

ВЛАСТИВОСТІ З'ЄДНАНЬ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ МАРКИ В1341Т В УМОВАХ TIG ЗВАРЮВАННЯ

В.А. Коваль, Т.М. Лабур, Т.Р. Яворська

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

Наведено результати дослідження зварюваності тонколистового алюмінієвого сплаву марки В1341Т системи Al–Mg–Si–Cu–Fe за умов ручного аргонодугового зварювання неплавким електродом. Даний сплав характеризується високою схильністю до утворення гарячих тріщин при зварюванні. Показник гарячеламкості становить $A = 65,8...85,5$ %. Досліджено вплив хімічного складу присадного матеріалу на стійкість металу шва проти утворення гарячих тріщин. Встановлено, що при зварюванні серійними дротами марок ЗвАМг63, Зв1201, Зв1217 показник тріщиностійкості становить $A = 30,3...53,9$ %, а при використанні дроту марки ЗвАК5 цей показник зварних швів дорівнює $A = 6,6...19,8$ %. Ручне аргонодугове зварювання неплавким електродом сплаву В1341Т дозволяє отримувати щільні якісні з'єднання з даного матеріалу з коефіцієнтом міцності $0,80...0,87$, який залежить також від хімічного складу присадного дроту. Середня величина межі міцності зварних з'єднань сплаву з використанням різних марок присадного дроту становить $\sigma_{\text{в}} = 199,9...209,0$ МПа, а межа плинності $\sigma_{0,2} = 136,6...147,6$ МПа, відносне видовження $\delta = 4,0...5,2$ %, кут згину $\alpha - 40...65^\circ$. Бібліогр. 7, табл. 4, рис. 5.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, ручне аргонодугове зварювання неплавким електродом, присадкові дроти, зварні з'єднання, структура, механічні властивості, гарячі тріщини

Ступінь технічної досконалості літальних апаратів безпосередньо пов'язаний з освоєнням нових конструкційних матеріалів, які мають поряд з міцністю підвищені технологічні характеристики. Це дозволяє виготовляти вироби складної форми. До числа таких матеріалів відноситься багатокомпонентний термічно зміцнюваний сплав марки В1341Т (системи легування Al–Mg–Si–Cu–Fe). Крім того, він містить добавки хрому та цирконію (табл. 1). Даний сплав призначений для виготовлення типових елементів конструкцій літаків – підвісних баків, бачків, балонів та інших виробів складної конфігурації, які зварюють переважно ручним методом [1].

До сучасного моменту сплав В1341Т переважно зварювали автоматичними способами. Дослідження щодо його ручного зварювання взагалі не проводились, але впровадження сплаву у авіабудівну галузь для виготовлення конструкцій складних форм оболонкового типу робить актуальними дослідження щодо його зварюваності в умовах ручного аргонодугового зварювання неплавким електродом.

Метою даної роботи була оцінка основних характеристик зварюваності сплаву В1341Т в умовах ручного аргонодугового зварювання не-

плавким електродом, а також встановлення технологічних можливостей застосування сплаву в зварних конструкціях для літакобудування. В якості критеріїв оцінки зварюваності обрані показники стійкості металу шва проти утворення гарячих тріщин і рівень механічних властивостей з'єднань при використанні присадок різного хімічного складу, а також визначення оптимальних умов формування якісних швів.

Дослідження проводили на листах товщиною 1,2 мм в стані Т (гартування 530 °С в воду і природне старіння), які мають межу міцності 250...250,8 МПа.

Процес утворення гарячих тріщин у сплаві В1341Т в умовах ручного аргонодугового зварювання неплавким електродом вивчали за допомогою технологічної проби типу «риб'ячий скелет» (зразки Хоулдрокфта) [2, 3]. Зварювальне нагрівання виконували від джерела живлення інверторного типу MW2000 виробництва фірми Fronius на режимах: $I_{\text{зв}} = 54...56$ А, $U_{\text{д}} = 11,2...12,4$ В. При технологічному нагріванні сплаву В1341Т була встановлена його висока чутливість до утворення гарячих тріщин. Показник гарячеламкості при ручному зварюванні даного сплаву без викори-

Таблиця 1. Хімічний склад сплаву В1341Т і досліджуваних присадних дротів, мас. %

Марка дроту	Mg	Mn	Cu	Si	Fe	Cr	Ti	Zr	Zn
В1341Т, основний метал	0,65	0,16	0,30	0,80	0,14	<0,10	0,03	<0,10	0,04
ЗвАМг63	6,30	0,60	Слід	0,05	0,05	-	0,04	0,25	-
ЗвАК5	-	-	0,15	5,60	0,24	-	0,12	-	-
Зв1201	0,02	0,30	6,50	0,08	0,12	-	0,12	0,15	0,04
Зв1217	-	-	10	0,02	0,04	Sc = 0,15	0,10	0,24	-

Коваль В.А. – <https://orcid.org/0000-0001-5154-1446>, Яворська Т.Р. – <https://orcid.org/0000-0003-2016-6289>,

Т.М. Лабур – <https://orcid.org/0000-0002-4064-2644>

© В.А. Коваль, Т.М. Лабур, Т.Р. Яворська, 2020

стання дроту знаходився на досить високому рівні і становив $A = 65,8...85,5 \%$, що може свідчити про утворення в умовах зварювання евтектики та збільшення інтервалу кристалізації внаслідок зниження температури нерівновісного солідусу [2, 3]. За результатами випробування 7...9 зразків встановлено, що утворення магістральної тріщини відбувається по центру шва.

Відомо [1, 3], що одним із способів підвищення стійкості алюмінієвих сплавів утворенню гарячих тріщин при зварюванні може бути застосування присадного дроту, який відрізняється за складом від основного металу. При цьому його функція полягає в створюванні в центральній зоні зварювальної ванни деякого об'єму металу в твердо-рідкому стані з однорідним перемішуванням легуючих компонентів, який знаходиться в широкому температурному інтервалі. Це сприяє залягуванню тріщин, які утворюються в металі шва під час його кристалізації [2].

Зазвичай для зварювання кожного алюмінієвого сплаву існує можливість застосування декількох марок присадних дротів. Їх вибір залежить від вимог до технологічних характеристик основного металу та його зварних з'єднань у виробі, таких як: стійкість до утворення гарячих тріщин, міцність, пластичність і корозійна стійкість. Водночас, отримати зварні з'єднання з найвищими значеннями усіх показників практично неможливо, оскільки максимальні значення кожного з них досягаються при певній комбінації складу легуючих елементів, що входять у вихідний метал і присадний дріт. У зв'язку з цим при зварюванні алюмінієвих сплавів застосовують або універсальний дріт, який забезпечує досить високі рівні основних механічних властивостей зварних з'єднань, або ж дріт, що гарантує підвищення одного з цих показників при задовільних значеннях інших [4]. Остаточний вибір марок присадних дротів визначається умовами виготовлення та експлуатації зварної конструкції. Тому було досліджено вплив хімічного складу декількох серійних присадних дротів діаметром 2 мм різних марок: ЗвАМг63, ЗвАК5, Зв1201, Зв1217 на зварюваність сплаву В1341Т (див. табл. 1).

Для оцінки тріщиностійкості металу шва та проведення механічних випробувань зварних з'єднань сплаву В1341Т на оптимальних режимах були отримані стикові з'єднання з повним проплавленням. На них видаляли технологічне підсилення і корінь шва з метою виготовлення зразків «риб'ячий скелет» відповідно до загальноприйнятої методики [2]. Після чого вздовж шва метал повторно проплавляли зварювальною дугою на вказаних режимах з використанням присадок зазначених марок. Зовнішній вигляд отриманих швів після

зварювання представлений на рис.1. Результати оцінки тріщиностійкості надано в табл. 2, де наведено головні легуючі елементи, які сприяють зниженню гарячеламкості в алюмінієвих сплавах.

Аналіз результатів випробування 8...10 зразків, отриманих з використанням кожного присадного дроту, показав (табл. 2), що утворення гарячих тріщин також відбувається в центральній частині шва у вигляді однієї магістральної тріщини (рис. 2). При використанні присадок ЗвАМг63, Зв1201, Зв1217 схильність до утворення гарячих тріщин залишається високою ($A = 39,6 \dots 54,9 \%$). На думку авторів, зазначене може бути пов'язаним з наявністю значної кількості легкоплавких евтектик на

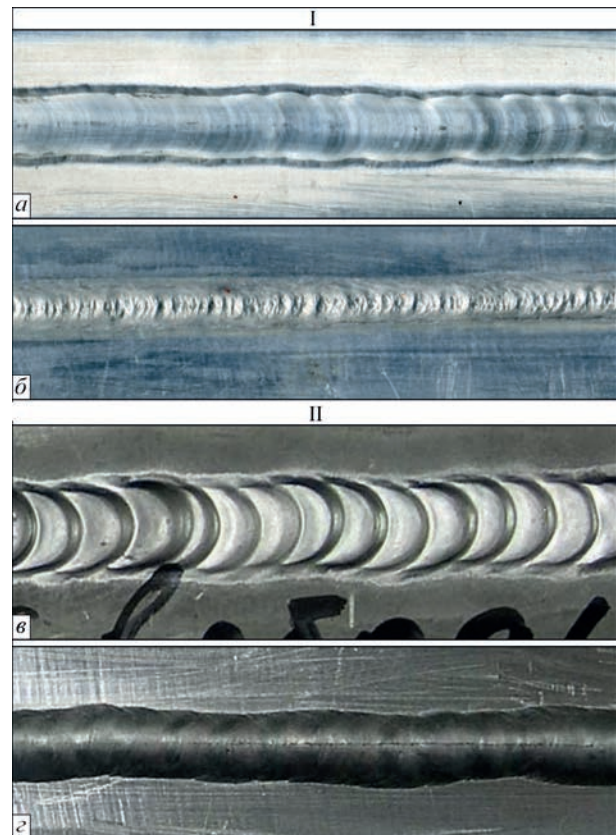


Рис. 1. Зовнішній вигляд лицьової поверхні (а, е) та кореня шва (б, з) зварних з'єднань сплаву В1341Т, отриманих дуговим ручним зварюванням без застосування присадного дроту (I) та з його участю (II)

Таблиця 2. Показник гарячеламкості (А,%) з'єднань сплаву В1341Т, виконаних з використанням присадних дротів різного складу

Марка дроту	Основні легуючі елементи, мас. %			Довжина тріщин $L_{тр}$, мм	Показник тріщиностійкості $A = L_{тр} / L_{зраз}$, %
	Mg	Cu	Si		
ЗвАМг 63	6,30	–	–	34...49	$\frac{25...61,8}{45,4}$
Зв1201	–	6,50	–	23...49	$\frac{44,7...64,5}{54,9}$
Зв1217*	–	10	–	23...42	$\frac{34,4...52,6}{39,6}$
ЗвАК 5	–	–	5,6	5...15	$\frac{5,9...19,8}{9,5}$

* Sc = 0,15 мас. %

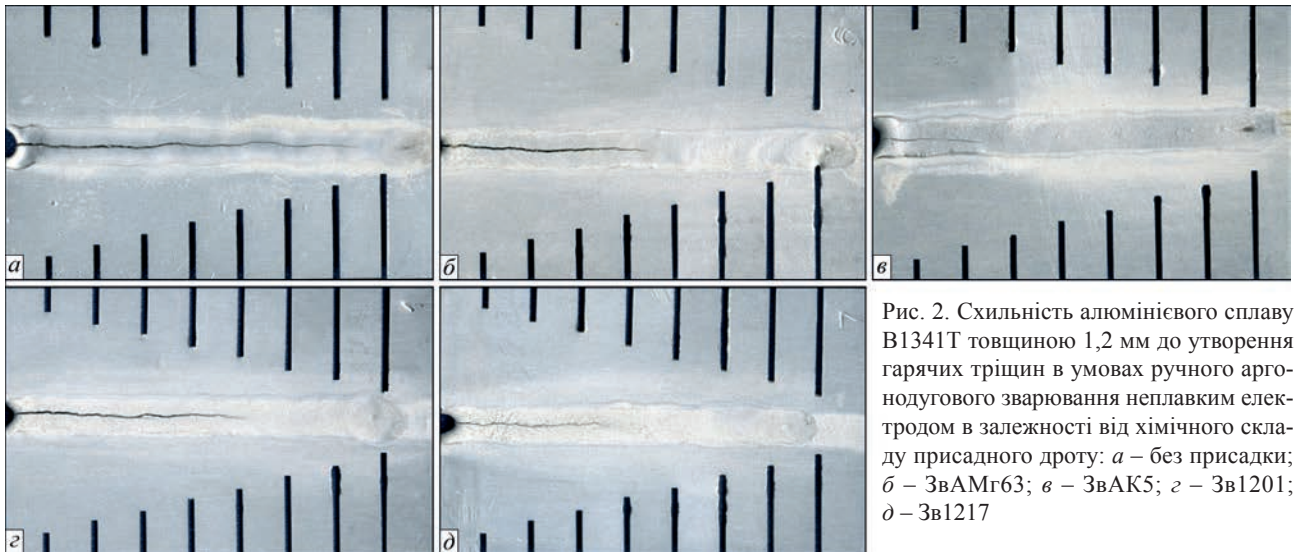


Рис. 2. Схильність алюмінієвого сплаву В1341Т товщиною 1,2 мм до утворення гарячих тріщин в умовах ручного аргонодугового зварювання неплавким електродом в залежності від хімічного складу присадного дроту: а – без присадки; б – ЗвАМг63; в – ЗвАК5; г – Зв1201; д – Зв1217

основі Mg_2Si , які розширюють температурні границі твердо-рідкого стану металу та призводять до збільшення величини його усадки в шві [5]. Позитивний ефект був досягнутий при використанні присадного дроту марки ЗвАК5, що містить до 6 % кремнію. Метал шва при цьому має максимальні значення показника тріщиностійкості $A = 5,9...19,8$ % в порівнянні з іншими дротами. Це відбувається за рахунок більшої проникаючої («заліковуючої») здатності евтектик на основі кремнію [5, 6].

Для визначення рівня якості швів при ручному аргонодуговому зварюванні неплавким електродом отримані зварні з'єднання обстежували візуально та з використанням рентгеноконтролю при чутливості еталона 0,1 мм з подальшим виготовленням макрошліфів для дослідження характеру формування швів. Рентгенівські плівки розшифровували на приладі «Денситомед», який дозволяє визначити щільність металу. Результати їх аналізу показали, що грубих дефектів, які класифікуються як тріщини, непровари, зосереджені і розсіяні пори розміром від 0,5 мм і вище у з'єднаннях не виявлено. При візуальному огляді поверхні швів після зняття і зачистки технологічного підсилення спостерігаються поодинокі розсіяні пори розміром до 0,08 мм, що в 6 разів нижче допустимих нормативів. Відстань між дрібними порами складає 11,0...15,0 мм, а сумарна протяжність дорівнює 7...8 мм на ділянці шва завдовжки 100 мм (рис. 3). Це також удвічі менше допустимих значень [7].

Геометричні параметри швів визначали за допомогою електронного штангенциркуля АРТ-34460-150 з ціною поділки 0,01 мм і точністю вимірювання 0,03 мм. Результати вимірювань показали (табл. 3), що оптимальне значення коефіцієнта форми шва, розраховане за формулою $K = 1(h + g)$, для досліджуваних з'єднань становить 2,43, що відповідно до нормативної документації (ГОСТ 14806-80) відповідає допустимим значенням.

Механічні властивості зварних з'єднань сплаву В1341Т визначали при випробуванні стандартних зразків на розтяг і згин, виготовлених зі зварних стиків. Зразки мали технологічне підсилення і корінь шва. Їх руйнування відбувалося по зоні термічного впливу на відстані 3...5 мм від границі сплавлення (рис. 4). За результатами механічних випробувань встановлено, що межі міцності та плинності з'єднань після зварювання складають $\sigma_b = 200...208,7$ МПа, $\sigma_{0,2} = 136,6...147,5$ МПа незалежно від марки присадного дроту. Найбільші значення показника відносного видовження (δ , %) були отримані при використанні присадного дроту марки Зв1217 (табл. 4). Коефіцієнт міцності шва при цьому дорівнював 0,83...0,84 порівняно з показником основного металу ($\sigma_b = 250,8$ МПа).

Значення показника пластичності α , отриманого в умовах трьохточкового згину зразків зварних з'єднань сплаву В1341Т, виконаних дротами ЗвАК5 та ЗвАМг63, становить 59...58 град. відповідно. У разі застосування присадних дротів Зв1201 та Зв1217 даний показник зварних з'єднань дорівнює 50 і 56 град. Величина кута згину всіх зварних з'єднань у порівнянні з основним металом ($\alpha = 180$ град.) зменшується в 4...6 разів (див. табл. 4).

Для порівняння з вказаними з'єднаннями були виконані ручним аргонодуговим зварюванням шви по «відбортовці», тобто без застосування присадки (рис. 1, І). Як показали механічні випробування, такі з'єднання сплаву В1341Т мають низькі механічні властивості. Значення їх межі міцності та плинності менші на 50, 30 МПа відповідно до швів, отриманих з використанням присадок. Показники відносного подовження δ і кута згину α при цьому знижуються в 4 і 2 рази, відповідно. Коефіцієнт міцності з'єднання становить лише 0,55 від основного металу (див. табл. 4). Погіршення механічних властивостей швів, виконаних без застосування присадки, ймовірно, зумовлено

наявністю з боку кореня шва концентраторів напружень у вигляді гострокутних заглиблень в зоні його сплавлення з основним металом та меншою площею поперечного перерізу шва (рис. 5, *a*).

Макроструктуру зварних з'єднань сплаву В1341Т вивчали на поперечних шліфах, які вирізали з центральної частини шва. Для виявлення їх особливостей хімічне травлення проводили в розчині, що складається з трьох кислот: 72 мл HCl + 24 мл HNO_3 + 4 мл HF . Металографічний аналіз макроструктури зварних з'єднань показав, що незалежно від хімічного складу застосовуваних марок дротів всі шви характеризуються дрібнозернистою однорідною структурою і відсутністю грубих дефектів (рис. 5, *b-d*). В зоні з'єднання біля шва спостерігаються ділянки з різним ступенем травлення, що відображає вплив градієнтних

умов термічного циклу зварювання на морфологію структурних перетворень у металі.

Висновки

1. Встановлено, що алюмінієвий сплав В1341Т в умовах ручного аргонодугового зварювання неплавким електродом характеризується високою схильністю до утворення гарячих тріщин. Показник гарячеламкості металу становить $A = 65,8...85,5\%$. Застосування присадних дротів знижує схильність сплаву до утворення гарячих тріщин. При зварюванні серійними дротами марок ЗвАМг63, Зв1201, Зв1217 показник тріщиностійкості становить $A = 30,3...53,9\%$, а при використанні дроту марки ЗвАК5 цей показник зварних швів дорівнює $A = 6,6...19,8\%$.

2. Використання ручного аргонодугового зварювання неплавким електродом тонколистового алюмінієвого сплаву В1341Т дозволяє отримувати

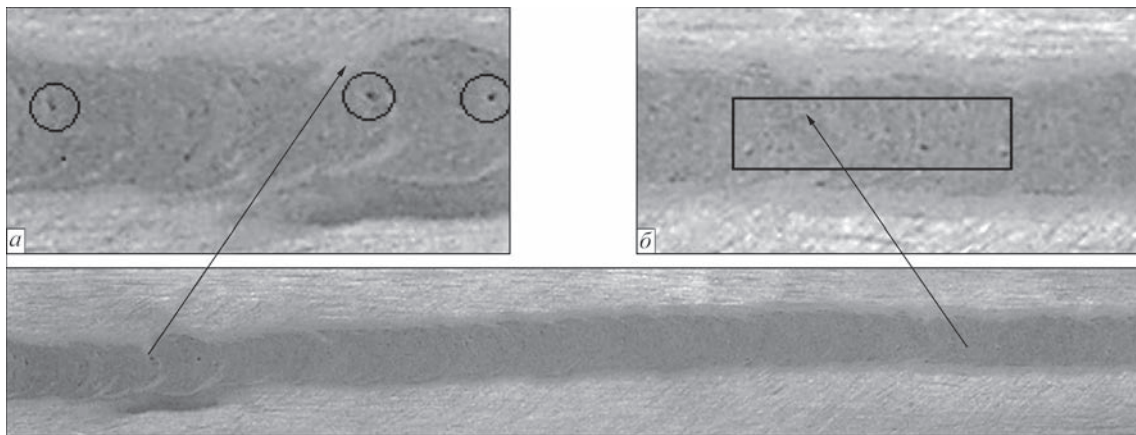


Рис. 3. Поверхня шва сплаву В1341Т після зняття технологічного підсилення: *a* – одиничні дефекти; *b* – розсіяні дефекти

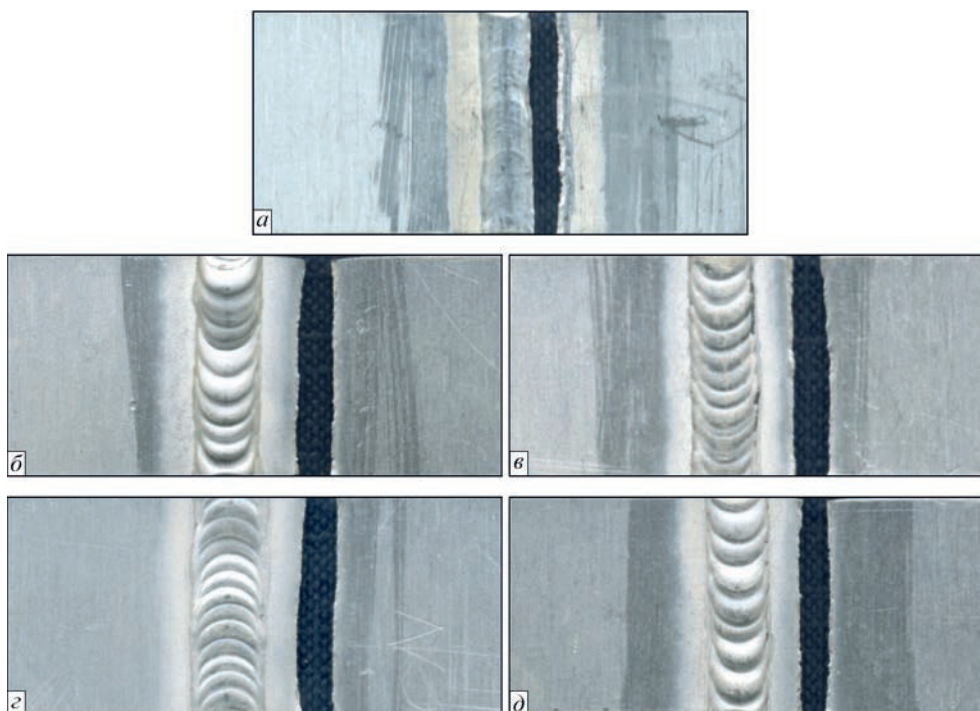


Рис. 4. Характер руйнування зразків зварних з'єднань алюмінієвого сплаву В1341Т товщиною 1,2 мм, виконаних ручним зварюванням неплавким електродом з різними марками присадного дроту і без нього: *a* – без дроту; *b* – ЗвАМг63; *c* – ЗвАК5; *d* – Зв1201; *e* – Зв1217

ВИРОБНИЧИЙ РОЗДІЛ

Таблиця 3. Геометричні параметри та коефіцієнт форми швів, отриманих при ручному аргонодуговому зварюванні сплаву В1341Т ($\delta = 1,2$ мм).

Умовні позначення	Значення геометричних параметрів зварних швів, мм		Коефіцієнт форми шва $K = \frac{B}{(b + \delta)}$	
	мінімальні	максимальні		
Ширина шва B	3,53...4,86	4,92...5,60	2,43	
Ширина кореня шва H	3,15...4,15	4,2...5,1		
Висота технологічного підсилення b	0,23...0,7	0,8...1,3		
Висота кореня шва h	0,17...0,68	0,85...1,15		

Таблиця 4. Механічні властивості зварних з'єднань сплаву В1341Т товщиною 1,2 мм, виконаних ручним дуговим зварюванням неплавким електродом при використанні різних марок присадних дротів і без них

Марка присадного дроту	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	α , град.	Коефіцієнт міцності
Без присадки	$\frac{125,3...153,3}{139,0}$	$\frac{110...144,6}{130,0}$	$\frac{0,7...1,4}{0,9}$	30...37	0,55
ЗвАМг63,	$\frac{196,3...207,1}{199,9}$	$\frac{141,2...144,1}{142,7}$	$\frac{3,6...5,4}{4,5}$	$\frac{55...60}{58}$	0,8...0,82
ЗвАК5,	$\frac{190,5...209,2}{202}$	$\frac{138,4...142,7}{136,6}$	$\frac{3,1...5,1}{4,0}$	$\frac{55...65}{59}$	0,8...0,82
Зв1201,	$\frac{193,2...207,4}{201,7}$	$\frac{145,0...143,7}{144,3}$	$\frac{3,7...5,4}{4,8}$	$\frac{40...60}{50}$	0,8...0,82
Зв1217,	$\frac{208,2...209,0}{208,7}$	$\frac{143,1...151,6}{147,6}$	$\frac{4,6...5,4}{5,2}$	$\frac{45...66}{56}$	0,83...0,84

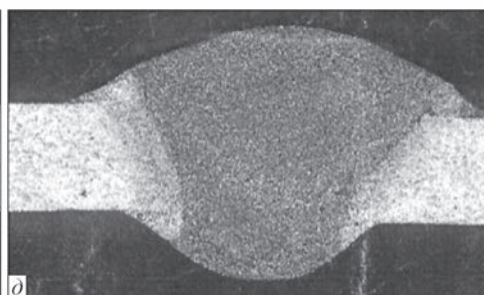
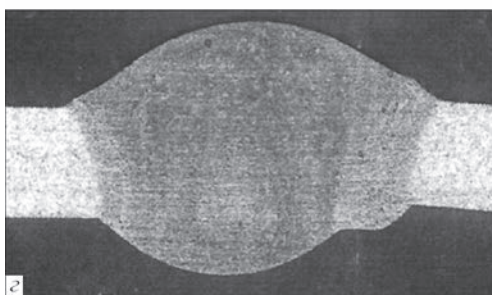
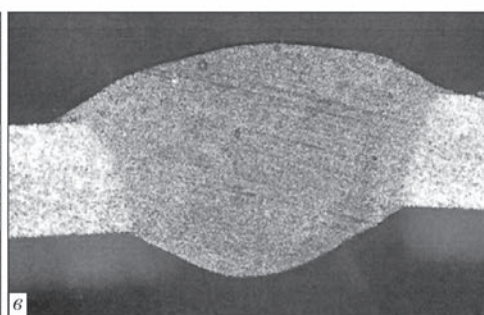
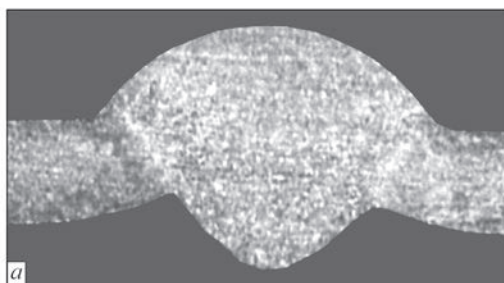


Рис. 5. Макроструктура зварних з'єднань сплаву В1341Т товщиною 1,2 мм, виконаних ручним аргонодуговим зварюванням неплавким електродом без присадки та з застосуванням присадок різних марок: а – без присадки; б – ЗвАМг63; в – ЗвАК5; з – Зв1201; д – Зв1217

вати щільні якісні з'єднання з даного матеріалу з коефіцієнтом міцності 0,80...0,84 рівня основного металу в залежності від хімічного складу марки присадного дроту. Рентгеноконтроль з'єднань показав відсутність грубих дефектів у швах. При візуальному аналізі їх лицьової поверхні без технологічного підсилення спостерігаються розсіяні пори розміром до 0,08 мм, що в 6 разів нижче допустимих нормативів. Відстань між дрібними порами становить 11,0...15,0 мм. Сумарна протяжність ланцюга дрібних пор дорівнює 7...8 мм на ділянці шва завдовжки 100 мм.

3. Встановлено, що середня величина межі міцності зварних з'єднань сплаву з використанням різних марок присадного дроту становить $\sigma_b = 199,9...209,0$ МПа, а межа плинності $\sigma_{0,2} = 136,6...147,6$ МПа, відносна видовження $\delta = 4,0...5,2$ %, кут згину $\alpha - 40...65$ град. Руйнування зразків зварних з'єднань сплаву відбувається по основному металу в зоні термічного впливу на відстані 3...5 мм від межі сплавлення незалежно від хімічного складу застосовуваних присадних дротів. Такий характер руйнування в даній зоні обумовлений чутливістю сплаву до технологічного нагрівання внаслідок перерозподілу легуючих компонентів, що знижує його міцність.

4. Зварні з'єднання, отримані без застосування присадного дроту, характеризуються нижчим рівнем механічних властивостей: $\sigma_b = 125,3...153,3$ МПа, $\sigma_{0,2} = 110...144,6$ МПа, $\delta = 0,7...1,4$ %, $\alpha = 30...37$ град. порівняно зі з'єднаннями, виконаними з присадними дротами. Коефіцієнт міцності при цьому становить 0,55. Виходячи з отриманих даних, слід зазначити, що для зменшення схильності швів до утворення гарячих тріщин при ручному зварюванні сплаву В1341Т кращим є дріт марки ЗвАК5, а у разі необхідності забезпечення комплексу показників механічних

властивостей – Зв1217. Не допускається ручне дугове зварювання неплавким електродом при з'єднанні сплаву В1341Т без застосування присадки.

Список літератури

1. Мильман Ю.В. (2008) Новые высокопрочные сплавы алюминия. *Актуальные проблемы современного материаловедения*. Т. 1. Киев, ИД «Академперіодика», сс. 597–612.
2. Ищенко А.Я. (2008) Сварка алюминиевых сплавов. *Неорганическое материаловедение, Материалы и технологии*. Т. 2. Кн. 2. Киев, Наукова думка, сс. 238–253.
3. Ющенко К.А., Дерломенко В.В. (2008) Сварка и свариваемость (соединяемость) материалов. *Неорганическое материаловедение. Материалы и технологии*. Т. 2. Кн. 2. Киев, Наукова думка, сс. 268–276.
4. Ищенко А.Я., Лабур Т.М. (2013) *Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов*. Киев, Наукова думка.
5. Рабкин Д.М. (1986) *Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов*. Киев, Наукова думка.
6. Лашко Н.Ф., Лашко-Авакян С.В. (1960) *Свариваемые легкие сплавы*. Ленинград, Судпромгиз.
7. (2015) ДСТУ EN ISO 10042:2015 (EN ISO 10042:2005, IDT; ISO 10042:2005, IDT) *Зварювання. З'єднання з алюмінію та його сплавів, виконані дуговим зварюванням. Рівні якості залежно від дефектів*.

References

1. Milman, Yu.V. (2008) New high-strength aluminium alloys. *Actual problems of modern materials science*. Vol.1. Kiev, Akadempriodika, 597-612 [in Russian].
2. Ishchenko, A.Ya. (2008) *Welding of aluminium alloys. Inorganic materials science. Materials and technologies*. Vol. 2, Book 2. Kiev, Naukova Dumka, 238-253 [in Russian].
3. Yushchenko, K.A., Derlomenko, V.V. (2008) Welding and weldability (joinability) of materials. *Inorganic materials science. Materials and technologies*. Vol. 2, Book 2. Kiev, Naukova Dumka, 268-276 [in Russian].
4. Ishchenko, A.Ya., Labur, T.M. (2013) *Welding of modern structures of aluminium alloys*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
5. Rabkin, D.M. (1986) *Metallurgy of fusion welding of aluminium and its alloys*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
6. Lashko, N.F., Lashko-Avakyan, S.V. (1960) *Weldable light alloys*. Leningrad, Sudpromgiz [in Russian].
7. (2015) DSTU EN ISO 10042:2015 (EN ISO 10042:2005, IDT; ISO 10042:2005, IDT): *Welding - arc-welded joints in aluminium and its alloys - Quality levels for imperfections* [in Ukrainian].

PROPERTIES OF JOINTS OF V134T GRADE ALLOY UNDER THE CONDITIONS OF TIG WELDING

V.A. Koval, T.M. Labur, T.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 studying the weldability of sheet aluminium alloy of V134T grade of Al-Mg-Si-Cu-Fe system under the conditions of nonconsumable electrode manual argon-arc welding. This alloy is characterized by high susceptibility to hot cracking in welding. The hot brittleness index is equal to $A = 65.8 - 85.5$ %. The impact of filler material chemical composition on hot cracking resistance of weld metal was studied. It is found that in welding by batch-produced wires of SvAMg63, Sv1201, Sv1217 grades the crack resistance value is $A = 30.3 - 53.9$ %, and at application of wire of ZvAK5 grade this characteristic of welds is equal to $A = 6.6 - 19.8$ %. Nonconsumable electrode manual argon-arc welding of V1324T alloy allows producing tight sound joints of this material with strength coefficient of 0.80 – 0.87 which also depends on filler wire chemical composition. The value of ultimate strength of the alloy welded joints, made using different grades of filler wire is equal to $\sigma_t = 193.2 - 209.0$ МПа, and the yield limit $\sigma_{0,2} = 138.4 - 151.6$ МПа; relative elongation $\delta = 3.1 - 5.4$ %, bend angle $\alpha - 40 - 65$ deg. 7 Ref., 4 Tabl., 5 Fig.

Keywords: aluminium alloy, nonconsumable electrode manual argon-arc welding, filler wires, welded joints, structure, mechanical properties, hot cracks

Надійшла до редакції 11.12.2019