

ВЛАСТИВОСТІ СТИКОВИХ З'ЄДНАНЬ ТОНКОЛИСТОВОГО АЛЮМІНІЄВО-ЛІТІЄВОГО СПЛАВУ 1460, ОТРИМАНИХ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ ТА TIG

А.Г. Покляцький, С.І. Мотруніч, О.С. Кушнар'ова

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

У статті проаналізовані структурні особливості, характеристики міцності та довговічності стикових з'єднань алюмінієво-літійового сплаву 1460 товщиною 2 мм, отриманих зварюванням тертям з перемішуванням та аргонодуговим зварюванням неплавким електродом в аргоні. Показано, що зварювання тертям з перемішуванням запобігає утворенню великодендритної структури швів, забезпечує формування нероз'ємних з'єднань з мінімальним рівнем концентрації напружень у місцях переходу від шва до основного матеріалу та дозволяє уникнути в швах дефектів у вигляді пор, макровключень оксидної плівки та гарячих тріщин, обумовлених розплавленням і кристалізацією металу при зварюванні плавленням. Бібліогр. 16, рис. 7.

Ключові слова: алюмінієво-літійовий сплав 1460, зварювання тертям з перемішуванням, твердість, дефекти, мікроструктура, межа міцності, опір втомі, тонка структура

Легкі, міцні та стійкі до корозії алюмінієво-літійові сплави мають низьку густину і високий модуль пружності, що дозволяє широко використовувати їх при створенні авіаційної та ракетно-космічної техніки. До найбільш високоміцних (>500 МПа при густині 2,6 г/см³) належить сплав 1460 системи легування Al-Cu-Li (номінальний склад 3 % Cu; 2 % Li) з добавками цирконію та скандію. Одночасне збільшення показників міцності та пластичності цього сплаву при наднизьких температурах робить його перспективним для виготовлення зварних криогенних баків [1–3]. Для отримання нероз'ємних з'єднань у більшості випадків застосовують різні способи зварювання плавленням. При цьому зварний шов утворюється внаслідок розплавлення певного об'єму з'єднаних матеріалів і присадного дроту в загальній зварювальній ванні та їх кристалізації. Це призводить до значних структурних перетворень як в металі шва, так і на прилеглих до нього ділянках основного матеріалу, а також утворення характерних дефектів у вигляді пор, макровключень оксидних плівок і гарячих кристалізаційних тріщин. Тому межа міцності таких зварних з'єднань у більшості випадків не перевищує 70 % від цього показника для основного матеріалу [4, 5].

При зварюванні тертям з перемішуванням (ЗТП) формування шва відбувається у твердій фазі внаслідок нагрівання невеликого об'єму металу до пластичного стану за рахунок тертя та перемішування його по всій товщині зварюваних кромок робочими поверхнями спеціального інструмента. Завдяки цьому вдається уникнути проблем, обумовлених розплавленням і кристаліза-

цією металу, та максимально зберегти у зварних вузлах властивості напівфабрикатів, які застосовуються при їх виготовленні [6, 7]. Серед основних переваг процесу ЗТП у порівнянні зі зварюванням плавленням відмічають формування дрібнокристалічної структури швів та повне збереження у них легуючих елементів, відсутність пор, оксидних включень і гарячих тріщин, зменшення ступеня розміщення металу в зоні зварювання та рівня залишкових напружень і деформацій у з'єднаннях, а також підвищення їх межі міцності при статичному розтягуванні й опору втомі при циклічних навантаженнях [8–11].

Мета даної роботи – оцінити переваги процесу ЗТП над аргонодуговим зварюванням неплавким електродом (АДЗНЕ) при отриманні стикових з'єднань тонколистового алюмінієво-літійового сплаву 1460.

Для досліджень використовували листи алюмінієво-літійового сплаву 1460 товщиною 2 мм. Стикові з'єднання отримували аргонодуговим зварюванням неплавким електродом в аргоні зі швидкістю 20 м/год на струмі 145 А за допомогою зварювальної установки MW-450 («Fronius», Австрія) з використанням присадного дроту Sv1201 діаметром 1,6 мм. ЗТП здійснювали на розробленій в ІЕЗ ім. Є.О. Патона лабораторній установці, використовуючи спеціальний інструмент з конічним наконечником і діаметром бурта 12 мм [12], швидкість обертання якого становила 1420 об/хв, а швидкість лінійного переміщення 14 м/год. З отриманих зварних з'єднань виготовляли шліфи для дослідження структурних особливостей швів і зразки з шириною робочої частини 15 мм для ви-

Покляцький А.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-4101-2206>, Мотруніч С.І. – <https://orcid.org/0000-0002-8841-8609>, Кушнар'ова О.С. – <https://orcid.org/0000-0002-2125-1795>

© А.Г. Покляцький, С.І. Мотруніч, О.С. Кушнар'ова, 2021

значення їх межі міцності при одноосному розтягуванні відповідно до ДСТУ EN ISO 4136х. Зразки, отримані АДЗНЕ в аргоні, випробовували як зі знятими до рівня основного матеріалу проплавами, так і з додатково зачищеними підсиленнями швів. Ширина робочої частини зразків для визначення опору втомі становила 25 мм. Механічні випробування зразків здійснювали на універсальному сервогідролічному комплексі MTS 318.25. Циклічні випробування проводили при осьовому регулярному навантаженні з коефіцієнтом асиметрії циклу навантажень $R_{\sigma} = 0,1$ і частоті 15 Гц до повного руйнування зразків. За однакових умов випробовували 5...7 однотипних зразків. Експериментальні дані випробувань на втому оброблялися методами лінійного регресивного аналізу, типовими для такого виду випробувань. За отриманими результатами для кожної серії зразків на основі встановлених границь обмеженої витривалості будувалася відповідна крива втомі – лінія регресії експериментальних даних в координатах $2\sigma_a - \lg N$. Твердість металу вимірювали на лицьовій поверхні зачищених з'єднань. Ступінь розміцнення металу в зоні зварювання оцінювали на приладі «ROCKWELL» при навантаженні $P = 600$ Н. Оцінку структурних особливостей зварних з'єднань здійснювали з використанням оптичної (МІМ-8) та просвічуючої мікродифракційної електронної мікроскопії (JEM-200CX). Тонкі фольги для «просвічування» готували двошступінчатим методом – попереднім електрополіруванням та наступним багаторазовим іонним потоншенням іонізованими потоками аргону в спеціальній установці [13], що дозволило зробити

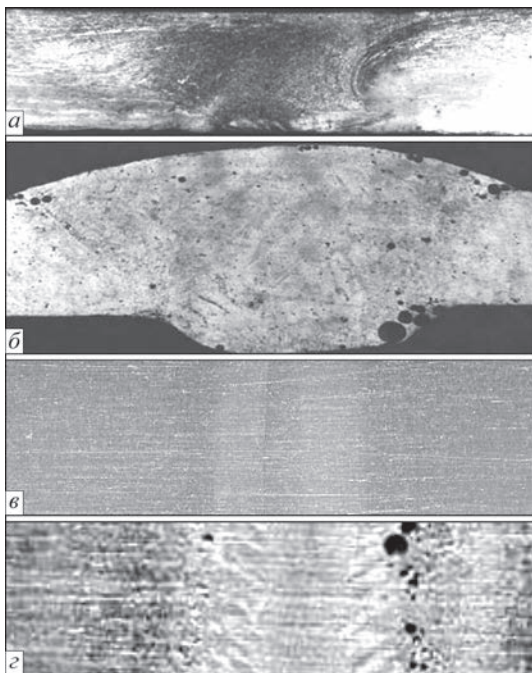


Рис. 1. Поперечні перерізи (а, б) і кореневі частини (в, г) швів сплаву 1460 товщиною 2 мм, отриманих ЗТП (а, в) та АДЗНЕ (б, г)

«прозорими» для електронів усі структурно-фазові складові досліджуваних швів.

В результаті проведених досліджень встановлено, що завдяки формуванню нероз'ємних з'єднань на підкладці без канавки і без використання присадного дроту отримані при ЗТП шви за формою та розмірами вигідно відрізняються від звариених плавленням (рис. 1). Відсутність проплавів і підсилень на таких швах дозволяє уникнути високих рівнів концентрації напружень у місцях переходу від шва до основного матеріалу, які негативно впливають на експлуатаційні та ресурсні характеристики зварних з'єднань.

Крім того, формування нероз'ємних з'єднань у твердій фазі без розплавлення основного матеріалу запобігає появі характерних для зварювання плавленням дефектів у вигляді пор (див. рис. 1, б, г). Відсутність в зоні зварювання розплавленого металу, в якому розчинність водню різко зростає, дозволяє уникнути додаткового насичення ним цієї зони в результаті міграції цього газу із прилеглих шарів металу. А перемішування й ущільнення зварюваного металу в зоні формування нероз'ємних з'єднань забезпечує отримання швів без пор.

Деформування та інтенсивне перемішування пластифікованого металу по всій товщині зварюваних кромок сприяє подрібненню оксидних плівок, які на них миттєво утворюються навіть після механічного видалення безпосередньо перед зварюванням. А відсутність розплавленого металу в зоні формування нероз'ємного з'єднання дозволяє уникнути його окислення в процесі зварювання. Тому у швах, отриманих ЗТП, відсутні дефекти у вигляді окремих чи протяжних [14, 15] макровключень оксидних плівок, характерних для швів, отриманих при АДЗНЕ алюмінієво-літійового сплаву 1460 (рис. 2).

Найбільш небезпечними та недопустимими дефектами для конструкцій відповідального призначення є гарячі тріщини, які доволі часто утворюються в процесі кристалізації розплавленого металу в місці накопичення легкоплавких евтектичних включень. При зварюванні алюмінієвих сплавів плавленням такі кристалізаційні тріщини можуть виникати як в металі шва, так і в зоні сплавлення його з основним матеріалом. Проведені дослідження показали, що при АДЗНЕ спеціальних зразків Хоулдрокфта, які дозволяють оцінювати гарячеламкість алюмінієвих сплавів при зварюванні плавленням, без використання присадного дроту гарячі тріщини утворюються в центральній частині швів (рис. 3). Звичайно, що при ЗТП таких зразків гарячі тріщини не можуть з'явитися, оскільки зварювання відбувається у твердій фазі, коли процеси плавлення та кристалізації металу повністю відсутні.

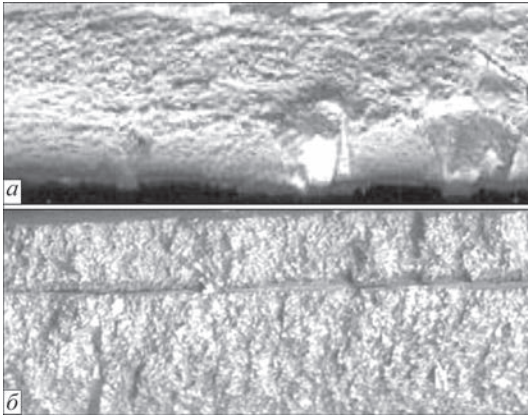


Рис. 2. Дефекти у вигляді характерних окремих (а) і протяжних (б) макровключень оксидних плівок на поздовжніх зламах швів сплаву 1460 товщиною 2 мм, отриманих АДЗНЕ

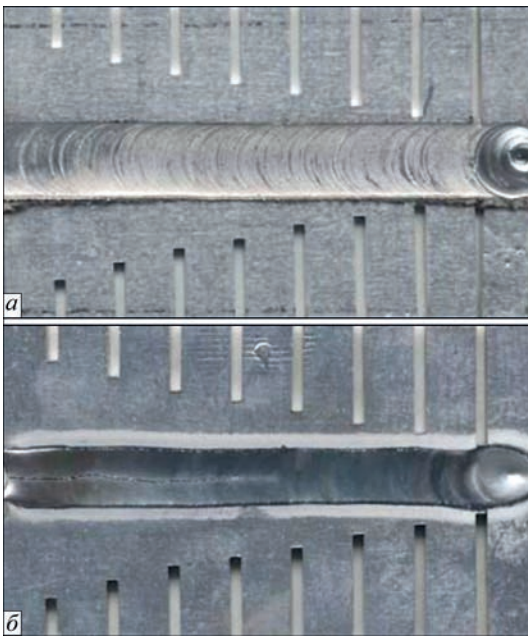


Рис. 3. Зразки Хюлдкрофта зі сплаву 1460 товщиною 2 мм, проварені ЗТП (а) та АДЗНЕ (б)

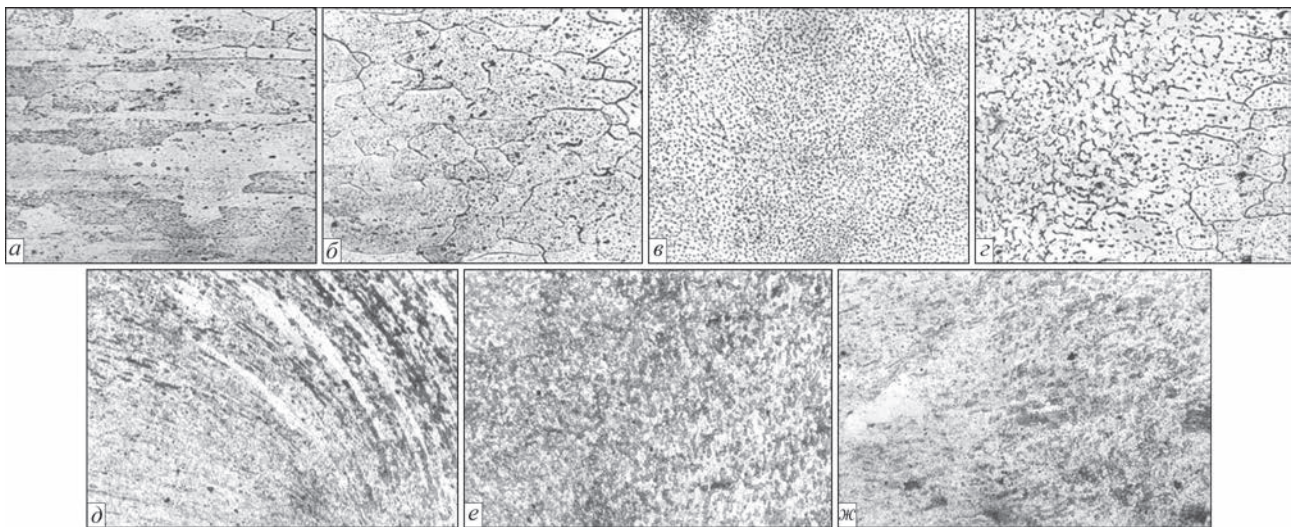


Рис. 4. Мікроструктура ($\times 400$) основного металу (а) і зварних з'єднань алюмінієво-літійового сплаву 1460 товщиною 2,0 мм, отриманих АДЗНЕ з використанням присадного дроту Св1201 (б, с – зони сплавлення шва з основним матеріалом, е – шов) та ЗТП (д – зона термомеханічного впливу зі сторони набігання інструмента, е – ядро шва, ж – зона термомеханічного впливу зі сторони його відходу)

Аналіз мікроструктури зварних з'єднань алюмінієво-літійового сплаву 1460, отриманих АДЗНЕ, показав, що метал шва має в основному дрібнокристалічну структуру з проявами на деяких його ділянках окремих фрагментів центрального кристаліта (рис. 4). Поблизу зони сплавлення шва з основним матеріалом у ньому спостерігається прошарок з дрібною субдендритною будовою (рис. 4, б–с). В зоні термічного впливу біля зони сплавлення шва з основним матеріалом наявні ділянки перегріву та рекристалізації. Протяжність зони опалення структурних складових складає близько 2,25 мм від границі сплавлення шва з основним матеріалом. У зоні термічного впливу найбільший розмір мають зерна, які безпосередньо прилягають до вищевказаної зони.

При зварюванні цього сплаву тертям з переміщенням у центральній частині (ядрі) шва внаслідок інтенсивної пластичної деформації металу утворюються дуже дрібні (3...5 мкм) рівноосні зерна (рис. 4 д, е, ж). У зоні термомеханічного впливу відбувається плавна зміна орієнтації зерен у напрямку переміщення робочих поверхонь інструмента. В результаті в ній формуються протяжні витягнуті зерна, орієнтовані вздовж цієї траєкторії, а також дрібні рівноосні зерна.

Аналіз тонкої структури металу швів, отриманих АДЗНЕ та ЗТП, показав, що в обох випадках відбувається формування двох типів фазових виділень. Одні з них (зернограничні фази або фази міжзеренного типу), які розміщуються вздовж міжзеренних границь, представляють собою евтектичні утворення (рис. 5). Інший вид фазових утворень – внутрішньозеренні фазові виділення або фази внутрішньозеренного типу. Спосіб зварювання суттєво впливає на розміри таких фазових виділень. Так, у швах, отриманих плавлен-

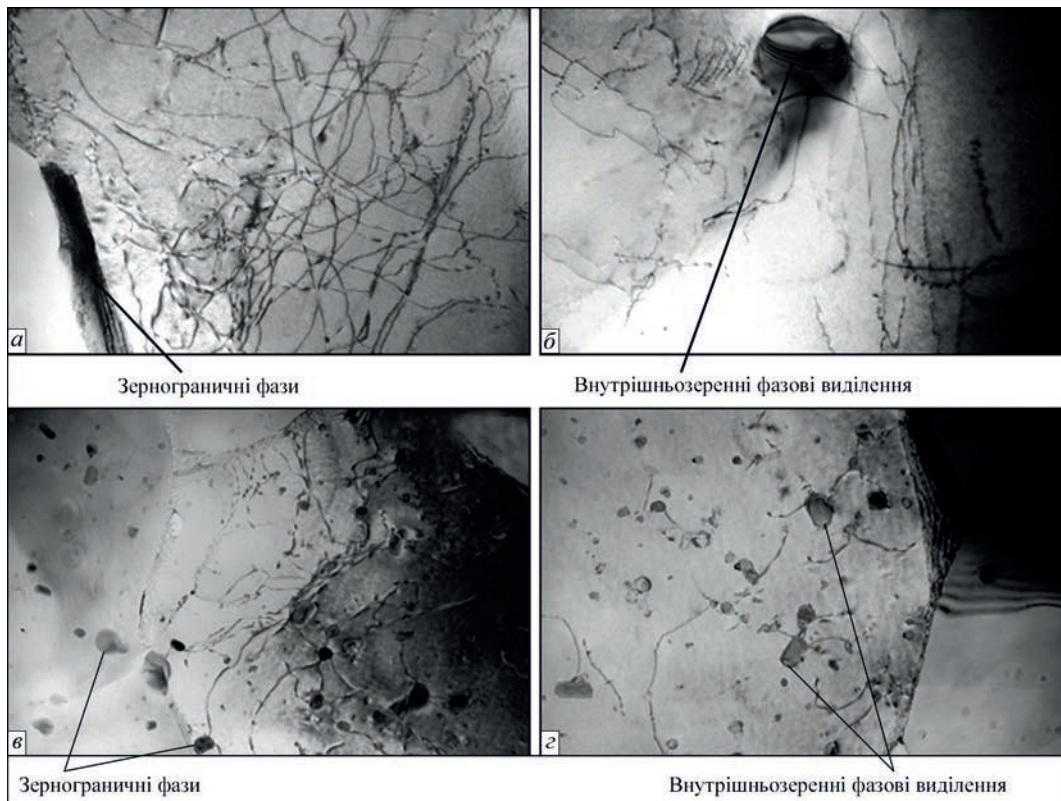


Рис. 5. Тонка структура металу шва алюмінієво-літєвого сплаву 1460, отриманого АДЗНЕ (а, б) та ЗТП (в, г) з характерними для цих способів отримання нероз'ємних з'єднань зернограничними фазами (а, в) та внутрішньозеренними фазовими виділеннями (б, г): а, б, г – 30000; в – 20000

ням, зернограничні фази можуть мати товщину до 0,2...0,5 мкм і доволі значну протяжність (до 2,0...2,5 мкм). Фази внутрішньозеренного типу відрізняються глобулярною формою і можуть у 6 разів перевищувати аналогічні виділення в основному матеріалі. У швах, зварених тертям з перемішуванням, розміри фазових виділень у 2,5...3,5 рази менші. При цьому спостерігається суттєве збільшення їх кількості при рівномірному розподілі як по внутрішньозеренних, так і по зернограничних об'ємах. Крім того, значна частина фазових виділень оточена навколофазною оболонкою, що може свідчити про інтенсивне легування локального навколофазного простору в об'ємах матричних зерен.

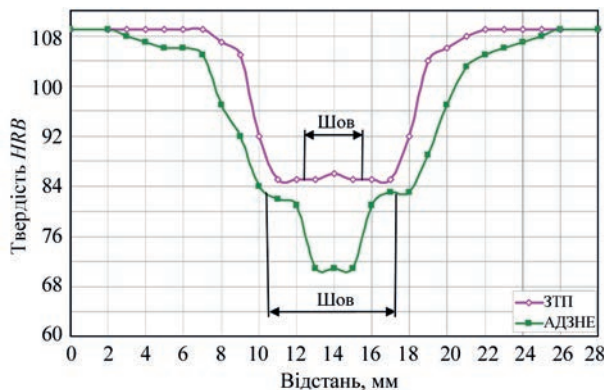


Рис. 6. Розподіл твердості у зварних з'єднаннях сплаву 1460 товщиною 2 мм, отриманих ЗТП та АДЗНЕ

Завдяки нижчій температурі нагрівання зварюваних кромок і формуванню дрібнокристалічної структури швів у процесі ЗТП ступінь розміщення металу менша, ніж при АДЗНЕ (рис. 6). Так, в результаті вимірювань твердості металу на різних ділянках зварних з'єднань встановлено, що мінімальна твердість металу шва, отриманого АДЗНЕ з використанням присадного дроту Св1201, становить HRB 71, а в зонах сплавлення його з основним матеріалом – HRB 82...83. Тоді як при ЗТП твердість металу у шві та зонах спряження його з основним матеріалом знаходиться на рівні HRB 85...86.

Тому при одноосному статичному розтягуванні зразки зварних з'єднань без підсилення шва, отримані АДЗНЕ з використанням присадного дроту Св1201, руйнуються по металу шва і мають найменшу (257 МПа) міцність. Руйнування зразків зварних з'єднань, отриманих ЗТП, відбувається в зоні термомеханічного впливу. При цьому їх межа міцності знаходиться на рівні 310 МПа, як і у зразків з підсиленням шва, виконаних АДЗНЕ, які руйнуються в зоні сплавлення шва з основним матеріалом.

Експериментально визначені криві втоми стикових з'єднань алюмінієво-літєвого сплаву 1460, отриманих ЗТП, свідчать про високі показники опору втомі таких з'єднань [16]. Границі обмеженої витривалості зразків з'єднань, виконаних ЗТП, алюмінієвого сплаву 1460Т1 при асиметрії ци-

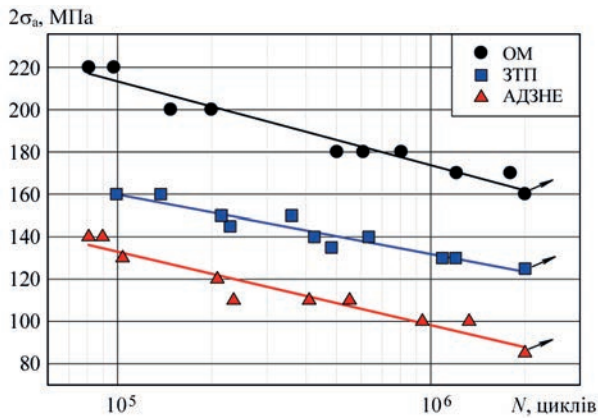


Рис. 7. Криві втоми основного металу та зварних з'єднань алюмінієво-літійового сплаву 1460 товщиною 2 мм при асиметрії циклу напружень $R_\sigma = 0,1$

клу напружень $R_\sigma = 0,1$ складають 75...77 % від відповідних показників основного металу у всій області довговічності $10^5...2 \cdot 10^6$ циклів змін напружень і для бази 10^5 та $2 \cdot 10^6$ складають 160 і 123 МПа відповідно (рис. 7). При цьому границя обмеженої витривалості на базі $2 \cdot 10^6$ циклів зміни напружень для з'єднань, отриманих АДЗНЕ, не перевищує 88 МПа, що на 28 % нижче аналогічного показника для з'єднань, отриманих ЗТП.

Висновки

1. Процес ЗТП забезпечує формування нероз'ємних з'єднань алюмінієво-літійового сплаву 1460 з мінімальним рівнем концентрації напружень у місцях переходу від шва до основного матеріалу та дозволяє запобігти утворенню у швах дефектів у вигляді пор, макровключень оксидних плівок і гарячих тріщин, характерних для АДЗНЕ і обумовлених розплавленням та кристалізацією металу.

2. Формування нероз'ємних з'єднань у твердій фазі дозволяє уникнути утворення литої великодендритної структури швів, притаманної процесам зварювання плавленням. При цьому навколо наконечника інструмента, де метал зазнає найбільшого термомеханічного впливу, внаслідок його інтенсивної пластичної деформації відбувається подрібнення зерен та утворення нової однорідної дезорієнтованої структури з розміром зерен у ядрі шва 3...5 мкм і диспергованими (0,06...0,40 мкм) евтектичними фазовими виділеннями. Поблизу ядра в зоні термомеханічного впливу утворюється комбінована, що містить дрібні рівноосні зерна і деформовані тонкі протяжні зерна, орієнтовані вздовж напрямку переміщення робочих поверхонь інструмента.

3. При ЗТП термічно зміцнюваного алюмінієво-літійового сплаву 1460 внаслідок термомеханічного впливу крім подрібнення зерен у зоні зварювання, яке сприяє підвищенню твердості металу, одночасно відбувається часткове виділення з пе-

ресиченого твердого розчину надлишкових фаз та їх коагуляція, в результаті чого твердість металу дещо знижується. Проте ступінь розміцнення металу в зоні формування нероз'ємного з'єднання при ЗТП значно менший, ніж при АДЗНЕ. Завдяки цьому межа міцності зразків зварних з'єднань, отриманих ЗТП, знаходиться на одному рівні з цим показником для зразків з підсиленням шва та на 20 % перевищує його для зразків без підсилення шва, отриманих АДЗНЕ з використанням присадного дроту Св1201.

4. В результаті експериментальних досліджень встановлено, що стикові з'єднання алюмінієво-літійового сплаву 1460, отримані ЗТП, мають високі показники опору втомі і можуть успішно застосовуватися в конструкціях, які експлуатуються в умовах змінних навантажень. Границі обмеженої витривалості зразків зварних з'єднань при асиметрії циклу напружень $R_\sigma = 0,1$ складають 75...77 % від відповідних показників основного металу у всій області довговічності $10^5...2 \cdot 10^6$ циклів змін напружень і для бази $2 \cdot 10^6$ складають 123 МПа.

Список літератури

- Братухин А.Г. (2003) *Современные авиационные материалы: технологические и функциональные особенности*. Москва, Авиатехинформ.
- Белецкий В.М., Кривов Г.А. (2005) *Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение)* Справочник. Фридляндер И.Н. (ред.). Киев, КОМИНТЕХ.
- (2002) *Авиационные материалы. Избранные труды «ВИАМ» 1932–2002. Юбилейный научно-технический сборник*. Каблов Е.Н. (ред.). Москва, МИСИС «ВИАМ», сс. 198–220.
- Рабкин Д.М., Лозовская А.В., Склабинская И.Е. (1992) *Металловедение сварки алюминия и его сплавов*. Замков В.Н. (ред.). Киев, Наукова думка. ISBN 5-12-002022-4.
- Машин В.С., Покляцкий А.Г., Федорчук В.Е. (2005) Механические свойства соединений алюминиевых сплавов при сварке плавящимся и неплавящимся электродом. *Автоматическая сварка*, 9, 43–49.
- Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C. et al. (1991) *Friction Stir Butt Welding*. Int. Patent Application №PCT/GB 92/02203; GB Patent Application № 9125978.8.
- Dawes C.J., Thomas, W.M. (1996) Friction Stir Process Welds Aluminum Alloys. *Welding J.*, 3, 41–45.
- Defalco, J. (2006) Friction stir welding vs. fusion welding. *Ibid*, 3, 42–44.
- Ericsson, M., Sandstrom, R. (2003) Influence of melting speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG. *International Journal of Fatigue*, 25, 1379–1387.
- Enomoto, M. (2003) Friction Stir Welding: research and industrial applications. *Welding International*, 5, 341–345.
- Larsson H., Karlsson L., Svensson L. (2000) Friction Stir welding of AA5083 and AA6082 aluminium alloys. *Svetsaren*, 2, 6–10.
- Іщенко А.Я., Покляцький А.Г. (2010) *Пат. 54096 Україна, МПК В23К 20/12. Інструмент для зварювання тертям з перемішуванням алюмінієвих сплавів; заявник і патентотласник ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. № u201005315; заяв. 30.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. № 20.*
- Даровский Ю.Ф., Маркашова Л.И., Абрамов Н.П. и др. (1985) Методика утонения образцов разнородных сварных соединений для электронно-микроскопических исследований. *Автоматическая сварка*, 12, 60.

- Poklyatsky A.G., Lozovskaya A.V., Grinyuk A.A. (2002) Prevention of formation of oxide films in welds on Li-containing aluminium alloys. *The Paton Welding J.*, **12**, 39–42.
- Lukianenko A., Motrunich S., Labur T. et al. (2020) Mechanical properties of welded thin sheets of Al–Cu–Li alloy and noise level assessment during FSW and TIG welding. *FME TRANSACTIONS*, **49**(1), 220–224.
- Motrunich, S., Klochkov, I., Poklyatsky, A. (2020) High cycle fatigue behaviour of thin sheet joints of aluminium–lithium alloys under constant and variable amplitude loading. *Weld World*, **64**, 1971–1979.
- Dawes, C.J., Thomas, W.M. (1996) Friction stir process welds aluminum alloys. *Welding J.*, **3**, 41–45.
- Defalco, J. (2006) Friction stir welding vs. fusion welding. *Ibid.*, **3**, 42–44.
- Ericsson, M., Sandstrom, R. (2003) Influence of melting speed on the fatigue of friction stir welds, and comparison with MIG and TIG. *Int. J. Fatigue*, **25**, 1379–1387.
- Enomoto, M. (2003) Friction stir welding: Research and industrial applications. *Welding Intern.*, **5**, 341–345.
- Larsson, H., Karlsson, L., Svensson, L. (2000) Friction stir welding of AA5083 and AA6082 aluminium alloys. *Svet-saren*, **2**, 6–10.
- Ishchenko, A.Ya., Poklyatsky, A.G. (2010) *Tool for friction stir welding of aluminium alloys* Pat. 54096, Int. Cl. B23K 20/12; u201005315; filled 30.04.2010; publ. 25.10. PWI [in Ukrainian].
- Darovsky, Yu.F., Markashova, L.I., Abramov, N.P. et al. (1985) Procedure of thinning of dissimilar welded joint samples for electron microscopic examinations. *Avtomatich. Svarka*, **12**, 60 [in Russian].
- Poklyatsky, A.G., Lozovskaya, A.V., Grinyuk, A.A. (2002) Prevention of formation of oxide films in welds on Li-containing aluminium alloys. *The Paton Welding J.*, **12**, 39–42.
- Lukianenko, A., Motrunich, S., Labur, T. et al. (2020) Mechanical properties of welded thin sheets of Al–Cu–Li alloy and noise level assessment during FSW and TIG welding. *FME TRANSACTIONS*, **49**(1), 220–224.
- Motrunich, S., Klochkov, I., Poklyatsky, A. (2020) High cycle fatigue behaviour of thin sheet joints of aluminium–lithium alloys under constant and variable amplitude loading. *Weld World*, **64**, 1971–1979.
- Bratukhin, A.G. (2003) *Modern aircraft materials: Technological and functional peculiarities*. Moscow, Aviatekhinform [in Russian].
- Beletsky, V.M., Krivov, G.A. (2005) *Aluminium alloys (Composition, properties, technology, application)*: Refer. book. Ed. by I.N. Fridlyander. Kiev, KOMINTEKh [in Russian].
- (2002) *Aircraft materials. Selected works of VIAM for 1932-2002. In: Jubilee Sci.-Techn. Collect.* Ed. by E.N. Kablov. Moscow, MISIS VIAM, 198–220 [in Russian].
- Rabkin, D.M., Lozovskaya, A.V., Sklabinskaya, I.E. (1992) *Physical metallurgy of welding of aluminium and its alloys*. Ed. by V.N. Zamkov. Kiev, Naukova Dumka [in Russian].
- Mashin, V.S., Poklyatsky, A.G., Fedorchuk, V.E. (2005) Mechanical properties of aluminium alloys in consumable and nonconsumable electrode arc welding. *The Paton Welding J.*, **9**, 39–45.
- Thomas, W.M., Nicholas, E.D., Needham, J.C. et al. (1991) *Friction stir butt welding*. Int. Patent Application PCT/GB 92/02203; GB Patent Application 9125978.8.

References

PROPERTIES OF BUTT JOINTS OF FINE-SHEET ALUMINUM-LITHIUM 1460 ALLOY, PRODUCED BY FRICTION STIR AND TIG WELDING

A.G. Poklyatsky, S.I. Motrunich, O.S. Kushnaryova

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 article analyzes the structural features, characteristics of strength and life of butt joints of aluminum-lithium 1460 alloy with a thickness of 2 mm, produced by friction stir welding and argon arc welding using non-consumable electrode. It is shown that friction stir welding prevents the formation of a large-dendritic structure of welds, provides the formation of dissimilar joints with a minimum level of stress concentration at the place of transition from the weld to the base material and allows avoiding defects in the welds in the form of pores, oxide film and hot cracks, predetermined by melting and crystallization of metal during fusion welding. 16 Ref., 7 Fig.

Keywords: aluminum-lithium 1460 alloy, friction stir welding, hardness, defects, microstructure, tensile strength, fatigue resistance, fine structure

Надійшла до редакції
20.05.2021



Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

Десята міжнародна конференція
**ПРОМЕНЕВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЗВАРЮВАННІ
ТА ОБРОБЦІ МАТЕРІАЛІВ**
6 – 11 вересня 2021 р.
Україна, Одеса

Голова програмного комітету
академік І.В. Кривцун

Тематика конференції

- Лазерне та електронно-променеє зварювання, різання, наплавлення, термообробка, нанесення покриттів
- Електронно-променеє плавка та рафінування
- Гібридні процеси
- 3D технології
- Моделювання променевих технологій
- Неруйнівний контроль
- Матеріалознавчі проблеми лазерних та електронно-променевих технологій

ОБЛАДНАННЯ ♦ ТЕХНОЛОГІЇ ♦ МОДЕЛЮВАННЯ

АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ
Україна, 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України
Тел./факс: (38044) 200-82-77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
http://pwi-scientists.com/ru/ltwmp2021




Національна академія наук України
Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона
Українське товариство неруйнівного контролю та технічної діагностики
Міжнародна Асоціація «Зварювання»

II МІЖНАРОДНА КОНФЕРЕНЦІЯ
**НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ
ТА
МОНІТОРИНГ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ**
6–10 вересня 2021
Одеса, Аркадія, готель «Аркадія»

Генеральний спонсор
ПрАТ «УкрНАІНК»



Офіційний спонсор
ТОВ «ІНВФ «Діагностичні прилади»



ОРГАНІЗАТОР КОНФЕРЕНЦІЇ
Міжнародна Асоціація «Зварювання»
вул. Казимира Малевича 11, м. Київ, 03150
тел. +38 (044) 200-82-77, (050) 352-73-50
journal@paton.kiev.ua
posypalko.yurii@gmail.com
http://pwi-scientists.com/ukr/nktd2021