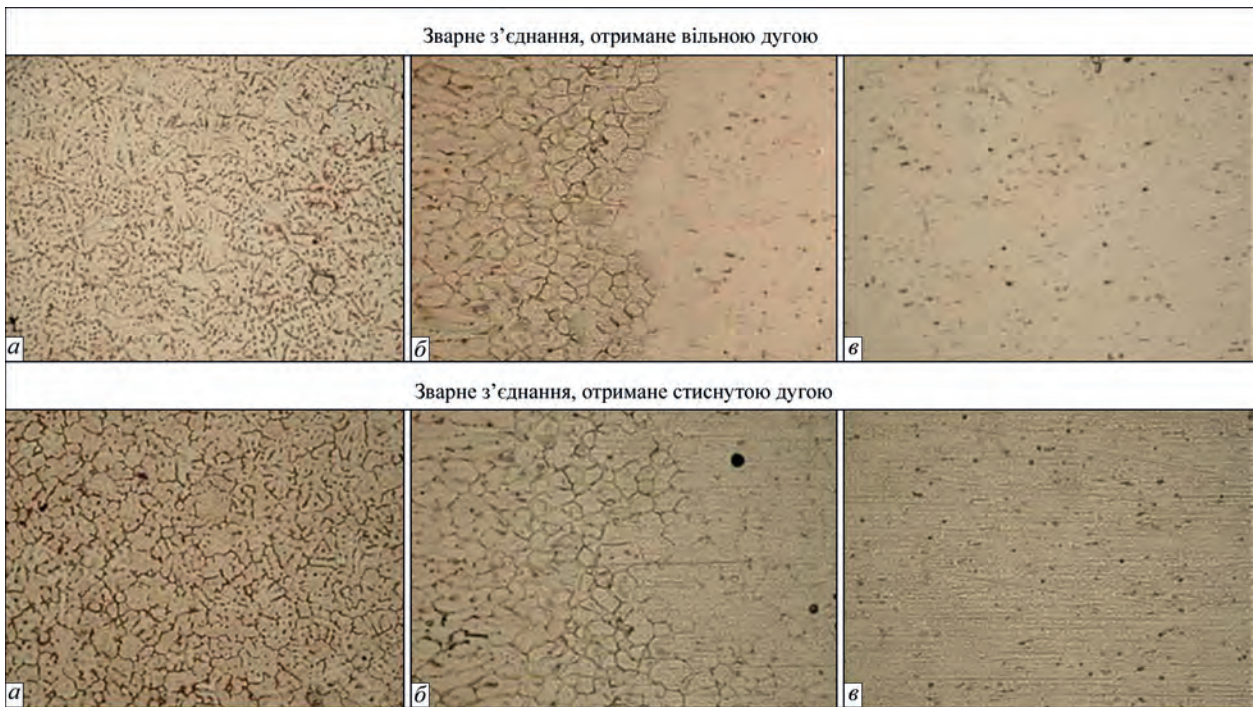


Рис. 5. Мікроструктура ($\times 320$) різних зон зварних з'єднань сплаву В1341Т, отриманих стиснутою та вільною дугою: а – зварний швів; б – зона сплавлення; в – основний метал

значної кількості легуючих елементів і домішок у складі основного матеріалу та присадного дроту викликає в процесі кристалізації утворення значної кількості фаз, які розташовані рівномірно по перетину швів, але відрізняються розміром і формою. Відповідно до діаграми стану системи Al–Mg–Si–CuFe– в рівновазі з твердим розчином (матрицею) можуть знаходитися такі метастабільні фази, як Mg_2Si , $SiCuAl_2$, $FeAl_3$, Mg_5Al_8 , так і: $CuFeAl_5$, $CuMgAl_2$, $FeSiAl_5$, $FeMg_3Si_6$. Міжкристалітні прошарки переважно щільні та мають чіткіші контури.

Мікроструктура зони сплавлення шва з основним металом характеризується наявністю оплавлених границь зерен, що утворилися в умовах зварювального нагрівання. Це супроводжується

потовщенням границь в результаті контактного плавлення зерен між собою та формування в умовах високотемпературного зварювального нагрівання евтектичної фази Mg_2Si , розташованої вздовж границь зерен (рис. 4, 5). Також відмічається розчинення деяких зміцнюючих фаз. В структурі ЗТВ під дією термічного циклу зварювання спостерігаються окремі фрагменти оплавлення границь зерен і часткові виділення вторинних фаз та евтектик. Крім того, має місце укрупнення (коагуляція) включень нерозчинних шкідливих фаз, які знижують міцність металу в ЗТВ.

Слід відмітити, що при зварюванні вільною дугою ширина зони термічного впливу зменшується. Можна припустити, що таке з'єднання матиме

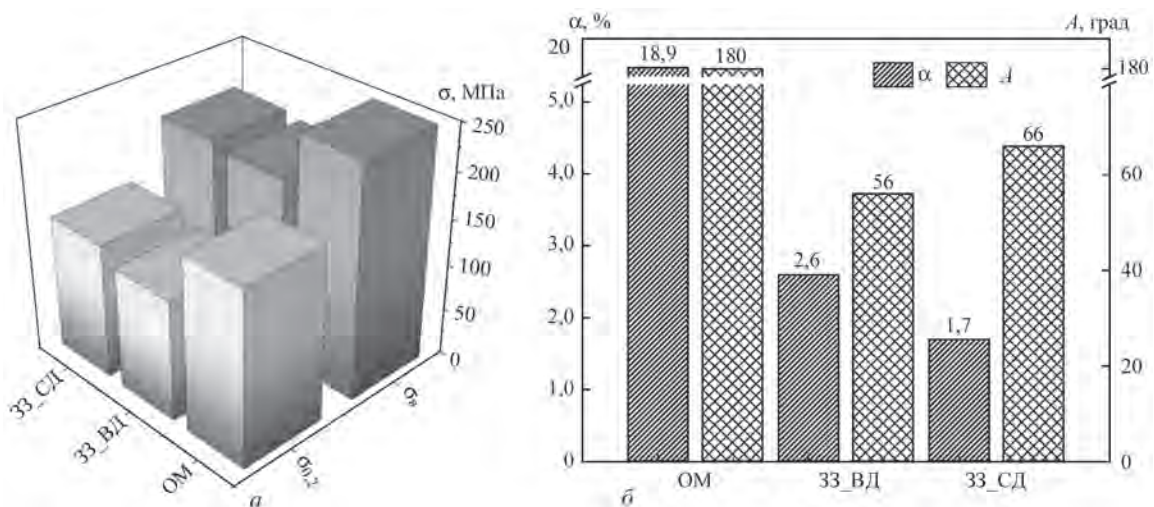


Рис. 6. Механічні властивості зварних з'єднань та основного металу: а – межа міцності та межа плинності; б – відносне подовження та кут загину (ЗЗ_СД – зварне з'єднання, отримане стиснутою дугою; ЗЗ_ВД – зварне з'єднання, отримане вільною дугою; ОМ – основний метал)

вищу корозійну тривкість в умовах експлуатації завдяки меншій гетерогенності виробу.

Механічні дослідження. Механічні властивості зразків, отриманих різними технологічними прийомами, представлено на рис. 6. Аналіз отриманих результатів показує, що зразки основного металу руйнуються у робочій зоні, а руйнування зразків обох видів зварних з'єднань відбувається в зоні термічного впливу на відстані 3...5 мм від границі сплавлення. Порівняно з показниками міцності основного металу рівень цих характеристик для зварних з'єднань менший на 22 та 20 %, межа плинності – на 30 та 23 %. Коефіцієнт міцності зварних з'єднань становить 0,79 та 0,8. Різниця форми дуги сильніше впливає на характеристики пластичності. Так, кут загину знижується на 70 та 63 %, а відносне подовження – на 86 та 91 %. Отже, з'єднання, отримане стиснутою дугою, має вищу межу міцності, пластичності та кут загину порівняно із з'єднанням, виконаним вільною дугою, але при цьому значення показника відносного подовження менше ніж на рис. 6. Імовірно це пов'язано з укрупненням (коагуляцією) включень нерозчинних шкідливих фаз внаслідок дії термічного циклу зварювання стиснутою дугою. Таким чином, зварювання стиснутою дугою сприяє в деякій мірі підвищенню міцності зварних з'єднань, але разом з тим відмічається зниження рівня пластичності.

Електрохімічні дослідження. Потенціал корозії основного металу становить майже $-0,729$ В. Різниця потенціалів між основним металом та зварним швом становить 0,100 В та 0,08 В для з'єднань, отриманих вільною та стиснутою дугою, відповідно (рис. 7). Тобто різниця потенціалів є достатньо високою, але потенціал корозії зварного шва більш позитивний, ніж основного металу. Різниця потенціалів між основним металом та ЗТВ знаходиться в межах допустимих ГОСТ 9.005 значень: 0,100 В для з'єднання, отриманого вільною дугою і 0,086 В – стиснутою (рис. 7, криві 1 та 2).

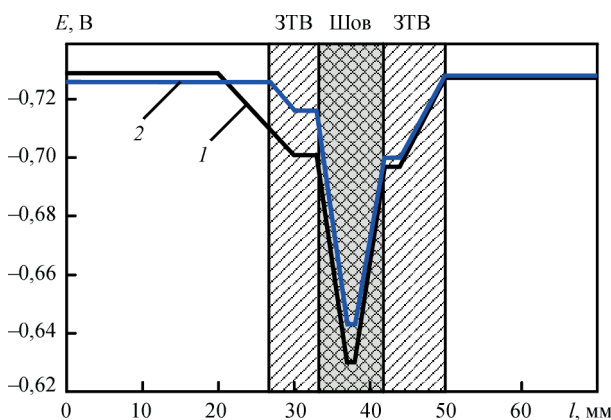


Рис. 7. Характер розподілу потенціалів під краплею на різних зонах зварних з'єднань сплаву В1341Т, отриманих різними технологічними прийомами: 1 – вільна дуга; 2 – стиснута дуга

З аналізу експериментальних результатів витікає, що обидва види зварних з'єднань мають електрохімічну гетерогенність. Однак, більш позитивний потенціал властивий для зони з меншою площею, і не представляє небезпеки при експлуатації. Електрохімічна гетерогенність між основним металом та зоною термічного впливу також має місце в з'єднаннях, отриманих за обох технологій, що необхідно враховувати при експлуатації зварної конструкції.

Поляризаційні криві, виміряні на основному металі та зварному шві, представлені на рис. 8. З рисунку видно, що анодні та катодні криві, отримані на зварних швах обох з'єднань, співпадають, що цілком закономірно. Струм анодного розчинення на зварному шві зразків обох зварних з'єднань (рис. 8, криві 2, 3) значно більше, ніж на основному металі. Катодні криві зварних швів зміщені в область менших струмів порівняно з основним металом. У водних середовищах при вільному доступі кисню корозійний процес відбувається з кисневою деполаризацією (рис. 8, криві 1'–3'). Зниження значень граничного дифузійного струму на швах порівняно з основним металом вказує на локальне гальмування корозійного процесу в цій області зварного з'єднання.

Таким чином виявлено, що вплив застосовуваних технологічних прийомів зварювання практично не впливає на електрохімічні характеристики зварного з'єднання.

Тривкість проти міжкристалітної корозії. Дослідження стійкості проти міжкристалітної корозії (МКК) основного металу показало, що глибина пошкодження границь зерен змінюється від 0,082 до 0,086 мм. Міжкристалітне руйнування зварного з'єднання, отриманого вільною дугою, не спостерігали в області зварного шва та зони сплавлення (рис. 9, б, в), але зафіксовано в ЗТВ.

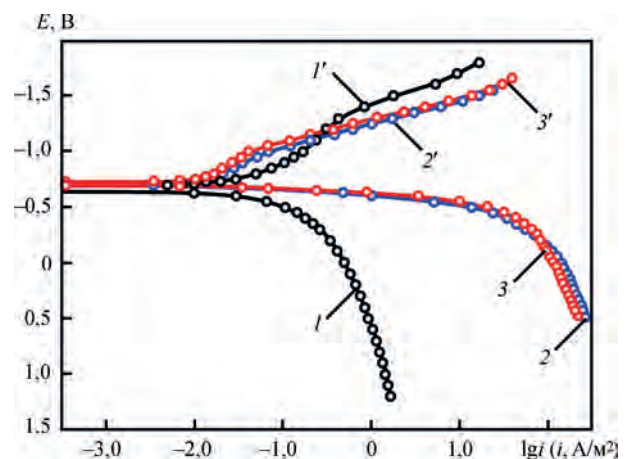


Рис. 8. Анодні (1, 2, 3) та катодні (1', 2', 3') поляризаційні криві основного металу та зварного шва на зварному з'єднанні сплаву В1341Т: 1 – основний метал; 2 – зварний шов з'єднання, отриманого вільною дугою; 3 – зварний шов з'єднання, отриманого стиснутою дугою

Глибина пошкодження границь зерен при цьому коливається від 0,245 до 0,350 мм (табл. 3).

На зварному з'єднанні, отриманому стиснутою дугою, міжкристалітної корозії шва не виявлено (рис. 9, б, в). Ділянки міжзеренного руйнування спостерігаються в зоні сплавлення та розповсюджувались на глибину від 0,222 до 0,506 мм, в ЗТВ – на глибину (0,222...0,416) мм. Тобто структурні перетворення та коагуляція нерозчинних включень шкідливих фаз не тільки викликають зниження міцності металу ЗТВ, але й призводять до зростання локального напруження на границях зерен і, як наслідок, виникнення осередку міжзеренного руйнування. Таким чином, застосування зварювання тонколистового сплаву В1341 стиснутою дугою може знижувати стійкість металу зварних з'єднань проти міжкристалітної корозії.

Стійкість проти розшаровуючої корозії. Результати дослідження стійкості проти розшаровуючої корозії (рис. 10) показали, що на поверхні основного металу виявлено зміну кольору та відшарування діаметром не більше 1 мм. Їх сумарна площа не перевищує 1,5 % (рис. 10). Розшарування

по торцях не виявлено. Згідно з ГОСТ 9.904, стійкість проти розшаровуючої корозії основного металу сплаву В1341 оцінено 2-3 балом за десятибальною шкалою (табл. 3). Для зварних з'єднань оцінювали стан зони термічного впливу та зварного шва. На поверхні зварних з'єднань обох типів відшарування в зоні термічного впливу та на зварному шві також відсутні. Відповідно з рекомендаціями ГОСТ 9.904, їх стійкість проти розшаровуючої корозії оцінено балом 1. Оскільки стійкість основного металу дещо нижче, ніж області зварного шва та ЗТВ, то стійкість зварного з'єднання проти розшаровуючої корозії в цілому оцінили балом 2-3. Встановлено, що особливості технології ручного аргонодугового зварювання вільною або стиснутою дугою не впливають на стійкість зварних з'єднань проти розшаровуючої корозії.

Тривкість проти корозійного розтріскування. Зовнішній вигляд досліджених зразків після корозійних випробувань представлено на рис. 11, а, б. Як видно, на всій поверхні зразків утворилися пітинги. В області зварного з'єднання пітинги зосереджені переважно в зоні термічного впливу,

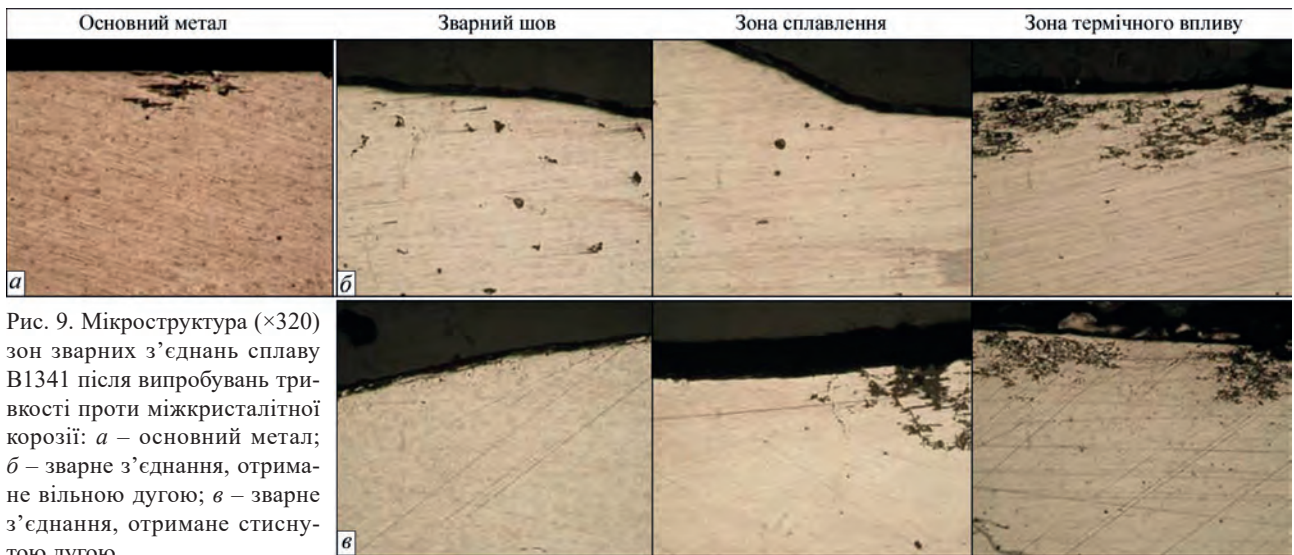


Рис. 9. Мікроструктура (×320) зон зварних з'єднань сплаву В1341 після випробувань тривкості проти міжкристалітної корозії: а – основний метал; б – зварне з'єднання, отримане вільною дугою; в – зварне з'єднання, отримане стиснутою дугою

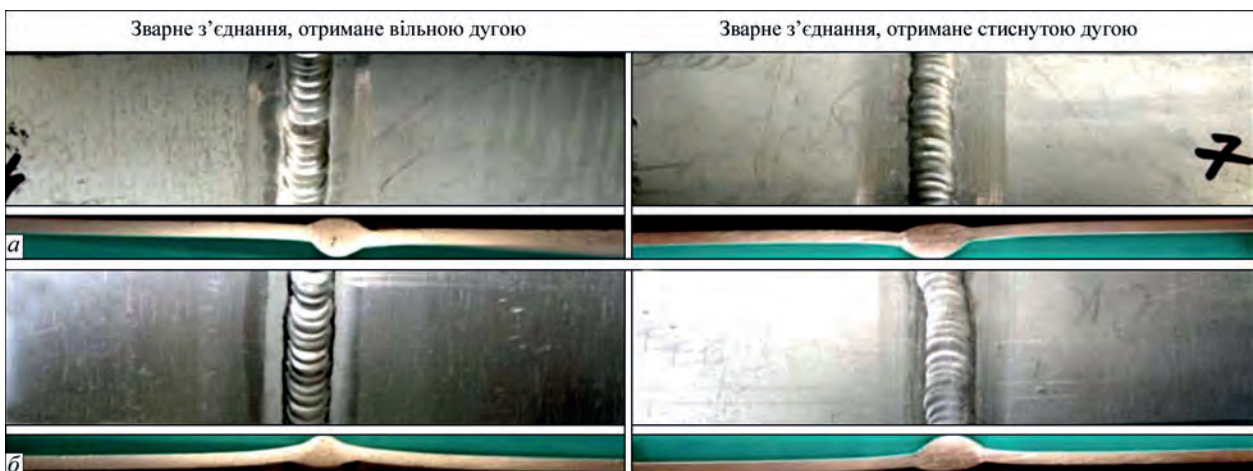


Рис. 10. Зовнішній вигляд робочих поверхонь зразків зварних з'єднань сплаву В1341Т у стані після зварювання до (а) та після (б) досліджень стійкості проти розшаровуючої корозії (×5)

що може свідчити про локалізацію корозії саме в цій частині зварних з'єднань сплаву В1341. Корозійно-механічна тривкість основного металу та зварних з'єднань в умовах сумісної дії постійного навантаження при повному зануренні у корозивне середовище відрізняється досить суттєво (табл. 3). Спостерігається значний розкид експериментальних даних як для основного металу, так і для зварних з'єднань. Час до руйнування зразків основного металу становив від 67 до 88 діб (майже 73 діб). Для зварних з'єднань, отриманих вільною дугою, спостерігали зменшення часу руйнування до 10...45 діб (у середньому 20 діб). Аналогічні результати отримані для зварних з'єднань, зварених стиснутою дугою. В обох випадках час руйнування з'єднань, виконаних за різними технологіями зварювання, майже втричі менше, ніж основного металу. Тобто зміна технологічних прийомів для зварювання сплаву суттєво не вплине на

значення корозійно-механічної тривкості зразків зварних з'єднань.

Висновки

За результатами комплексних досліджень механічних та корозійно-механічних властивостей зварних з'єднань сплаву В1341 товщиною 1,2 мм, отриманих аргонодуговим зварюванням вільною та стиснутою дугою, встановлено:

коефіцієнт міцності зварних з'єднань, отриманих вільною та стиснутою дугою, становить 0,79 та 0,8, відповідно. Отже, з'єднання, отримане стиснутою дугою, має вищу межу міцності та пластичності (кута згину) порівняно із з'єднанням, виконаним вільною дугою, але при цьому зменшуються значення показника відносного подовження;

за результатами електрохімічних досліджень визначено, що за обидва види технології зразки зварних з'єднань мають електрохімічну гетерогенність. Водночас, більш позитивний потенціал властивий для зони зварного шва, яка має меншу площу, що не представлятиме небезпеку при експлуатації;

встановлено, що особливості технології ручного аргонодугового зварювання не впливають на стійкість зварних з'єднань сплаву В1341Т проти розшаровуючої корозії та корозійно-механічну тривкість при постійній деформації. Водночас, застосування зварювання сплаву стиснутою дугою викликає зниження стійкості зварних з'єднань проти міжкристалітної корозії;

експериментально доведено, що корозійна тривкість зварного з'єднання, отриманого стиснутою дугою, дещо нижче, ніж у зразках, отриманих вільною дугою, але можна припустити, що вдало підібране термооброблення таких з'єднань може покращити його стійкість.

Робота виконана за підтримки Національної академії наук України в рамках програми відомчого замовлення Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона в 2017–2021 рр. (номер державної реєстрації 0117U001188).

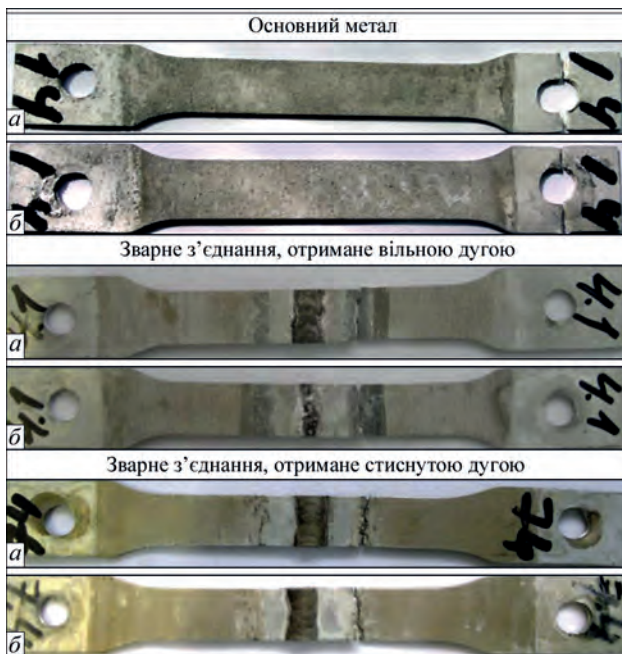


Рис. 11. Зовнішній вигляд зразків основного металу та зварних з'єднань сплаву В1341Т, отриманих вільною та стиснутою дугою, після випробувань стійкості проти корозійного розтріскування: а – лицьова поверхня, б – зворотна

Таблиця 3. Механічні, корозійні та корозійно-механічні властивості основного металу та зварних з'єднань сплаву В1341Т, отриманих вільною та стиснутою дугою

Стан	Властивості основного металу та зварних з'єднань							
	Механічні					Корозійні		Корозійно-механічні
	$\sigma_{в^2}$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	δ , %	α , град	Коефіцієнт міцності ЗЗ	Глибина міжкристалітної корозії, мм	Стійкість проти розшаровуючої корозії, бал	Час руйнування, доби
Основний метал	250,5	187,6	18,9	180	-	від 0,082 до 0,086	2-3	від 67 до 88
ЗЗ, отримане вільною дугою	195,0	130,1	2,6	56	0,79	від 0,245 до 0,350	2-3	від 10 до більше 45
ЗЗ, отримане стиснутою дугою	200,3	144,3	1,7	66	0,80	від 0,289 до 0,467	2-3	від 9 до більше 45

Список літератури

1. Фейгенбаум Ю.М., Дубинский С.В., 2013. Влияние случайных эксплуатационных повреждений на прочность и ресурс конструкций воздушных судов. *Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации*, 187, 83–91.
2. Кривов Г.А., Рябов В.Р., Ищенко А.Я. и др. (1998) *Сварка в самолетостроении*. Москва, МИИВЦ.
3. Ищенко А.Я., Лабури Т.М. (2013) *Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов*. Київ, Наукова думка.
4. Овчинников В.В., Грушко О.Е. (2005) Высокотехнологичный свариваемый алюминиевый сплав В1341 системы Al–Mg–Si. *Машиностроение и инженерное образование*, 3, с. 2–11.
5. J. Zheng, B., Wang, Q. (1993) *Iv he jin deng li zi hu li han chuan kong rong chi wen ding jian li tiao jian. Transactions of the China Welding Institution*, 3, 164–171.
6. Martinez, L.F., Marques, R.E., McClure, J.C., Nunes, A.C. (1992) Front side keyhole detection in aluminum alloys. *Welding J.*, 71, 5, 49–52.
7. Norlin, A. (2000) A century of aluminium – a product of the future. *Svetsaren*, 2, 2, 31–33.
8. Albert, D. (1993) Aluminium alloys in arc welded constructions. *Welding World Magazine*, 32, 3, 97–114.
9. ГОСТ 10157-79 *Аргон газообразный и жидкий. Технические условия*. Москва, Издательство стандартов.
10. Коваль В. А., Лабури Т. М., Яворська Т. Р. (2020) Властивості з'єднань алюмінієвого сплаву марки В1341Т в умовах ТІГ зварювання. *Автоматичне зварювання*, 2, 38–43.
11. ГОСТ 1497-84 *Металлы. Методы испытаний на растяжение*. Москва, Издательство стандартов.
12. ГОСТ 6996-66 *Сварные соединения. Методы определения механических свойств*. Москва, Издательство стандартов.
13. ГОСТ 9.021-74 *Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Алюминий и сплавы алюминиевые. Методы ускоренных испытаний на межкристаллитную коррозию*. Москва, Издательство стандартов.
14. ГОСТ 9.904-83 *Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Сплавы алюминиевые. Метод ускоренных испытаний на расслаивающую коррозию*. Москва, Издательство стандартов.
15. ГОСТ 9.019-74 *Единая система защиты от коррозии и старения. Сплавы алюминиевые и магниевые. Методы ускоренных испытаний на коррозионное растрескивание*. Москва, Издательство стандартов.

References

1. Feigenbaum, Yu.M., Dubinsky, S.V. (2013) Influence of accidental operational damage on strength and residual life of aircraft structures. *Nauchny Vestnik MGTU GA*, 187, 83–91 [in Russian].
2. Krivov, G.A., Ryabov, V.R., Ishchenko, A.Ya. et al. (1998) *Welding in aircraft construction*. Moscow, MIIVTs [in Russian].
3. Ishchenko, A.Ya., Labur, T.M. (2013) *Welding of modern structures from aluminium alloys*. Kyiv, Naukova Dumka [in Russian].
4. Ovchinnikov, V.V., Grushko, O.E. (2005) High tech welded aluminium alloy V1341 of Al-Mg-Si system. *Mashinostroyeniye i Inzhenernoye Obrazovanie*, 3, 4, 2-11 [in Russian].
5. J. Zheng, B., Wang, Q. (1993) *Iv he jin deng li zi hu li han chuan kong rong chi wen ding jian li tiao jian. Transact. of the Chine Welding Inst.*, 3, 164–171.
6. Martinez, L.F., Marques, R.E., McClure, J.C., Nunes, A.C. (1992) Front side keyhole detection in aluminum alloys. *Welding J.*, 71, 5, 49–52.
7. Norlin, A. (2000) A century of aluminium – a product of the future. *Svetsaren*, 2, 2, 31–33.
8. Albert, D. (1993) Aluminium alloys in arc welded constructions. *Welding World Magazine*, 32, 3, 97–114.
9. GOST 10157-79: *Gaseous and liquid argon. Specifications*. Moscow, Izd-vo Standartov [in Russian].
10. Koval, V.A., Labur, T.M., Yavorska, T.R. (2020) Properties of joints of V1341T grade alloy under conditions of TIG welding. *The Paton Welding J.*, 2, 35-40.
11. GOST 1497-84: *Metals. Test methods on tension*. Moscow, Izd-vo Standartov [in Russian].
12. GOST 6996-66: *Welded joints. Methods of mechanical properties determination*. Ibid. [in Russian].
13. GOST 9.021-74: *United system of corrosion and ageing protection. Aluminium and aluminium alloys. Methods of accelerated tests for intercrystalline corrosion*. Ibid. [in Russian].
14. GOST 9.904-83: *United system of corrosion and ageing protection. Aluminium alloys. Methods of accelerated tests for layer corrosion*. Ibid. [in Russian].
15. GOST 9.019-74: *United system of corrosion and ageing protection. Aluminium and magnesium alloys. Methods of accelerated tests for corrosion cracking*. Ibid. [in Russian].

CORROSION AND MECHANICAL DURABILITY OF WELDED JOINTS OF ALUMINUM ALLOY V1341, PRODUCED BY ARGON-ARC WELDING BY FREE AND CONSTRICTED ARC

L.I. Nyrkova, T.M. Labur, S.O. Osadchuk, M.R. Yavorska

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

E-mail: office@paton.kiev.ua

The paper presents the results of studies of corrosion and mechanical resistance of welded joints of V1341 alloy of 1.2 mm thickness, depending on the technology of manual argon arc welding with free and constricted arc. The strength coefficient of welded joints is 0.79 and 0.8, respectively. Potentiometric measurements showed an electrochemical heterogeneity between the base metal and welded joints obtained by free and constricted arc; with a potential difference equal to 100 mV and 86 mV, respectively. More positive potential is inherent to the region with a smaller weld area, which is safe for operation. Accelerated corrosion tests have determined that the shape of the arc column in manual welding does not affect the resistance of welded joints against exfoliating corrosion and against corrosion-mechanical breaking under conditions of constant deformation. The level of resistance of the base metal against exfoliating corrosion of the joints, produced by both types of arc welding technology, was estimated by number 2-3. The fracture time of specimens of the joints produced by free arc welding, decreased on average to 20 days compared to the base metal (73 days). Similar results were obtained for joints welded by a constricted arc. At the same time, it was found that using of a constricted arc for welding causes a lowering of the resistance of the joints against intergranular corrosion. The maximum breaking depth of grain boundaries for joints produced by a free arc is 0.350 mm, and for the joints made by a constricted arc it is 0.460 mm. 15 Ref., 3 Tabl., 11 Fig.

Keywords: aluminum alloy, free and constricted arc welding, welded joint, mechanical properties, structure, intergranular corrosion, exfoliating corrosion, corrosion under constant deformation, potentiometry, accelerated corrosion tests

Надійшла до редакції
12.11.2020