

МІЦНІСТЬ ТА СТРУКТУРА СТИКОВИХ, НАПУСКОВИХ І КУТОВИХ З'ЄДНАНЬ СПЛАВУ АМГ6М, ОТРИМАНИХ ЗВАРЮВАННЯМ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ

А.Г. Покляцький, С.І. Мотруніч, В.Є. Федорчук, І.М. Клочков

ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: pag556a@gmail.com

У статті викладено результати дослідження структури та міцності стикових, напускових і кутових з'єднань алюмінієвого сплаву АМГ6М, отриманих зварюванням тертям з перемішуванням (ЗТП). Показано, що внаслідок інтенсивної пластичної деформації металу формується ядро шва з дрібнокристалічною структурою. Розмір зерен, які мають практично глобулярну форму, не перевищує 4...5 мкм, а дисперсних фазових виділень – ≤ 1 мкм. У зоні термомеханічного впливу на межі спряження шва з основним матеріалом крім дрібних зерен утворюються дещо більші (6...7 мкм) видовжені зерна, орієнтовані вздовж напрямку переміщення пластифікованого металу робочими поверхнями інструмента. При цьому в зоні термічного впливу, де метал не зазнавав деформаційного впливу, максимальний розмір його зерен знаходиться на рівні 10...15 мкм. Межа міцності зразків стикових з'єднань і кутових з'єднань, отриманих стиковими і напусково-стиковими швами, при їх статичному розтягуванні знаходиться на рівні 335...350 МПа і практично не залежить від розташування зварюваних листів зі сторони набігання чи сторони відходу та орієнтації швів відносно напрямку їх вальцювання. При цьому руйнування зразків стикових з'єднань відбувається здебільшого по основному металу або на межі зон термомеханічного і термічного впливу. Зразки кутових з'єднань, отримані напусково-стиковими швами, руйнуються в зоні спряження шва з основним металом в зоні термомеханічного впливу, а отримані стиковими швами, – ще й по основному металу. Бібліогр. 16, табл. 1, рис. 10.

Ключові слова: зварювання тертям з перемішуванням, алюмінієвий сплав АМГ6М, кутові з'єднання, міцність, структура, стикові з'єднання, напускові з'єднання

Вступ. Завдяки фізичним, механічним і технологічним властивостям алюмінію постійно зростають об'єми його застосування у різних галузях. Основними секторами, які визначають світовий попит на алюмінієві сплави, нині є будівництво, упаковка, загальне машинобудування, авіакосмічна техніка, автомобілебудування й енергетика. Алюмінієвий прокат і профілі широко використовуються у промислово-цивільному будівництві, в тому числі для виготовлення легких зварних конструкцій. Застосування алюмінію в автомобілебудуванні дозволяє значно підвищити міцність при зменшенні маси та збереженні розмірів автомобіля, що забезпечує економію палива. В авіакосмічній галузі алюміній давно став основним конструкційним матеріалом і складає майже 80 % від маси фюзеляжу літака. Сучасний світовий ринок алюмінію пропонує споживачам чистий алюміній та близько 300 композицій конструкційних сплавів алюмінію з різними фізико-механічними властивостями. Асортимент товарної продукції з алюмінію та його сплавів включає литі чушки, плоский прокат, профільний прокат, профіль пресований, дріт і фольгу. Тому при виготовленні зварних конструкцій залежно від їх функціонального призначення зазвичай використовуються як різні алюмінієві сплави, так і різноманітні види напівфабрикатів [1].

Зростання об'ємів використання алюмінію нерозривно пов'язане не тільки зі створенням нових добре зварюваних сплавів, але й з удосконаленням існуючих та розробкою перспективних технологій зварювання, які дозволяють розширити сфери їх застосування. Так, інтенсифікація перемішування розплавленого металу зварювальної ванни при аргонодуговому зварюванні неплавким електродом з коливаннями дуги посприяла зменшенню пористості швів алюмінієво-літєвих сплавів, руйнуванню та подрібненню макровключень оксидної плівки у швах алюмінієво-магнієвих сплавів та формуванню дрібнокристалічної стійкої до розтріскування структури швів [2, 3]. Застосування висококонцентрованих джерел нагрівання при променевих і гібридних способах зварювання дозволило зменшити ступінь розміщення металу в зоні формування нероз'ємного з'єднання та підвищити механічні властивості швів [4]. А розробка процесу ЗТП дозволила отримувати шви без використання захисного інертного газу та зварювального дроту, уникаючи ультрафіолетового випромінювання дуги та процесів розплавлення і кристалізації металу, які призводять до утворення характерних для зварювання плавленням дефектів у вигляді гарячих тріщин, пор і макровключень оксидної плівки [5–7]. У процесі ЗТП внаслідок пластичної деформації

Покляцький А.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-4101-2206>, Мотруніч С.І. – <https://orcid.org/0000-0002-8841-8609>,

Федорчук В.Є. – <https://orcid.org/0000-0002-9929-3231>, Клочков І.М. – <https://orcid.org/0000-0001-6490-8905>

© А.Г. Покляцький, С.І. Мотруніч, В.Є. Федорчук, І.М. Клочков, 2023

металу створюються сприятливі умови для утворення дрібнокристалічної структури швів [8–10]. Завдяки формуванню нероз'ємних з'єднань при значно нижчих у порівнянні зі зварюванням плавленням температурах ($\leq T_s$) зменшується ступінь розміщення металу, забезпечується високий рівень механічних властивостей з'єднань і низький рівень залишкових напружень і деформацій [11–13]. Переваги процесу ЗТП сприяли широкому впровадженню його у виробництво при виготовленні нероз'ємних вузлів і конструкцій у різних галузях. У суднобудуванні його застосовують для отримання великогабаритних панелей з окремих екструдованих або пресованих профілів, які використовуються при спорудженні бортових секцій корпусів кораблів, поромів, катерів і шлюпок, стінок рефрижераторів і кают, палубних надбудов, платформ для гвинтокрилів, трапів, щогл, нафтодобувних платформ тощо. При виготовленні залізничного транспорту цей процес використовують для з'єднання профілів і жорстких інтегрованих панелей з різних алюмінієвих сплавів. В автомобільній промисловості ЗТП успішно застосовується при виготовленні капота і дверей автомобілів, просторових рам мотоциклів і велосипедів, кузовів і піднімальних пристроїв вантажівок, корпусів і підлоги автобусів, фургонів, причепів, елементів шасі, дисків коліс тощо. У будівництві з його допомогою зварюють панелі стін і фасадів, віконних і дверних рам, перекриттів та інших фрагментів споруд. Важливе місце займає цей процес при будівництві мостів, дозволивши зменшити їх масу та скоротити тривалість монтажних робіт. В аерокосмічній галузі ЗТП використовується для виготовлення елементів літаків і паливних баків ракет. У більшості випадків при конструюванні різноманітних вузлів таких виробів стараються використовувати стикові зварні з'єднання. Але зробити це не завжди вдається, а тому доводиться застосовувати напускові, кутові або таврові з'єднання. [14–16].

Мета даної роботи – дослідити структуру та оцінити міцність стикових, напускових і кутових з'єднань листів зі сплаву АМг6М, отриманих ЗТП.

Методика проведення досліджень. Для отримання стикових і напускових з'єднань використовували листи серійного алюмінієвого сплаву АМг6М (400×200×1,9 мм). При цьому було зварено чотири варіанти стикових з'єднань в залежності від орієнтації швів відносно напрямку вальцювання листів, розміщених зі сторони набігання (де напрямки обертання і лінійного переміщення інструмента співпадають) та відходу (де ці напрямки протилежні). Перший – коли обидва листи розташовували вздовж напрямку вальцювання (Д), а другий – коли обидва листи розташовували поперек напрямку вальцювання (П). Третій і четвертий

– коли зі сторони набігання розташовували лист вздовж напрямку вальцювання, а зі сторони відходу – поперек напрямку вальцювання і навпаки.

У залежності від розташування шва відносно напрямку вальцювання верхнього та нижнього листа також отримано чотири варіанти напускових з'єднань. Перший і другий – коли верхній та нижній листи розташовували вздовж або поперек напрямку їх вальцювання відносно орієнтації шва. А третій і четвертий – коли верхній та нижній лист мали різні напрямки вальцювання відносно орієнтації шва.

Кутові з'єднання отримували стиковими і напусково-стиковими швами, зварюючи між собою такі ж листи з листами товщиною 12,0 мм. У другому випадку на товстому листі робили вибірку шириною 6 мм (половина діаметра бурта) і глибиною 1,9 мм (товщина тоншого листа). При цьому товщі листи розміщували зі сторони набігання або зі сторони відходу.

У відповідності з вимогами до зварних з'єднань конструкцій відповідального призначення проводили стандартне хімічне травлення листів у розчині NaOH з наступним освітленням у розчині HNO₃, а безпосередньо перед зварюванням – механічну зачистку поверхонь листів у зоні формування швів.

ЗТП здійснювали на розробленій в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона лабораторній установці зі швидкістю зварювання $V_{зв} = 10$ м/год. при частоті обертання інструмента $N = 1420$ об/хв, використовуючи спеціальний інструмент з діаметром бурта 12 мм і наконечником у вигляді зрізаного конуса діаметром при основі бурта 3,4 мм і кутом нахилу утворюючого конуса 12° [37]. При зварюванні стикових і кутових з'єднань стиковими швами довжина наконечника становила 1,75 мм, а при зварюванні напускових і кутових з'єднань напусково-стиковими швами – 2,25 мм, щоб забезпечити надійне з'єднання верхнього листа з нижнім.

З отриманих зварних з'єднань виготовляли шліфи для дослідження їх структурних особливостей. Границю міцності стикових і кутових з'єднань визначали при статичному одноосному розтягуванні стандартних плоских зразків з шириною робочої частини 15 мм на універсальному сервогідралічному комплексі MTS 318.25. Оцінку структурних особливостей зварних з'єднань здійснювали за допомогою оптичного електронного мікроскопа ММТ-1600В.

Результати та обговорення. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що при ЗТП стикових і напускових з'єднань, незалежно від орієнтації шва відносно напрямку вальцювання листів, характер формування, зовнішній вигляд і макроструктура таких з'єднань залишаються однаковими (рис. 1, 2). Тобто, при ЗТП металургійна спадковість не впливає на структуру таких тонколистових з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6М.

Мікроструктурні дослідження показали, що в центральній частині швів стикових з'єднань у результаті інтенсивної пластичної деформації ме-

талу формується ядро шва з дрібнокристалічною структурою. Розмір зерен, які мають практично глобулярну форму, не перевищує 4...5 мкм, а дис-

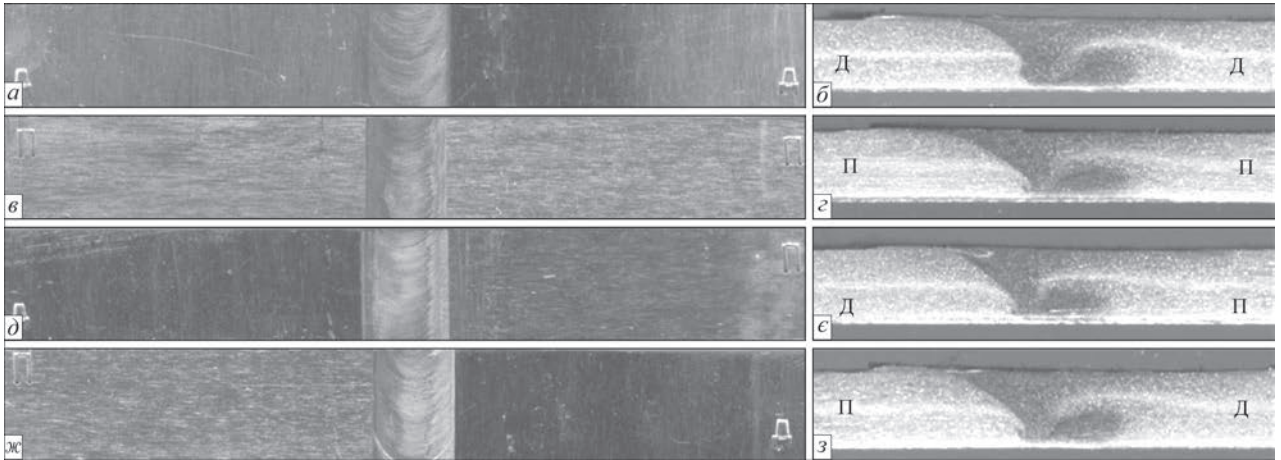


Рис. 1. Зовнішній вигляд поверхонь (а, в, д, ж) та поперечних перерізів (б, г, е, з) стикових з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6М завтовшки 1,9 мм, отриманих ЗТП при різній орієнтації швів відносно напрямку вальцювання листів (розташування листів: Д – вздовж вальцювання, П – поперек вальцювання)

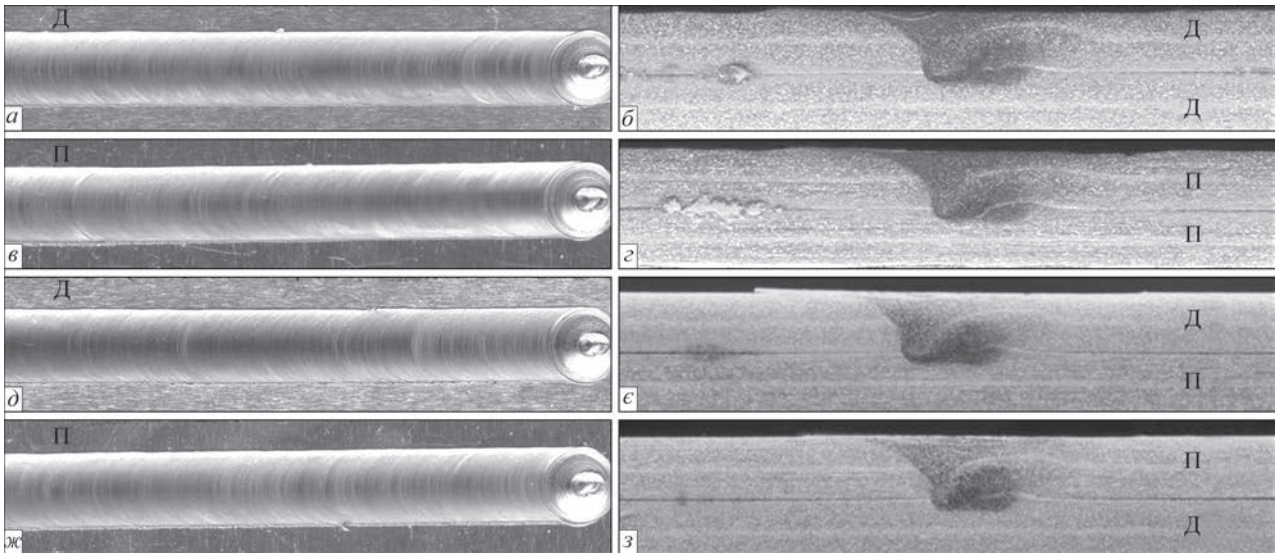


Рис. 2. Зовнішній вигляд поверхонь (а, в, д, ж) та поперечних перерізів (б, г, е, з) напускних з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6М завтовшки 1,9 мм, отриманих ЗТП при різній орієнтації швів відносно напрямку вальцювання листів (розташування листів: Д – вздовж вальцювання, П – поперек вальцювання)

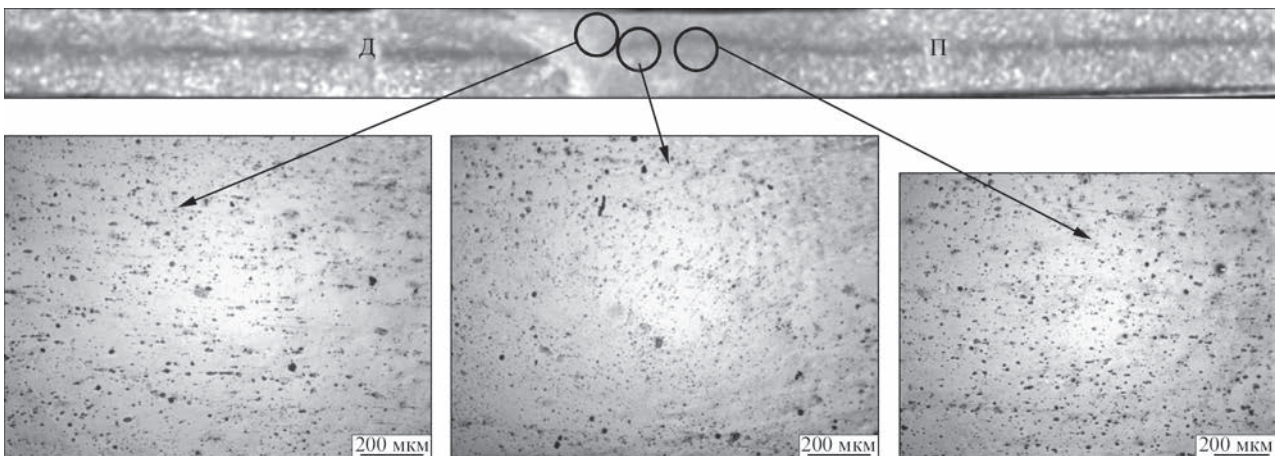


Рис. 3. Мікроструктура характерних ділянок стикового з'єднання сплаву АМг6М завтовшки 1,9 мм, отриманого ЗТП при розташуванні листа зліва (зі сторони набігання) вздовж напрямку його вальцювання, та справа (зі сторони відходу) – поперек напрямку його вальцювання (розташування листів: Д – вздовж вальцювання, П – поперек вальцювання)

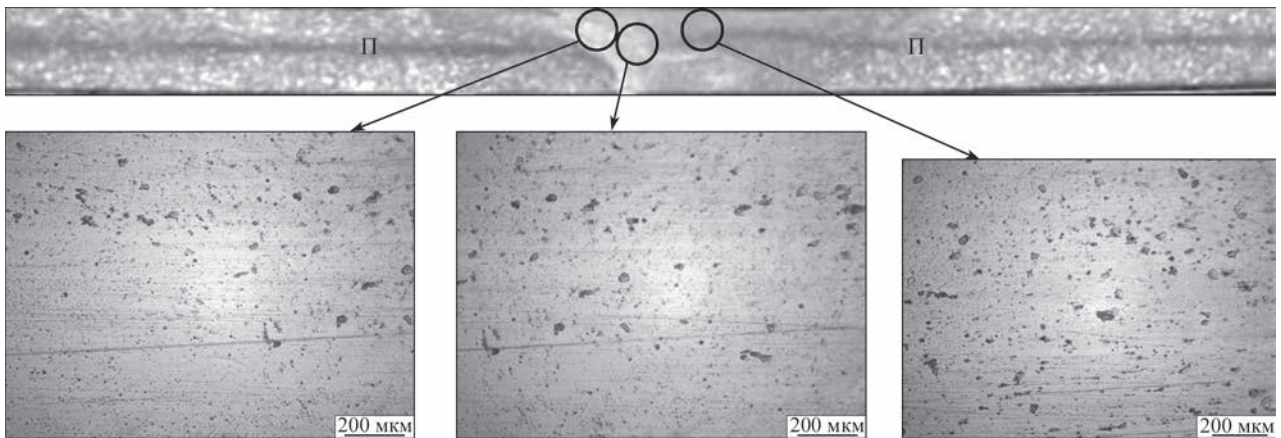


Рис. 4. Мікроструктура характерних ділянок стикового з'єднання сплаву АМг6М товщиною 1,9 мм, отриманого ЗТП при розташуванні обох листів поперек напрямку їх вальцювання (розташування листів: Д – вздовж вальцювання, П – поперек вальцювання)

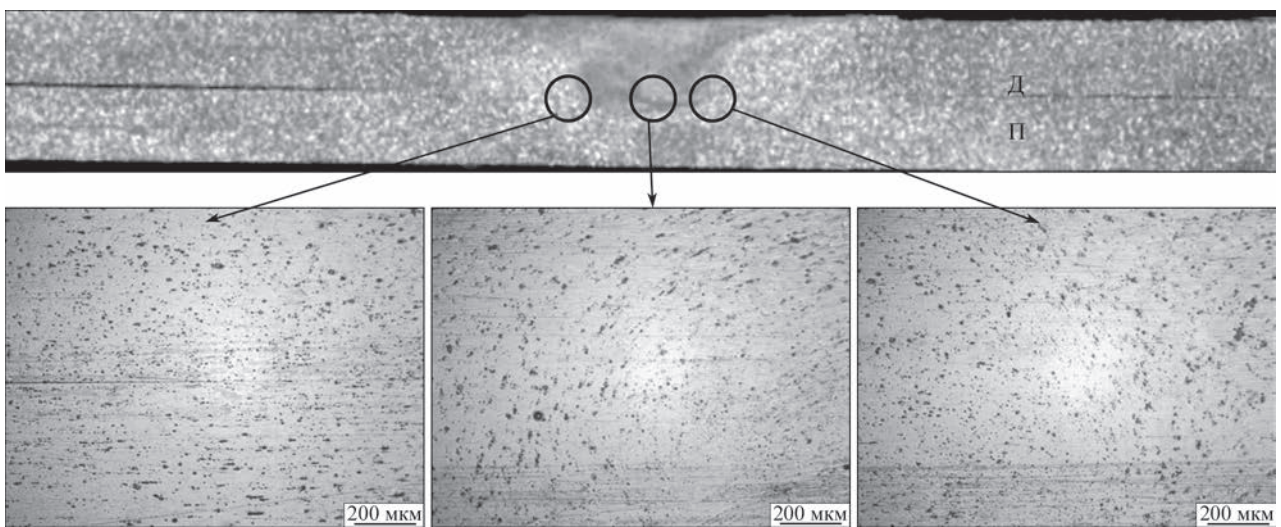


Рис. 5. Мікроструктура характерних ділянок напускового з'єднання сплаву АМг6М завтовшки 1,9 мм, отриманого ЗТП при орієнтації шва на верхньому листі вздовж, а на нижньому листі поперек напрямку їх вальцювання (розташування листів: Д – вздовж вальцювання, П – поперек вальцювання)

перших фазових виділень – ≤ 1 мкм. У зоні термомеханічного впливу на межі спряження шва з основним матеріалом відбувається часткова деформація металу, тому крім дрібних зерен утворюються дещо більші (6...7 мкм) видовжені зерна, орієнтовані вздовж напрямку переміщення пластифікованого металу робочими поверхнями інструмента. Завдяки формуванню швів у твердій фазі при ЗТП, на відміну від зварювання плавленням, немає умов для утворення одного з характерних для зварних з'єднань алюмінієвих сплавів дефекту – концентрації легкоплавких евтектичних включень на межі шва з основним матеріалом (рис. 3, 4). Аналіз мікроструктури напускових з'єднань теж показав, що в ядрі шва утворюється нова дрібнозерниста структура, яка не залежить від особливостей початкової структури металу, з якої вона сформувалася. А в зонах спряження шва з основним матеріалом відбувається деформування зерен у результаті термомеханічного впливу (рис. 5, 6).

На рис. 7, 8 представлено мікроструктуру характерних ділянок зварних з'єднань, отриманих

при ЗТП кутових з'єднань стиковими і напусково-стиковими швами. Аналіз мікроструктури кутових з'єднань, отриманих стиковими швами, показав, що як і при зварюванні тонколистових стикових з'єднань, у центральній частині швів внаслідок інтенсивної пластичної деформації металу формується ядро шва з дрібнокристалічною структурою. Розмір зерен, які мають практично глобулярну форму, не перевищує 4...5 мкм, а дисперсних фазових виділень – ≤ 1 мкм. У зоні термомеханічного впливу на межі спряження шва з основним матеріалом, як зі сторони тонкого (1,9 мм), так і зі сторони товстого (12,0 мм) листів, крім дрібних зерен утворюються дещо більші (6...7 мкм) видовжені зерна, орієнтовані вздовж напрямку переміщення пластифікованого металу робочими поверхнями інструмента. При цьому в зоні термічного впливу, де метал не зазнавав деформаційного впливу, максимальний розмір його зерен знаходиться на рівні 10...15 мкм. При зварюванні кутових з'єднань напусково-стиковими швами істотних відмінностей в мікрострукту-

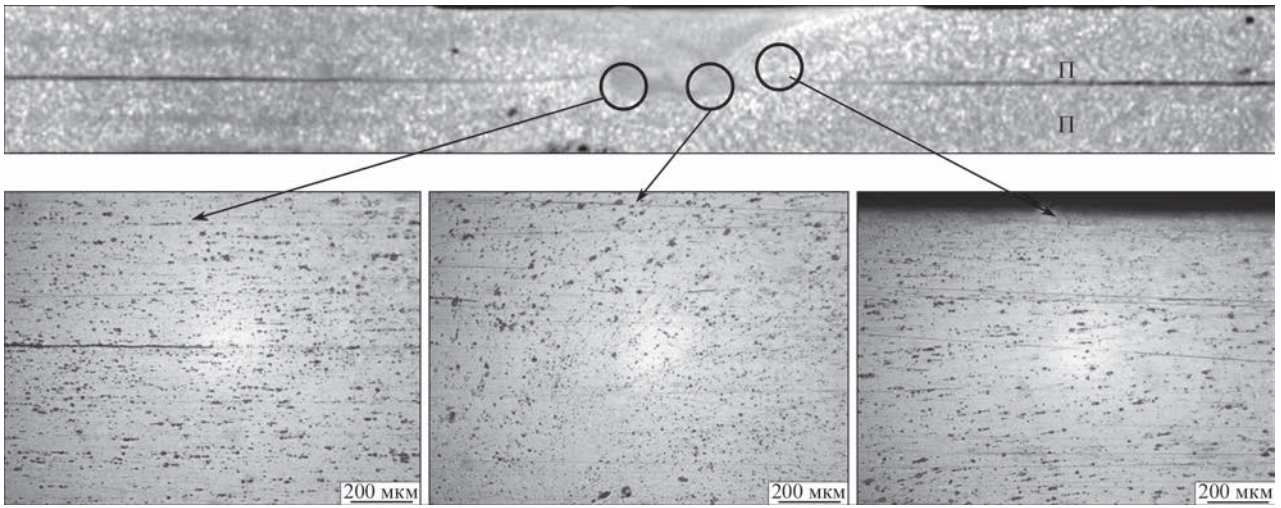


Рис. 6. Мікроструктура характерних ділянок напускного з'єднання сплаву АМг6М завтовшки 1,9 мм, отриманого ЗТП при орієнтації шва на верхньому та нижньому листах поперек напрямку їх вальцювання (розташування листів: Д – вздовж вальцювання, П – поперек вальцювання)

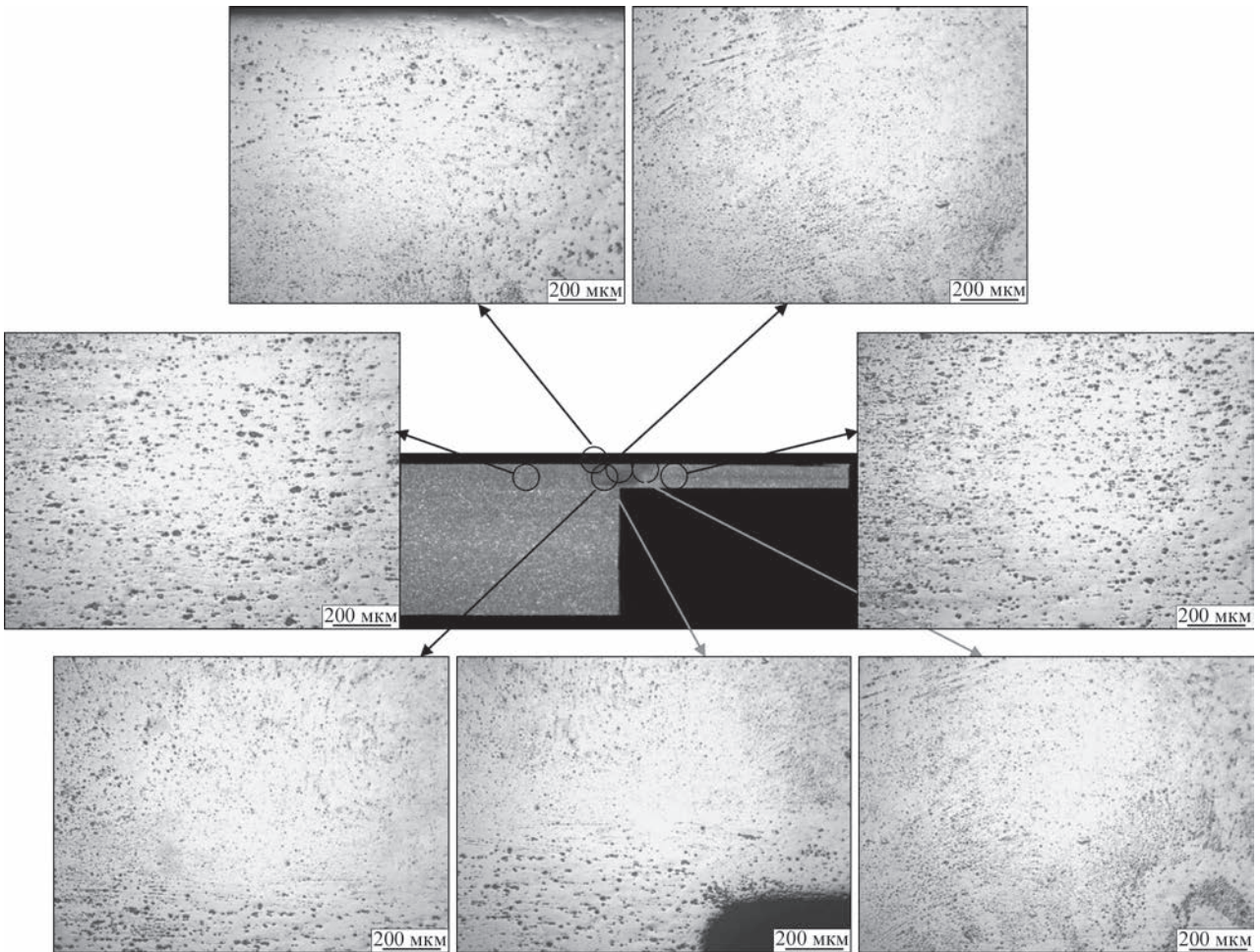


Рис. 7. Мікроструктура характерних ділянок кутового з'єднання сплаву АМг6М, отриманого ЗТП стиковим швом при розташуванні листа завтовшки 12,0 мм зі сторони набігання

рі характерних їх ділянок не спостерігається (див. рис. 8).

Для досліджуваного сплаву АМг6М межа міцності основного металу для зразків, вирізаних вздовж напрямку вальцювання листів, знаходиться на рівні 370 МПа, а поперек нього – на рівні 359 МПа. У результаті проведених досліджень

встановлено, що межа міцності зразків стикових з'єднань, у яких зі сторони набігання і зі сторони відходу напрямку вальцювання листів перпендикулярний відносно орієнтації шва, знаходиться на рівні 343...350 МПа. При статичному розтягуванні таких зразків їх руйнування відбувається по основному матеріалу зі сторони набігання чи

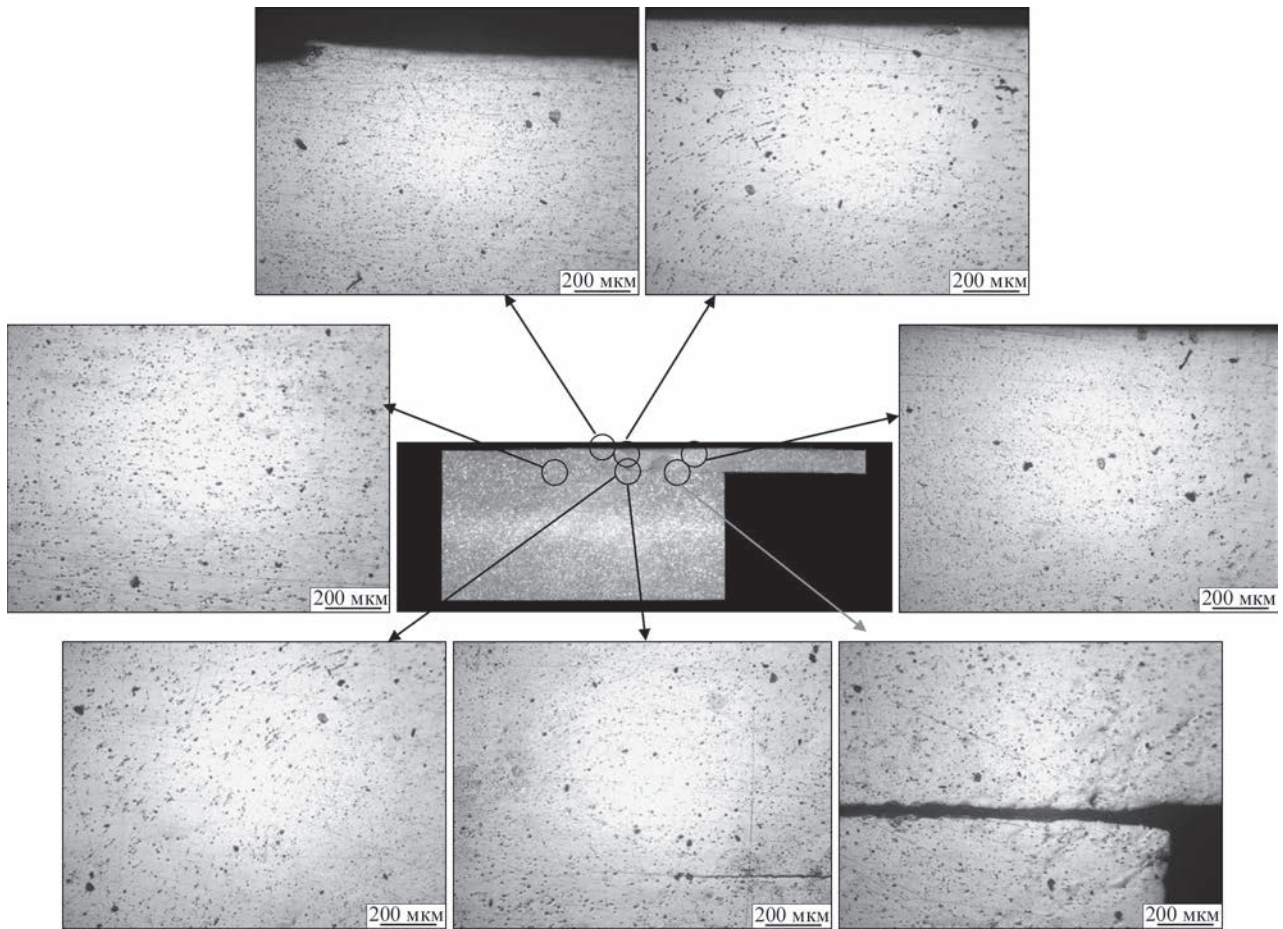


Рис. 8. Мікроструктура характерних ділянок кутового з'єднання сплаву АМг6М, отриманого ЗТП напусково-стиківим швом при розташуванні листа завтовшки 12,0 мм зі сторони набігання

відходу або на межі зон термомеханічного і термічного впливу зі сторони відходу (рис. 9, *a–в*).

При випробуванні зразків стикових з'єднань, у яких зі сторони набігання напрямок вальцю-

вання листів перпендикулярний, а зі сторони відходу – паралельний відносно орієнтації шва, межа міцності дещо нижча і знаходиться на рівні 336...343 МПа. Це обумовлено тим, що руйнуван-

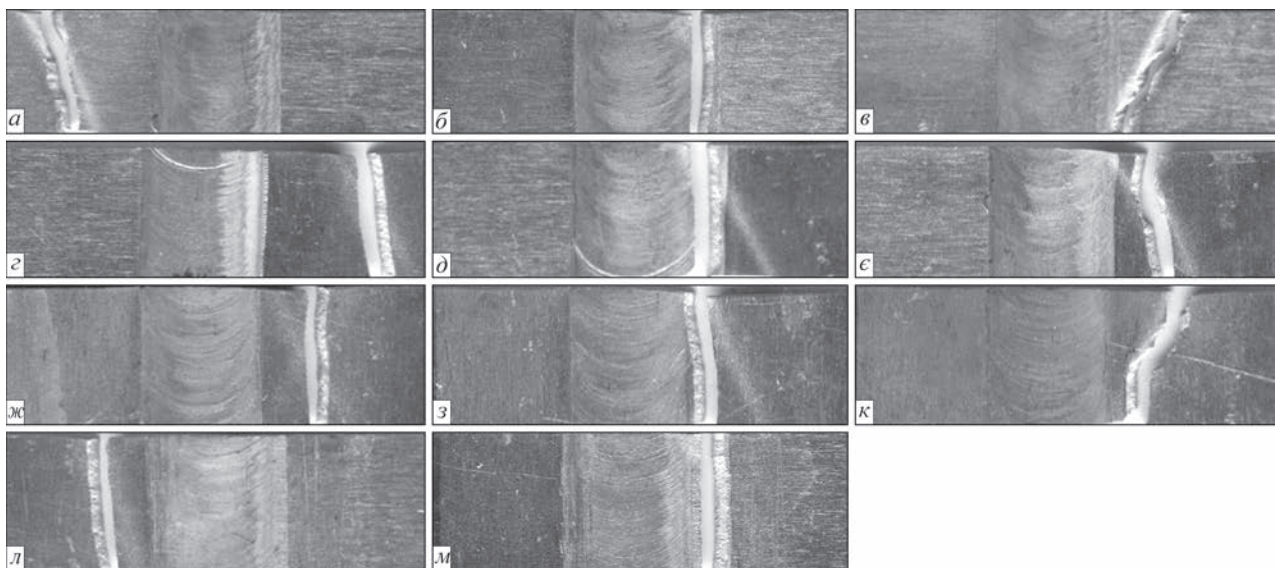


Рис. 9. Зовнішній вигляд лицьової поверхні зруйнованих зразків стикових з'єднань сплаву АМг6М завтовшки 1,9 мм, отриманих ЗТП при різному розташуванні листів відносно орієнтації шва: *a–в* – зі сторони набігання та зі сторони відходу напрямок їх вальцювання перпендикулярний відносно орієнтації шва; *г–е* – зі сторони набігання напрямок їх вальцювання перпендикулярний, а зі сторони відходу паралельний відносно орієнтації шва; *ж–к* – зі сторони набігання і зі сторони відходу напрямок їх вальцювання паралельний відносно орієнтації шва; *л, м* – зі сторони набігання напрямок їх вальцювання паралельний, а зі сторони відходу перпендикулярний відносно орієнтації шва

Межа міцності основного металу та зварних з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6, отриманих ЗТП

Орієнтація зразків відносно напрямку вальцювання листів		Межа міцності, МПа
Основний метал	Вздовж напрямку вальцювання листів	368...372
	Поперек напрямку вальцювання листів	357...361
Стикове зварне з'єднання	Зі сторони набігання і зі сторони відходу інструменту напрямком вальцювання листів перпендикулярний відносно орієнтації шва	343...350
	Зі сторони набігання напрямком вальцювання листів перпендикулярний, а зі сторони відходу – паралельний відносно орієнтації шва	336...343
	Зі сторони набігання і зі сторони відходу напрямком вальцювання листів паралельний відносно орієнтації шва	335...340
	Зі сторони набігання напрямком вальцювання листів паралельний, а зі сторони відходу перпендикулярний відносно орієнтації шва	338...344
Кутове зварне з'єднання	Зі сторони набігання і зі сторони відходу інструменту напрямком вальцювання листів перпендикулярний відносно орієнтації шва	342...347
Напускове зварне з'єднання	Зі сторони набігання і зі сторони відходу інструменту напрямком вальцювання листів перпендикулярний відносно орієнтації шва	337...341

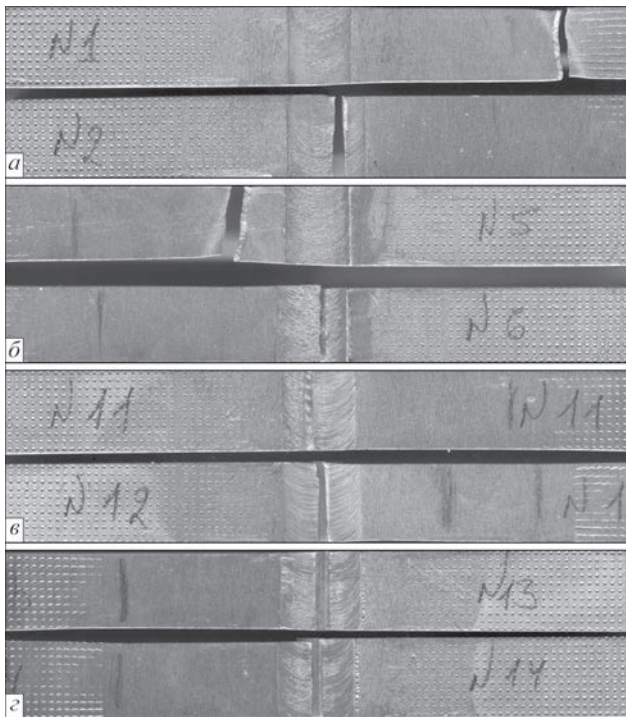


Рис. 10. Зовнішній вигляд лицьової поверхні зруйнованих зразків кутових з'єднань сплаву АМг6М, отриманих стиковими (а, б) та напусково-стиковими (в, г) швами при розташуванні листів завтовшки 12,0 мм зі сторони набігання (а, в) та відходу (б, г)

ня зразків відбувається по основному металу або на межі зон термомеханічного і термічного впливу зі сторони відходу, де зусилля при їх розтягуванні спрямовані перпендикулярно до напрямку вальцювання листів, і основний метал за таких умов має нижчу міцність (рис. 9, з-е).

Для стикових з'єднань, у яких зі сторони набігання та зі сторони відходу напрямком вальцювання листів паралельний відносно орієнтації шва, границя міцності становить 335...340 МПа. Цей показник близький за значеннями до попереднього варіанту розташування листів, оскільки руйнування зразків відбувається у тих же зонах, а міцність основного металу при такому розташуванні листів нижча (рис. 9, ж-к).

Якщо ж зі сторони набігання напрямком вальцювання листів паралельний, а зі сторони відходу перпендикулярний відносно орієнтації шва, то межа міцності зразків таких з'єднань знаходиться на рівні 338...344 МПа. Руйнування зразків при їх статичному розтягуванні відбувається по основному матеріалу зі сторони набігання, де зусилля спрямовані перпендикулярно до напрямку вальцювання листів, або на межі зон термомеханічного і термічного впливу зі сторони відходу (рис. 9, л, м).

Випробування зразків кутових з'єднань, отриманих стиковими швами, показали, що при статичному розтягуванні їх руйнування відбувається, як правило, по основному металу (інколи в зоні термомеханічного впливу в зоні спряження шва з основним металом) незалежно від місця розташування зварюваних листів (рис. 10, а, б). При цьому межа міцності таких зварних з'єднань знаходиться в діапазоні 342...347 МПа.

Зварні кутові з'єднання, отримані напусково-стиковими швами, при статичному розтягуванні руйнуються в зоні термомеханічного впливу в зоні з'єднання металу шва з основним металом (рис. 10, в, г) і мають межу міцності на рівні 337...341 МПа.

Узагальнені результати експериментальних даних дослідження міцності основного металу та зварних з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6, отриманих ЗТП, у залежності від орієнтації напрямку вальцювання листів, приведені в таблиці.

Висновки

1. При ЗТП стикових, напускових і кутових з'єднань алюмінієвого сплаву АМг6М у центральній частині швів внаслідок інтенсивної пластичної деформації металу формується ядро шва з дрібнокристалічною структурою. Розмір зерен, які мають практично глобулярну форму, не перевищує 4...5 мкм, а дисперсних фазових виділень – ≤ 1 мкм. У зоні термомеханічного впливу на межі з'єднання шва з основним матеріалом відбуваєть-

ся часткова деформація металу, тому крім дрібних зерен утворюються дещо більші (6...7 мкм) видовжені зерна, орієнтовані вздовж напрямку переміщення пластифікованого металу робочими поверхнями інструмента. При цьому в зоні термічного впливу, де метал не зазнавав деформаційного впливу, максимальний розмір його зерен знаходиться на рівні 10...15 мкм.

2. Межа міцності зразків стикових з'єднань і кутових з'єднань, отриманих стиковими та напусково-стиковими швами, при їх статичному розтягуванні знаходиться на рівні 335...350 МПа і практично не залежить від розташування зварюваних листів зі сторони набігання чи сторони відходу та орієнтації швів відносно напрямку їх вальцювання. При цьому руйнування зразків стикових з'єднань відбувається здебільшого по основному металу або на межі зон термомеханічного і термічного впливу. Зразки кутових з'єднань, отримані напусково-стиковими швами, руйнуються у зоні термомеханічного впливу, а отримані стиковими швами, – ще й по основному металу.

Список літератури/References

1. Ищенко А.Я., Лабур Т.М., Бернадский В.М. и др. (2006) *Алюминий и его сплавы в современных сварных конструкциях*. Киев, Экотехнология.
2. Poklyatsky, A.G., Grinyuk, A.A. (2001) Effect of parameters of asymmetric and modulated currents on quality of aluminium alloy welded joints. *The Paton Welding J.*, 7, 33–36.
3. Poklyatsky, A.G., Ishchenko, A.Ya., Grinyuk, A.A. et al. (2002) Non-consumable electrode argon-arc welding of aluminium alloys with arc oscillations. *Ibid.*, 2, 18–22.
4. Shiganov, I.N., Shakhov, S.V., Kholopov, A.A. (2012). Laser welding of aluminum alloys for aviation. *Engineering Journal: Science and Innovations*, 6, 34–50.
5. Defalco, J. (2006) Friction Stir Welding vs. Fusion Welding. *Welding J.*, 3, 42–44.
6. Pietras, A., Zadroga, L., Lomozik, M. (2004) Characteristics of welds formed by pressure welding incorporating stirring of the weld material (FSW). *Welding International*, 1, 5–10.
7. Ishchenko, A.Ya., Podielnikov, S.V., Poklyatsky, A.G. (2007) Friction stir welding of aluminium alloys (Review). *The Paton Welding J.*, 11, 25–30.
8. Chionopoulos, S.K., Sarafoglou, CH.I., Pantelis, D.I. et al. (2008) Effect of Tool Pin and Welding Parameters on Friction Welded (FSW) Marine Aluminium Alloys. *Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing Engineering (ICMEN), 1–3 October 2008, Chalkidiki, Greece*, 7–15.
9. Shibayanagi, T. (2007) Microstructural aspects in friction stir welding. *Journal of Japan Institute of Light Metals*, 9, 416–423.
10. Markashova, L.I., Poklyatsky, A.G., Kushnaryova, O.S. (2013) Influence of welding processes on the structure and mechanical properties of welded joints of aluminium alloy 1460. *The Paton Welding J.*, 3, 18–23.
11. Saad, A.K., Shibayanagi, T. (2007) Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Similar and Dissimilar Joints of Al and Mg Alloys. *Transaction of JWRT*, 1, 27–40.
12. Lin, H., Fujii, H., Maeda, M. et al. (2003) Mechanical properties of friction stir welded joints of 1050-H24 aluminium alloy. *Science and Technology of Welding and Joining*, 6, 450–454.
13. Mori, H., Noda, M., Tominaga, T. (2007) Current state on application of friction stir welding for rolling stock. *Journal of Japan Institute of Light Metals*, 11, 506–510.
14. Kumagai, M., Tanaka, S. (2001) Application of Friction Stir Welding to Welded Construction of Aluminium Alloys. *Journal of Light Metal Welding and Construction*, 1, 22–28.
15. Arbegast, W.J. (2006) Friction Stir Welding After a Decade of Development. *Welding J.*, 3, 28–35.
16. Ding, J., Carter, R., Lawless, K. et al. (2006) Friction Stir Welding Flies High at NASA. *Ibid.*, 3, 54–59.

STRENGTH AND STRUCTURE OF BUTT, OVERLAP AND FILLET JOINTS OF AMg6M ALLOY PRODUCED BY FRICTION STIR WELDING

A.G. Poklyatskyi, S.I. Motrunich, V.E. Fedorchuk, I.M. Klochkov

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

E-mail: pag556a@gmail.com.

The paper deals with the results of studying the structure and strength of butt, overlap and fillet joints of AMg6M aluminium alloy, produced by friction stir welding (FSW). It is shown that a weld nugget with fine-crystalline structure forms as a result of intensive plastic deformation. The size of grains, which are of practically globular shape, does not exceed 4...5 ~m, and that of dispersed phase precipitates – ≤ 1 ~m. In the zone of thermomechanical impact, in addition to fine grains, somewhat larger elongated grains (6...7 мкм) form, which are oriented along the direction of plasticized metal displacement by the tool working surfaces. Here, in the heat-affected zone, where the metal did not undergo any deformational impact, the maximum size of its grains is on the level of 10...15 ~m. The strength limit of samples of butt joints and fillet joints, produced by making butt and overlap-butt welds, is on the level of 335 – 350 МПа at their static tension, and it practically does not depend on the welded sheet location either from the advancing side or from the retreating side, or on the weld orientation relative to their flanging direction. Here, the butt joint samples fail mainly through the base metal or the boundary of zones of thermomechanical and thermal impact. Samples of fillet joints produced by overlap-butt welds, fail in the zone of weld-to-base metal transition in the thermomechanical impact zone, and those produced by butt welds fail also through the base metal. 16 Ref., 1 Tabl., 10 Fig.

Keywords: friction stir welding, AMg6M aluminium alloy, fillet joints, strength, butt joints, overlap joints

Надійшла до редакції 14.02.2023



Міжнародна спеціалізована виставка

Енергозберігаюче обладнання та альтернативні джерела енергії «ISTWE»

21–22 вересня 2023 р.

Національний комплекс «Експоцентр України» - ВДНГ

<https://vdlg.ua>