

І СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ. ОПІР РУЙНУВАННЮ ТА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

УДК 621.791:669.71

Д-р техн. наук І. О. Вакуленко¹, д-р техн. наук О. А. Мітяєв², С. О. Плітченко¹

¹ Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, м. Дніпропетровськ

² Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

ПРО СТРУКТУРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПРИ ЗВАРЮВАННІ ТЕРТЯМ З ПЕРЕМІШУВАННЯМ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ

Розглянуті питання оцінки субструктурних перетворень при зварюванні тертям з перемішуванням алюмінієвого сплаву. Виявлено свідчення впливу дислокаційного механізму зміцнення при використанні технології зварювання тертям з перемішуванням.

Ключові слова: температура, зварювання тертям з перемішуванням, структура, дислокації.

Вступ

Порівняно з технологіями зварювання, коли формування нероз'єднаного з'єднання обумовлене розвитком процесів розплавлення і кристалізації, технологія зварювання тертям з перемішуванням не передбачає зміну агрегатного стану металевих матеріалів [1]. За характером впливу на процеси структурних перетворень в об'єктах металу зварного шва, у першому наближенні, наведена технологія може бути віднесена до технологій електричного контактного зварювання. На підставі цього підтримка незмінними умови оптимального співвідношення між температурою розігріву з'єднувальних кромок і швидкісними параметрами роботи спеціального інструменту є запорукою формування якісного зварного шва. Дійсно, як свідчить аналіз величезного експериментального матеріалу [1–3], незначні відхилення від оптимального співвідношення між температурно-швидкісними характеристиками процесу супроводжуються різким зниженням міцності зварного з'єднання. На підставі цього можна з певною впевненістю вважати, що досягнення необхідного рівня якості зварного з'єднання, сформованого за технологією тертя з перемішуванням, буде визначатися спроможністю металу до пластичної течії. У більшості випадків при застосуванні наведеної технології температура розігріву з'єднувальних кромок сягає до 80...90% від температури розплавлення металу [2]. З урахуванням цього, рівень пластичності металу повинен неодмінно визначатися співвідношенням між процесами

зміцнення та анігіляції дефектів кристалічної будови, що беруть участь у забезпеченні умов безперервності розповсюдження пластичної деформації.

Мета роботи

Метою роботи є оцінка розвитку процесів структурних змін при формуванні зварного з'єднання за технологією тертя з перемішуванням.

Матеріал і методика досліджень

Як матеріал для проведення досліджень був використаний сплав на основі алюмінію марки АМг5 з хімічним складом 4,8% Mg, 0,5% Mn, 0,36% Fe, решта Al. Зварювання проводили на пластинах товщиною 2,5 мм. Процес зварювання за технологією тертя з перемішуванням проводили на спеціально пристосованому верстаті для свердління. У патроні верстата фіксували розроблений робочий інструмент (рис. 1). Після ретельної підготовки кромок пластини фіксувалися на столі верстата, який спроможний переміщуватися в потрібному напрямку і з заданою швидкістю. Після включення верстата робочий інструмент, що обертається, під дією необхідного рівня навантаження занурюється в метал по лінії з'єднання пластин. Після торкання верхні пластин заплечиком (рис. 1, позн. 2), стіл верстата починає переміщуватися таким чином, щоб штифт (рис. 1, позн. 1) при обертанні рухався уздовж з'єднувальних кромок [1, 2].

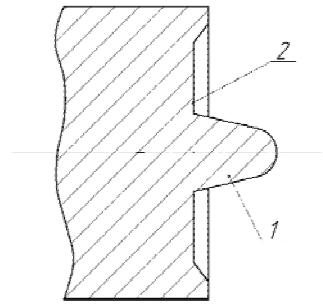


Рис. 1. Схематичний вигляд робочого інструменту.

1 – штифт, 2 – заплечик

Оцінку процесів структурних змін у металі після формування зварного з'єднання здійснювали з використанням методів рентгенівського структурного аналізу. Визначали густину дислокацій, ступінь викривлень іншого роду, розмір областей когерентного розсіювання.

Результати досліджень і їх обговорення

У результаті взаємодії штифта робочого інструменту з металом кромки з'єднувальних пластин по всій товщині розігріваються до надпластичного стану. При цьому їх пластичних властивостей повинно бути достатньо, щоб забезпечити необхідний рівень перемішування металу (переносу від однієї пластини до іншої). Роль, яку виконує заплечик, – це підтримка необхідного рівня заглажування розігрітого металу при формуванні зони зварного шва. Зовнішній вигляд сформованого зварного шва за технологією тертя з перемішуванням наведено на рис. 2. Сліди від взаємодії заплечика робочого інструменту з поверхнею з'єднувальних пластин, що візуально спостерігали, дозволяють оцінити якісні показники зварного шва.

При температурах нижчих від оптимального значення T_0 , коли пластичних властивостей металу не достатньо для досягнення потрібного рівня його перемішування, сліди стають грубішими, з явними ознаками вивив дисперсних фрагментів (рис. 2, а). В додаток до цього, в зварному шві можна спостерігати ділянки з відсутністю суцільності металу по кромках з'єднання.

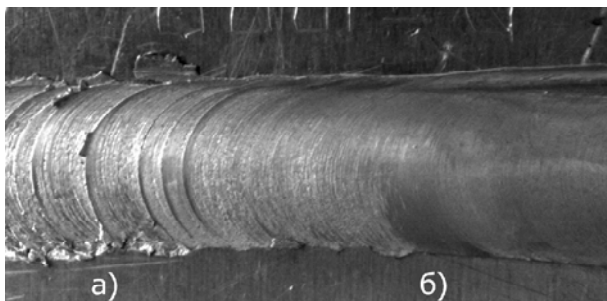


Рис. 2. Зовнішній вигляд поверхні зварного шва залежно від умов роботи інструмента:

а – температура суттєво нижча від оптимального значення (T_0), б – наближається до T_0

За умов, коли досягається перегрів металу до температур вищих від оптимального значення, як показано в роботах [1], зона термічного впливу і область шва мають властивості міцності значно нижчого рівня порівняно з вихідним станом.

Таким чином, як недостатній розігрів металу по з'єднувальних кромкам, так і перегрів, негативно впливають на якість зварного з'єднання за умов реалізації технології тертя з перемішуванням.

Аналіз відомих [1, 2] і отриманих результатів указує, що головним показником, який визначає якість зварного з'єднання, слід вважати ступінь перемішування металу. Дійсно, якщо уявити, що формування зварного шва визначається не тільки величиною пластичних властивостей, але й забезпеченням необхідного рівня перемішування металу від роботи інструменту, виникнення внутрішніх порожнин може розглядатися як свідчення порушення умов безперервності розповсюдження деформації. З іншого боку, наявність ознак розвитку процесів деформаційного зміцнення при високих температурах пластичного деформування [4] вказують на часткову участь дислокаційного механізму при зварюванні тертям з перемішуванням. При збільшенні температури пластичної деформації роль процесів деформаційного зміцнення на характер поведінки металу знижується, а пом'якшення зростає.

Напруження течії металу (σ) за умов досягнення надпластичного стану визначається за співвідношенням [4]:

$$\sigma = Kd^b, \quad (1)$$

де K – коефіцієнт, що визначає вплив типу кристалічної решітки, d – розмір зерна металевої матриці, b – показник ступеня.

З аналізу наведеного співвідношення визначається роль розміру зерна в досягненні високих рівнів пластичності. З урахуванням того, що для більшості металевих матеріалів $b \rightarrow 1$, зменшення d буде супроводжуватися зниженням рівня діючого напруження. При порушенні балансу між накопиченням дислокацій у процесі пластичної течії і розвитком їх анігіляції, буде відбуватися відхилення від оптимальних умов деформації, які в свою чергу мають вигляд:

$$m = \frac{\sigma - \sigma_i}{2\sigma}, \quad (2)$$

де m – коефіцієнт чутливості до швидкості деформації, σ_i – певне напруження, за фізичним змістом дорівнює напруженню необерненого руху дислокацій (σ_0). У свою чергу величина σ_0 входить до складу рівняння кривої деформації ($\sigma = \sigma_0 + k\varepsilon^n$) [5]. Після заміни σ_i на σ_0 , умови (2) можна переписати:

$$m = \frac{k\varepsilon^n}{2\sigma}, \quad (3)$$

Враховуючи пропорційний зв'язок величини m з пластичністю металевих матеріалів [4], наближення до надпластичного стану досягають збільшенням m . Так, з аналізу (3) випливає, що максимальне значення показника ступеня m буде дорівнювати 0,5 за умов, коли $n \cong 0$ і $k \approx \sigma$. З іншого боку, виконання залежності (3) вказує на існування впливу від дислокаційного механізму пластичної деформації при досягненні максимальної пластичності.

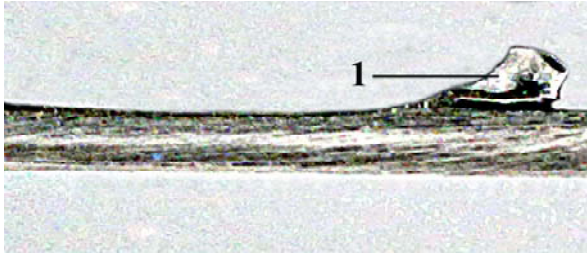


Рис. 3. Вигляд фрагмента фольги (1), який видавлений з під заплечика при проходженні робочого інструменту

Оцінка параметрів тонкокристалічної будови досліджуваного сплаву проводили по двох інтерференціях (111) і (311), на фрагменті тонкої фольги, що була видавлена після проходження робочого інструменту (рис. 3). З урахуванням відсутності розвитку процесів поліморфного перетворення при охолодженні фольги, порівняно з вихідним станом збільшення щільності дислокацій (ρ) (приблизно в 2,5 рази) і викривлень іншого роду (μ) в 1,5 рази, свідчать про вплив приросту кількості дефектів кристалічної будови. Одночасно з цим розмір областей когерентного розсіювання (l) залишився практично незмінним.

Таким чином, за оцінками співвідношення між процесами зміцнення і пом'якшення можна визначати технологічні параметри зварювання тертям з перемішуванням за потрібних умов: перебільшення або зниження характеристик міцності металу шва порівняно з вихідним станом.

Висновки

1. У процесі формування зварного з'єднання за технологією тертя з перемішуванням визначений вплив дислокаційного механізму на розвиток процесів структурних перетворень у металі шва.

2. Зміною співвідношення між процесами накопичення дефектів кристалічної будови і їх анігіляцією можна досягати потрібного комплексу властивостей металу зварного шва.

Список літератури

1. Dawes C.J. An introduction to friction stir welding and its development // Weld and Metal Fabr. – 1995. – № 1. – P. 13–16.
2. Kallee S. Causing a stir in the future // Welding and Joining / Kallee S., Nicholas D. – 1998. – № 2. – P. 18–21.
3. Вакуленко І. О. Роль температури при зварюванні тертям з перемішуванням сплаву на основі алюмінію / Вакуленко І. О., Плітченко С. О. // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2012. – С. 248–249.
4. Вакуленко І. А. Морфология структуры и деформационное упрочнение стали / Вакуленко І. А., Большаков В. И. – Днепропетровск : Маковецкий, 2008. – 196 с.
5. Бабиц В. К. Деформационное упрочнение стали / Бабиц В. К., Гуль Ю. П., Долженков И. Е. – М. : Металлургия, 1972. – 320 с.

Одержано 26.03.2014

Вакуленко І.А., Митяев А.А., Плітченко С.А. О структурных превращениях при сварке трением с перемешиванием алюминиевого сплава

Рассмотрены вопросы оценки субструктурных превращений при сварке трением с перемешиванием алюминиевого сплава. Обнаружено свидетельство влияния дислокационного механизма упрочнения при использовании технологии сварки трением с перемешиванием.

Ключевые слова: температура, сварка трением с перемешиванием, структура, дислокации.

Vakulenko I., Mityayev A., Plitchenko S. Structural transformations during friction stir welding of the aluminum alloy

The questions of assessment of substructural transformations of the aluminum alloy during friction stir welding have been observed. The evidence of the dislocation strengthening mechanism's influence during the application of friction stir welding technology has been discovered.

Key words: temperature, friction stir welding, structure, dislocations.