

ВПЛИВ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ НА СТРУКТУРУ І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКОЛИСТОВОГО АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ В1341 ТА ЙОГО ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ, ВИКОНАНИХ TIG ЗВАРЮВАННЯМ

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

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

Наведено результати дослідження впливу різних операцій термічної обробки на структуру та механічні властивості основного металу і зварних з'єднань тонколистового алюмінієвого сплаву марки В1341 товщиною 1,2 мм, отриманих при ручному аргонодуговому зварюванні неплавким електродом. Встановлена залежність структурного стану металу зварних з'єднань даного сплаву від виду термічної обробки, що впливає на рівень міцності та пластичності. Значний ефект покращення структури та механічних властивостей досягається при проведенні повної термічної обробки, яка включає гартування та штучне старіння сплаву та його з'єднань. Порівняно з режимами штучного старіння такий вид термічної обробки дозволяє отримати стабільну структуру металу, яка характеризується меншими розмірами фазових виділень і включень, що сприяє зростанню рівня міцності за умови збереження показників пластичності. Бібліогр. 8, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: алюмінієвий сплав, ручне аргонодугове зварювання неплавким електродом, присадний дріт, зварні з'єднання, термічна обробка, структура, механічні властивості, дослідження

Сплав В1341 системи легування Al–Mg–Si–Cu–Fe відноситься до класу алюмінієвих сплавів, які чутливі до технологічних нагрівань. Високотемпературне нагрівання цього сплаву при зварюванні змінює структуру основного металу, порушуючи його однорідність, та знижує міцність. Утворюються характерні структурні зони – шов, зона сплавлення та зона термічного впливу. На це впливають температурні умови нагрівання на окремих ділянках, а особливості локальних структурних перетворень залежать від процесів дифузії легуючих елементів і домішок, що входять до складу даного сплаву. Об'єми виділення або розчинення фаз, які при цьому утворюються, зумовлені з терміном перебування температурного градієнту на ділянках основного металу відносно вісі шва, тобто швидкістю зварювання. Для їх покращення структури та властивостей проводять операцію термообробки з'єднань [1–3]. Це зумовлено потребою забезпечити при виготовленні складних за конфігурацією штампованих елементів відповідний рівень механічних властивостей деталей та вузлів авіаційної техніки – підвісних баків, бачків інших виробів. Такі заготовки з'єднуються переважно ручним аргонодуговим способом зварювання. Слід зазначити, що вид термічної обробки обирають в залежності від призначення зварних конструкцій, а також експлуатаційних вимог до виробів, які працюють в складних умовах знакоперемінних навантажень [4].

До видів термообробки відносяться наступні операції: гартування, природне або штучне старін-

ня. Їх температурно-часові режими дозволяють регулювати стан структури шляхом відтворення відповідних фазових перетворень та отримання певної морфології структурних складових, розміри і щільність яких сприяють зростанню рівня міцності.

Процес гартування металу (обробка на твердий розчин) передбачає появу в структурі рівноважного стану при високій температурі нагрівання ($0,85 \dots 0,90 T_{пл}$). Легуючі елементи та надмірні фази, які входять до складу сплавів, при цьому повністю або частково розчиняються. Термін витримки металу при відповідній температурі разом з охолодженням до кімнатної температури забезпечують умови пересичення твердого розчину легуючими елементами та точковими дефектами до відповідних концентрацій, характерних для обраної температури гартування [3]. При різкому охолодженні сплаву з температури гартування можна зафіксувати дисперсні розміри структурних складових. Першими утворюються виділення зон Гінье–Пресстона (ГП), які знаходяться в метастабільній рівновазі з твердим розчином, що сприяє покращенню механічних властивостей сплаву. Відомо [2], що ступінь зміцнення сплаву В1341 в процесі старіння знаходиться в прямій залежності від об'ємної долі фази Mg_2Si , яка переходить при нагріванні в твердий розчин.

Перебування металу після гартування в атмосферних умовах («природне старіння») сприяє повільному розвитку фазових перетворень, реалізація яких в подальшому стабілізує стан структури

Лабур Т.М. – <https://orcid.org/0000-0002-4064-2644>, Яворська М.Р. – <https://orcid.org/0000-0003-2016-6289>

Коваль В.А. – <https://orcid.org/0000-0001-5154-1446>

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

та забезпечує певний рівень механічних властивостей. Повністю структура стає стабільною тільки через 10...15 діб.

Максимальні значення характеристик міцності та межі плинності алюмінієвих сплавів, зазвичай, досягаються, коли застосовують операцію штучного старіння [1]. Якщо таку операцію виконують через годину після гартування, то в металі спостерігається незначне зниження рівня зазначених характеристик міцності та зростання показника пластичності. Збільшення часового інтервалу між проведенням операції гартування та штучного старіння не дозволяє отримати необхідний рівень концентрації легуючих елементів, а значить, й відповідних механічних властивостей. Тому метою даної роботи є визначення ефективності зазначених операцій термообробки на основі вивчення структури та механічних властивостей сплаву В1341 в стані природного старіння (Т) та його зварних з'єднань, отриманих ручним зварюванням неплавким електродом.

Методика дослідження. Листові заготовки сплаву В1341Т товщиною 1,2 мм перед зварюванням хімічно оброблялися за традиційною методикою підготовки [5]. Торець заготовок механічно зачищали шабером на глибину не менше 0,1мм. Ручне зварювання дугою стикових швів виконували вздовж прокату листового напівфабрикату різнополярним струмом синусоїдальної форми з використанням обладнання фірми «Fronius». Для формування з'єднання використовували присадний дріт марки Зв1217 діаметром 1,2 мм, який забезпечує високий коефіцієнт конструкційної міцності з'єднань [6].

Якість швів контролювали [7] за зовнішнім виглядом технологічного посилення та результатами рентгенографії (ГОСТ 7512-89), отриманими на установці РАП-150/300. Щільність металу шва визначали на приладі «Денситометр». Результати контролю дозволили вибрати оптимальні режими зварювання, за яких не утворюються грубих дефектів типу тріщин, непроварів, пор тощо. Як показав аналіз зварних стиків, найбільш якісні шви отримували за режимом: $I_{св} = 54...56$ А, $U_{д} = 11,0...12,4$ В.

Термічну обробку дослідних зразків основного металу сплаву В1341 та його зварних з'єднань проводили за найбільш поширеними у виробництві технологічними варіантами, а саме, шляхом виконання штучного старіння за режимом $T = 190 \pm 5$ °С протягом 12 год., а також при проведенні повної термообробки, яка включала операцію гартування ($T = 525 \pm 5$ °С протягом 30 хв.) з охолодженням у воді кімнатної температури для фіксації дисперсних розмірів твердого розчину. Виконання подальшого штучного старіння відбувалося за зазначеним вище режимом. Частину зразків з'єднань вивчали у стані після зварювання.

Кількісну оцінку характеру зміни показників міцності та пластичності основного металу та зварних з'єднань сплаву В1341 в залежності від досліджуваних режимів термічної обробки визначали на універсальній машині ЦД-4 зі шкалою 2т за результатами механічних стандартних випробувань в умовах розтягу. Для встановлення значень міцності основного металу та з'єднань були задіяні плоскі зразки типу XIII (ГОСТ 6996-66). Зразки зварних з'єднань мали технологічне посилення на лицевій поверхні стику та корінь шва. Навантаження зразка при випробуванні було рівномірним по всій його робочій частині у відповідності до вимог ГОСТ 1497-84. Деформаційну здатність основного металу та його зварних з'єднань аналізували, використовуючи технологічний показник – кут згину (α), який отримували в умовах триточкового згину з прикладанням навантаження зі сторони кореня шва після його зачищення.

З метою оптимізації режимів зварювання сплаву В1341Т та оцінки впливу термічної обробки його з'єднань вивчали особливості їх макроструктури на шліфах, вирізаних поперечно відносно осі швів, після хімічного травлення зразків у відповідному розчині. Особливості мікроструктури основного металу та різних ділянок швів та зони термічного впливу виявляли за допомогою електролітичного полірування шліфів у розчині: 930 мл $CH_3COOH + 70$ мл $HClO_4$.



Рис. 1. Мікроструктура ($\times 320$) основного металу сплаву В1341 у стані гартування та природного старіння (а), після штучного старіння (б) та після повної термічної обробки (гартування та штучного старіння) (в)

Результати дослідження. Результати дослідження особливостей мікроструктури основного металу сплаву В1341 при різних операціях термообробки надано на рис. 1. Згідно даних металографічного аналізу встановлено, що мікроструктура сплаву в стані «гартування + природне старіння» складається з насиченого твердого розчину, виділень фази та грубих включень нерозчинних інтерметалідів (рис. 1, а). Згідно з діаграмою стану системи Al–Mg–Si–Cu–Fe в рівновазі з твердим розчином також можуть знаходитися як подвійні фази (Mg_2Si , $FeAl_3$, Mg_5Al_8), так і потрійні фази – $SiCuAl_2$, $CuFeAl_5$, $CuMgAl_2$, $FeSiAl_5$, $FeMg_3Si_6$. Після штучного старіння в структурі спостерігається зростання кількості виділень фаз на границях зерен (рис. 1, б). Також збільшується протяжність нерозчинних інтерметалідних фаз внаслідок їх об'єднання, що викликає зростання рівня міцності основного металу (табл. 1). Метастабільна рівновага відносно до твердого розчину викликає в процесі штучного старіння покращення всіх механічних властивостей сплаву В1341Т, включаючи показники пластичності. Проведення повної термічної обробки металу, яка включає «гартування + штучне старіння», викликає утворення структурних складових з меншими геометричними розмірами (рис. 1, в). Згідно даних роботи [2], наявність в сплаві незначної кількості добавок міді (0,3 %) сприяє обмеженню виділень зон Гінье–Пресстона (ГП) в структурі сплаву.

Розглянемо вплив структурного стану сплаву В1341 після різних видів термічної обробки на характер зміни механічних властивостей (табл. 1). Аналіз отриманих результатів показує, що міцність та межа плинності сплаву у стані «гартування + природне старіння» (Т) становить 250,5 та 187,6 МПа. Показник відносного подовження при цьому складає 18,9 %, кут згину – 180°.

Після виконання операції штучного старіння сплаву спостерігається зростання рівня міцності та межі плинності до значень 335,7 та 313,3 МПа, але при цьому знижується до 9,5 % значення відносного подовження. Деформаційна здатність (кут згину) металу не змінюється (180°).

В разі проведення повного циклу термічної обробки (гартування + штучне старіння) у спла-

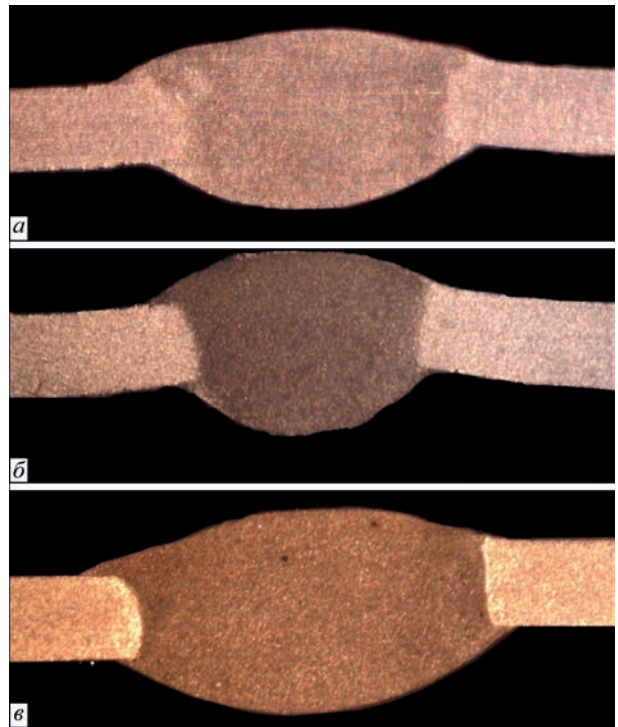


Рис. 2. Макроструктура ($\times 20$) зварних з'єднань сплаву В1341Т системи легування Al–Mg–Cu–Si після зварювання (а), штучного старіння (б) та повного циклу термообробки (в) ві фіксується незначне (до 321,1 та 282,0 МПа) зниження рівня міцності та плинності. Показник відносного подовження становить 10,7 %, а кут згину зменшується до 158°. Характер зміни механічних властивостей основного металу може бути пов'язаний з особливостями розпаду пересиченого твердого розчину у відповідних умовах виділення включень вздовж границь зерен, а також високодисперсного твердіння металу, які забезпечують необхідний комплекс механічних показників даного сплаву [8].

Металографічний аналіз макроструктури з'єднань сплаву В1341Т у різних зонах: шві, зоні його сплавлення з основним металом та в зоні термічного впливу (рис. 2) показав, що шви характеризуються високою якістю, оскільки структура в об'ємі швів однорідна та має дрібну дендритну будову, а грубі дефекти відсутні. В зоні біля шва у з'єднань в стані після зварювання можна спостерігати три ділянки різного ступеня травлення, що відображає вплив термічного циклу зварювання на структуру металу. Після штучного старіння зразків зварних з'єднань ця зона вздовж всієї її довжини має більш світле забарвлення поверхні, яка контрастує з поверхнею швів. Проведення гартування та штучного старіння (повного циклу термічної обробки з'єднань) призводить до більш контрастного забарвлення металу зони термічного впливу, що свідчить про зміну параме-

Таблиця 1. Вплив видів термічної обробки на механічні властивості основного металу сплаву В1341

Стан	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	α , град.
Гартування + природне старіння	250,1...250,8	187,0...188,41	18,7...19,0	180
	250,5	187,6	18,9	
Штучне старіння	333,8...337,3	310,1...316,4	8,5...10,0	180
	335,7	313,3	9,5	
Гартування + штучне старіння	320,1...332,1	281,8...282,2	10,4...11,4	136...180
	332,1	282,0	10,7	

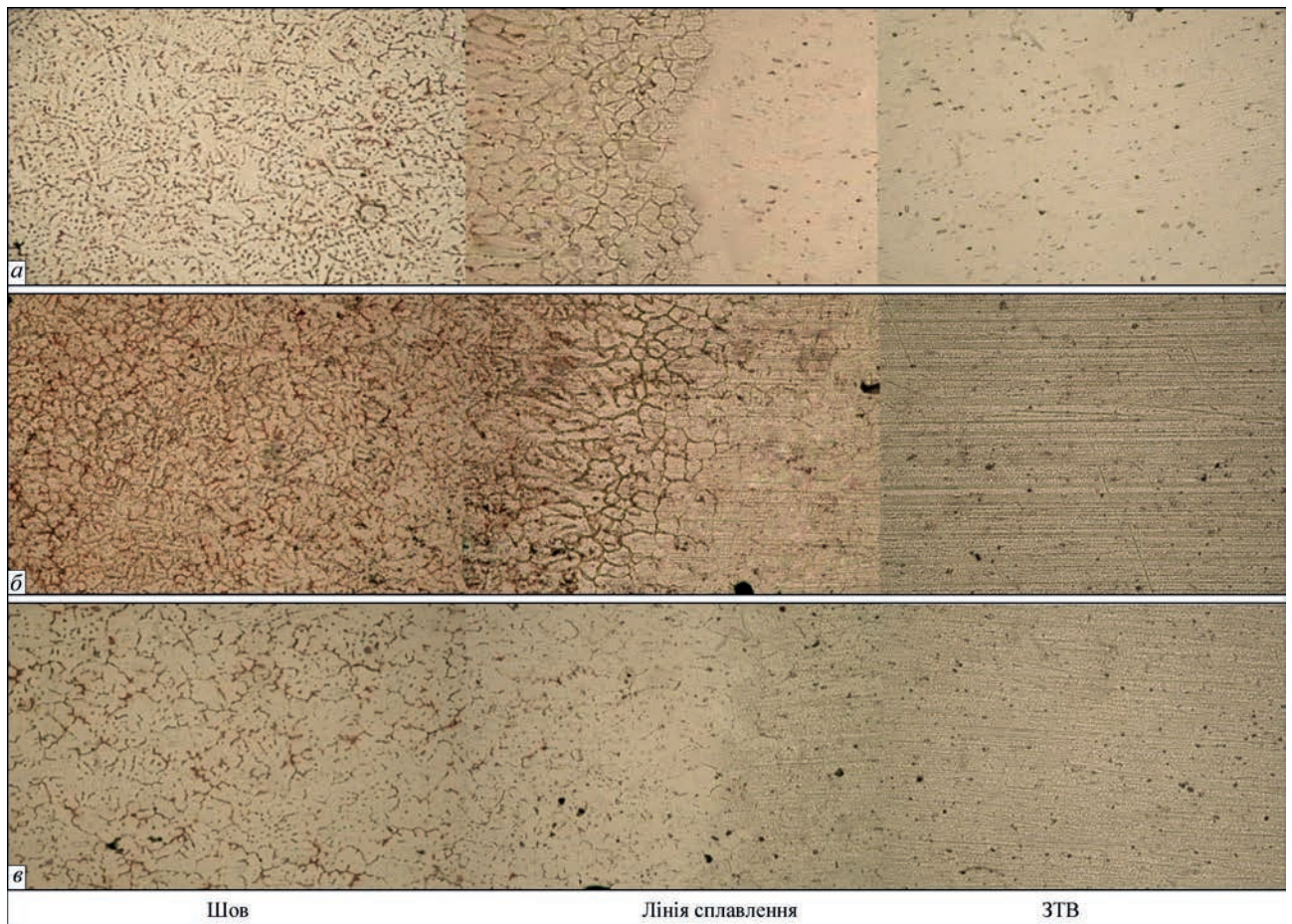


Рис. 3. Мікроструктура ($\times 320$) зварних з'єднань сплаву B1341T, отриманих ручним способом після зварювання (а), штучного старіння (б) та повної термічної обробки (в)

трів структурних складових (розмірів зерен, прошарків між ними, фазових включень тощо) в цих ділянках під дією технологічного нагрівання.

Виконання процесу зварювання сплаву B1341 дугою змінює картину мікроструктури в зоні з'єднання порівняно зі структурою основного металу (рис. 3). Характер виділення або розчинення фаз, які при цьому утворюються на різних ділянках основного металу відносно вісі шва, їх об'єми зумовлені градієнтом температури в шві, зоні сплавлення та зоні термічного впливу. Їх аналіз свідчить, що внаслідок дії термічного циклу зварювання відбувається розпад пересиченого твердого розчину. Він супроводжується розчиненням раніше утворених зміцнюючих фаз, виділенням нових фаз і коагуляцією включень нерозчинних інтерметалідних фаз. Граничні ділянки при цьому збагачуються легуючими елементами, а об'єм – збіднюється.

Структура швів має характерне розташування фаз та складається з дрібних дендритів. Грубих дефектів і несучільностей в об'ємі швів не спостерігається. Згідно даних аналізу мікроструктури швів кристаліти відрізняються поміж собою за формою та направленням. Вони мають типову чарунково-дендритну структуру, притаманну литому ста-

ну металу (рис. 3, а). Між кристалітами спостерігається значна кількість метастабільних фаз, які розташовані рівномірно по перетину. Це зумовлено складним характером легування, тобто наявністю різноманітних основних легуючих елементів і домішок. Вони відрізняються розміром і формою. Вздовж границь кристалітів утворюються тонкі евтектичні прошарки. Також спостерігається укрупнення інтерметалідних фаз шляхом їх об'єднання.

Поблизу границі сплавлення, де відбувається перший етап кристалізації, структура переважно дрібнокристалічна. Процеси тепловідводу та кристалізаційного переохолодження, які протікають у зварювальній ванні під час охолодження металу та його кристалізації, сприяють формуванню зони стовпчастих кристалітів, які переважно зорієнтовані до напрямку дії вектору ізотерм плавлення. Зі сторони основного металу спостерігається наявність оплавлених границь зерна.

Мікроструктура шва на границі його сплавлення з основним металом характеризується наявністю оплавлених границь зерен, які утворилися в умовах зварювального нагрівання. Це супроводжується потовщенням границь, як наслідок контактного плавлення зерен між собою та евтектичною фазою Mg_2Si , що розташована вздовж гра-

Таблиця 2. Механічні властивості зварних з'єднань сплаву В1341Т ($\delta = 1,2$ мм) після ручного аргонодугового зварювання та різних видів термічної обробки

Стан зварного з'єднання після проведення	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	α , град.	$K = \sigma_B^{33} / \sigma_B^{OM}$
Зварювання	$\frac{208,2...208,0}{208,7}$	$\frac{131,6...147,8}{147,5}$	$\frac{4,6...5,4}{5,1}$	$\frac{45...66}{56}$	0,83
Штучного старіння	$\frac{248,4...274,0}{257,6}$	$\frac{198,3...231,7}{215,5}$	$\frac{1,4...2,8}{1,9}$	$\frac{20...46}{30}$	0,77
Гартування та штучного старіння	$\frac{297,0...301,9}{299,6}$	$\frac{213,8...265,5}{241,5}$	$\frac{6,4...7,1}{6,9}$	$\frac{20...50}{32}$	0,93

ниць зерен, в умовах зварювання. В ЗТВ у металі спостерігається огрубіння структури, яке зумовлено зростанням розмірів зерна та коагуляцією включень нерозчинних фаз.

Зі сторони основного металу в зоні сплавлення в умовах термічного циклу зварювання відбувається розпад пересиченого твердого розчину. Він супроводжується процесами одночасного виділення та розчинення раніш утворених зміцнюючих фаз, а також коагуляцією нерозчинних інтерметалідних фаз, які попадають в структуру сплаву на етапі металургійного виробництва [3]. Взаємодія приграничних включень інтерметалідів з твердим розчином викликає появу рідких прошарків легкоплавкої евтектики вздовж границь зерен. В ЗТВ під дією термічного циклу зварювання відбуваються структурні перетворення, повне або часткове зниження ефекту зміцнення після природного старіння, локальний відпал та гартування окремих ділянок даної зони з'єднань.

Після штучного старіння зразків зварних з'єднань в структурі швів спостерігається її зміна, яка відбувається в результаті розпаду твердого розчину, виділення додаткових фаз та їх дисперсного твердіння (рис. 3, б). Це призводить до зростання щільності фаз, їх об'ємної долі, що супроводжується потовщенням границь кристалітів шва та зерна в ЗТВ внаслідок можливого контактного їх плавлення між собою та евтектичною фазою Mg_2Si , оскільки вона розташована біля їх границь. В металі ЗТВ відбувається збільшення розмірів зерен і коагуляція включень нерозчинних фаз, що притаманно всім алюмінієвим сплавам після зварювання дугою [5].

Проведення повного циклу термічної обробки викликає формування більш однорідного характеру розподілу фазових виділень з матриці (рис. 3, в). При цьому і форма, і розміри фаз змінюються як біля кристалітів шва, так і зерен основного металу. Вони є більш дисперсними. Це зумовлено швидкою фіксацією структурних складових після гартування, форма та дисперсні розміри яких при подальшому штучному старінні зберігаються. Крім того, відмічається потовщення границь кристалітів та зерен, зокрема в зоні сплавлення шва з основним

металом, але розміри товщини менші, ніж в структурі після штучного старіння.

Результати випробувань зразків зварних з'єднань сплаву В1341Т в умовах одновісного розтягу та триточкового згину показують, що рівень механічних властивостей безпосередньо залежить від характеру розташування структурних складових внаслідок перетворень, які протікають в металі в процесі зварювання та термічної обробки (табл. 2).

Порівняно з показниками основного металу в аналогічному термообробленому стані рівень механічних характеристик з'єднань дещо

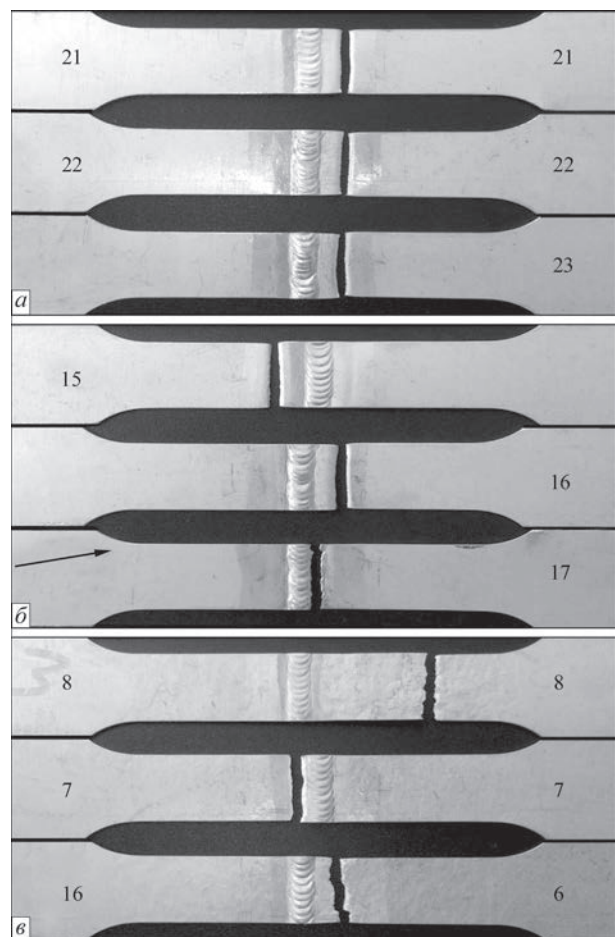


Рис. 4. Характер руйнування зварних з'єднань сплаву В1341Т, отриманих ручним аргонодуговим зварюванням неплavким електродом, в залежності від виду термічної обробки: а – після зварювання; б – після штучного старіння; в – після повного циклу термічної обробки

нижчий. Коефіцієнт їх міцності у зразках у стані після зварювання, які були випробувані з проплавом і технологічним посиленням шва в середньому складають 0,83 % відносно рівня міцності основного металу та становлять в середньому 208,7 МПа. Значення межі плинності знаходиться на рівні 147,5 МПа. Показники пластичності при цьому дорівнюють: відносне подовження – 5,1 %, кут згину – 56°. Руйнування зразків таких з'єднань відбувається на ділянці ЗТВ основного металу на відстані 4...5 мм від лінії сплавлення (рис. 4, а).

Зростання значень рівня міцності та плинності до 257,6 та 215,5 МПа спостерігається у зварних з'єднаннях після штучного старіння. Коефіцієнт міцності з'єднань може досягати в середньому 0,77. Показник відносного подовження при цьому дорівнює 1,9 %, що майже в 2...3 рази менше, ніж у основного металу в аналогічному стані. Величина кута згину з'єднань в середньому становить 30°. Руйнування зразків таких зварних з'єднань відбувається як по границі сплавлення шва з основним металом, так й в ЗТВ на відстані 5 мм від границі (рис. 4, б). Перше може бути спричинено перегріванням металу при виконанні ручного зварювання. Друге – значною кількістю фаз, які виділяються з твердого розчину в умовах штучного старіння, а також коагуляцією грубих часток інтерметалевих фаз. Вони разом утворюють в зоні сплавлення шва з основним металом суцільну сітку навколо зерен (рис. 3, б). Її наявність викликає різке зниження показників пластичності (табл. 2). Відмічений факт необхідно враховувати під час вибору операцій термічної обробки зварних з'єднань сплаву В1341Т.

Після повного циклу термічної обробки (гартування + штучне старіння) міцність зварних з'єднань становить майже 300 МПа, а плинності – 265,5 МПа. Коефіцієнт міцності таких з'єднань складає 0,93 від рівня основного металу. Величина відносного подовження хоча вдвічі менша, ніж у основного металу, але залишається на рівні 6,9 %. Кут згину становить 32°. Характер руйнування зразків такий самий, як і в попередньому випадку, тобто неоднаковий (рис. 4, в). Деякі зразки руйнуються вздовж границі сплавлення, а інші – на ділянках основного металу в ЗТВ, де під час термічного циклу зварювання відбувався відпал металу зварних з'єднань. Встановлений факт також може бути пов'язаний як з якістю основного металу, так й зі стабільністю виконання ручного зварювання.

Таким чином, різні види термічної обробки не однозначно впливають на стан металу зварних з'єднань сплаву В1341Т. Найбільший ефект здійснює технологія термічної обробки, яка включає гартування та штучне старіння з'єднань сплаву. Її режим дозволяє отримати структуру металу, за

якою підвищується рівень міцності при збереженні порівняно з режимами тільки штучного старіння. Це зумовлено розмірами фазових виділень та їх щільністю в металі, що впливає на рівень напруження в структурі. Наявність більш дрібних фаз, які мають однорідний характер розташування в об'ємі біля кристалітів шва та зерен основного металу, сприяють рівномірній деформації і не викликають локалізацію напруження на їх границях. Отже, повний цикл термічної обробки являється ефективним засобом для покращення структури і механічних властивостей сплаву В1341Т та його зварних з'єднань, включаючи показники пластичності – відносне подовження та кут згину.

Висновки

1. Результати дослідження структури сплаву В1341 товщиною 1,2 мм показують, що чутливість металу до видів термічної обробки визначає рівень його механічних властивостей.

2. Встановлено, що при використанні присадного дроту марки Зв1217 в процесі ручного зварювання сплаву В1341Т неплавким електродом відбувається якісне формування швів. Рівень показників їх міцності та плинності після зварювання дорівнює 208,7 та 147,5 МПа, відповідно. Значення відносного подовження становить 5,1 %. Коефіцієнт міцності складає 0,83 відносно значень основного металу в стані гартування та природного старіння.

3. Проведення штучного старіння зразків зварних з'єднань сплаву В1341Т підвищує рівень міцності та межі плинності з'єднань в середньому на 60,0...70,0 МПа та складає 257,6 та 215,5 МПа, відповідно. Показник відносного подовження при цьому дорівнює 1,9 %, що майже в 5 раз менше, ніж у основного металу в аналогічному стані. Значення кута згину зварних з'єднань дорівнює в середньому 30°. Це пов'язано зі значною кількістю фаз, які виділяються вздовж границь зерен в умовах штучного старіння, а також укрупненням (коагуляцією) грубих часток нерозчинних інтерметалідних фаз. Разом вони утворюють суцільну сітку навколо зерен і знижують показники пластичності. Руйнування зразків зварних з'єднань відбувається як на границі сплавлення шва з основним металом, так й в ЗТВ на відстані 5 мм від неї.

4. Здійснення повного циклу термічної обробки зварних з'єднань сплаву В1341Т сприяє зростанню рівня міцності на 80...90 МПа порівняно зі станом після зварювання. В середньому це дорівнює 299,6 МПа. Показник межі плинності при цьому становить 241,5 МПа. Значення показників пластичності (відносного подовження та кута згину) з'єднань складають 6,9 % та 32°, відповідно.

5. Встановлено, що для забезпечення в промислових умовах належного рівня механічних властивостей зварних з'єднань сплаву В1341Т в конструкціях доцільно використовувати повний цикл термічної обробки, яка включає гартування та штучне старіння. Її режими не викликають умов, за яких відбуваються грубі зміни структури та окрихчення металу, особливо в зоні сплавлення шва з основним металом.

Список літератури

1. Ищенко А.Я., Лабур Т.М. (2013) *Сварка современных конструкций из алюминиевых сплавов*. Киев, Наукова думка.
2. Клочков Г.Г., Грушко О.Е., Попов В.И. и др. (2001) Структура, технологические свойства и свариваемость листов из сплава В1341Т системы Al–Mg–Cu. *Авиационные материалы и технологии*, **1**, 3–8.
3. Фридляндер И.Н., Грушко О.Е., Шевелева Л.М. (2004) Свойства листов из высокотехнологического сплава В1341. *Металловедение и термическая обработка металлов*, **12**, 3–6.
4. Кривов Г.А. (1997) *Технология самолетостроительного производства*. Киев, КВЦ.
5. Рабкин Д.М., Лозовская А.В., Склабинская И.Е. (1992) *Металловедение сварки алюминия и его сплавов*. Киев, Наукова думка.
6. Коваль В.А., Лабур Т.М., Яворська М.Р. (2020) Властивості з'єднань алюмінієвого сплаву марки В1341Т в умовах ТІГ зварювання. *Автоматичне зварювання*, **2**, 38–43.
7. ДСТУ ENISO 10042:2015 (ENISO 10042:2005, IDT; ISO 10042:2005, IDT) *Зварювання. З'єднання з алюмінію та*

його сплавів, виконані дуговим зварюванням. Рівні якості залежно від дефектів.

8. Шамрай В.Ф., Гуменников А.Н., Овчинников В.В. и др. (2008) Механические и коррозионные свойства холоднокатанных листов сплава системы Al–Mn. *Металловедение и термическая обработка*, **3**, 633, 28–30.

References

1. Ishchenko, A.Ya., Labur, T.M. (2013) *Welding of modern structures from aluminium alloys*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
2. Klochkov, G.G., Grushko, O.E., Popov, V.I. et al. (2001) Structure, technological properties and weldability of V1341T alloy sheets of Al–Mg–Cu system. *Aviats. Materialy i Tekhnologii*, **1**, 3–8 [in Russian].
3. Fridlyander, I.N., Grushko, O.E., Sheveleva, L.M. (2004) Properties of sheets from advanced alloy V1341. *Metallovedenie i Termich. Obrab. Metallov*, **12**, 3–6 [in Russian].
4. Krivov, G.A. (1997) *Technology of aircraft construction*. Kiev, KVITs [in Russian].
5. Rabkin, D.M., Lozovskaya, A.V., Sklabinskaya, I.E. (1992) *Metals science of welding of aluminium and its alloys*. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
6. Koval, V.A., Labur, T.M., Yavorska, T.R. (2020) Properties of joints of V1341T grade alloy under the conditions of TIG welding. *The Paton Welding J.*, **2**, 35–40.
7. DSTU ENISO 10042:2015 (ENISO 10042:2005, IDT; ISO 10042:2005, IDT): *Welding - Arc-welded joints in aluminium and its alloys - Quality levels for imperfections* [in Ukrainian].
8. Shamraj, V.F., Gumennikov, A.N., Ovchinnikov, V.V. et al. (2008) Mechanical and corrosion properties of cold-rolled sheets of Al–Mn system alloy. *Metallovedenie i Termich. Obrab. Metallov*, **3**, 28–30 [in Russian].

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF SHEET ALUMINIUM ALLOY V1341 AND ITS WELDED JOINTS PRODUCED BY TIG WELDING

Labur T.M., Javorska M.R., Koval V.A.

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 gives the results of studying the effect of various heat treatment operations on the structure and mechanical properties of the base metal and welded joints of sheet aluminium alloy of V1341 grade 1.2 mm thick, produced by manual nonconsumable electrode argon-arc welding. The dependence is established between the structural state of the metal of welded joints of this alloy on the kind of heat treatment that affects the level of strength and ductility. A significant effect of improvement of the structure and mechanical properties is achieved, when conducting complete heat treatment, which includes quenching and artificial ageing of the alloy and its joints. Compared to artificial ageing modes, this kind of heat treatment allows producing a stable metal structure, characterized by smaller dimensions of phase precipitates and inclusions, that promotes increase of the strength level, under the condition of preservation of the ductility values. 8 Ref., 2 Tab., 4 Fig.

Keywords: aluminium alloy, manual nonconsumable electrode argon-arc welding, filler wire, welded joints, heat treatment, structure, mechanical properties, investigations

Надійшла до редакції
08.07.2020

Х Міжнародна конференція
«Математичне моделювання
та інформаційні технології в зварюванні
та споріднених процесах»
Україна, Одеса, готель «Аркадія»
14 – 18 вересня 2020 р.
<http://pwi-scientists.com/ukr/mmi2020>

XXIII Міжнародна конференція
«Неруйнівний контроль та
моніторинг технічного стану»
Україна, Одеса, готель «Аркадія»
14 – 18 вересня 2020 р.
<http://pwi-scientists.com/ukr/nktd2020>