

УДК 669.1

Структура и свойства сплавов АМГ5, полученных электродуговым выращиванием с послойной обработки трением с перемешиванием

Куам Куичеу Дилан^(*)

kuam.kd@edu.spbstu.ru

Курушкин Дмитрий Вячеславович

SPIN-код: 5989-9232

Панченко Евгений Владиславович

Замоздра Максим Юрьевич

SPIN-код: 8491-6476

Бубников Семен Николаевич

Наумов Антон Алексеевич

SPIN-код: 6161-1489

Панченко Олег Владиславович

SPIN-код: 9121-0020

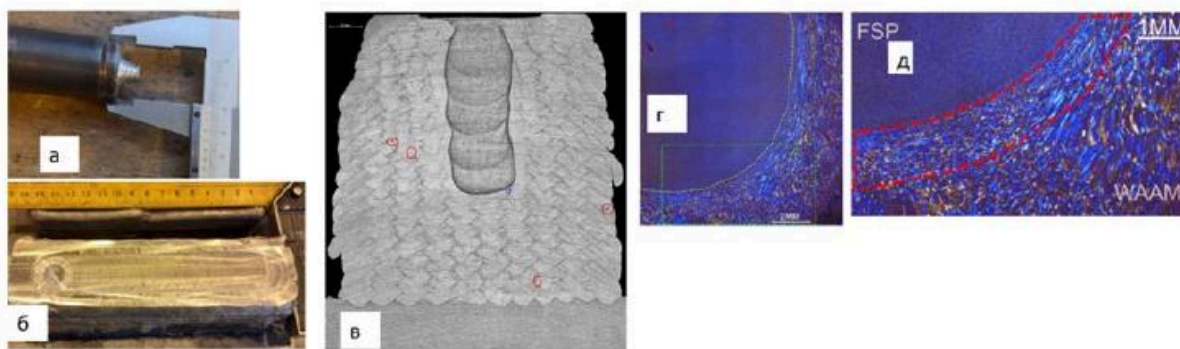
СПбПУ, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. Целью данного исследования является гомогенизация структуры и улучшение механических свойств АМГ5, изготовленных с помощью гибридного подхода, основанного на электродуговое выращивание (WAAM) и межслойной обработке трением с перемешиванием (FSP). Обработка трением с перемешиванием использовалась для обработки нескольких слоев нанесенных материалов.

Ключевые слова: электродуговое выращивание, обработка трением с перемешиванием, алюминиево-магниевого сплавы, механические свойства, микроструктура

Введение. В процессе производства АМГ 5 с использованием технологии электродуговое выращивание (WAAM) возникают дефекты: неоднородная микроструктура, пористость, трещины и неровности поверхности [1, 2]. Для устранения этих дефектов обработка с трением при перемешивании (FSP) более эффективна, чем традиционная термическая обработка для АМГ5 [3, 4]. В данном исследовании для модификации микроструктуры и улучшения свойств алюминиевого сплава АМГ5, наплавленного на WAAM, используется технология FSP. Для изготовления конструкции в форме сетки использовался инструмент FSP, длина которого была почти в 1,5 раза длиннее, чем в предыдущих исследованиях, что позволило сократить время обработки [5].

Методы и материалы; результаты. Алюминиевый сплав диаметром 1,2 мм (Mg 5,5 %, Mn 0,7 %, Ti 0,1 %, Be 0,002 %, Fe 0,17 %, Si 0,09 %, Zn 0,01 %, Cu 0,002 %) использовался для образца и подложки толщиной 20 мм. Размеры инструмента FSP (изготовлен из стали) составляли 8 мм (см. рисунок, а). Процесс включал нанесение материала толщиной 31 мм, фрезерование, обработку FSP, добавление 6 мм материала и затвердевание до 51 мм. Параметры WAAM: скорость 22,5 мм/с, подача проволоки 20 м/мин, напряжение 185 В, ток 24 А. Параметры FSP: скорость 900 об/мин, перемещение 15 мм/мин, усилие 14,5 кН. Размеры образца: 160×50×51 мм.



(а) инструмент FSP, образец WAAM+FSP (б) вид сверху, (в) микроскопическое изображение блока 2, (г) микроскопическое изображение зоны FSP, ЗП, (д), ЗТМВ

На рисунке в видны поры в WAAM, отсутствующие на рисунке г, в зоне перемешивания (ЗП). В ЗП отмечены включения и мелкие поры (красные прямоугольники). Пористость в WAAM — около 0,7 %, в ЗП — около 0,1 %. Микроструктура WAAM включает мелкие, крупные и столбчатые зерна. В зоне термомеханического воздействия (ЗТМВ) (рисунок д, красная линия) зерна удлиняются, в ЗП они мельче, средний размер — около 6 мкм.

Средняя твердость составляет $97,1 \pm 5,0$ HV в вертикальном направлении и $88,2 \pm 4,9$ HV в горизонтальном. В ЗП предел текучести (YS) составляет от 161 до 210 МПа (в среднем $191 \pm 16,5$ МПа), предел прочности при растяжении (UTS) — от 306 до 348 МПа, в среднем $333 \pm 14,6$ МПа. Относительное удлинение варьируется от 18,9 до 24,8 %.

Заключение. Детали из сплава АМГ5 был изготовлены с использованием WAAM и FSP. Гибридный метод улучшил микроструктуру и механические свойства материала. Инструменты FSP обрабатывали несколько слоев за один проход. Анализы показали, что использование FSP приводит к устранению пористости и уменьшению размера зерен, что увеличивает UTS на 21 % и YS на 46,9 % по сравнению с промышленными материалами. По сравнению с другими методами, WAAM+FSP обладает повышенной твердостью, прочностью и относительным удлинением.

Список источников

- [1] Panchenko O. A high-performance WAAM process for Al-Mg-Mn using controlled short-circuiting metal transfer at increased wire feed rate and increased travel speed. Mater. Des., 2020, vol. 195, art. no. 109040.
- [2] Tawfik M.M., Nemat-Alla M.M., Dewidar M.M. Enhancing the properties of aluminum alloys fabricated using wire + arc additive manufacturing technique — A review. Journal of Materials Research and Technology, 2021, vol. 13, pp. 754–768.
- [3] Bankong B.D. Review of post-processing methods for high-quality wire arc additive manufacturing. Materials Science and Technology, 2022, vol. 39, pp. 1–18.
- [4] Heidarzadeh A. Friction stir welding/processing of metals and alloys: A comprehensive review on microstructural evolution. Prog. Mater. Sci. Pergamon, 2021, vol. 117, art. no. 100752.
- [5] Li S. In-situ induce reinforcement in WAAM of Al-matrix composite using active N₂ as shielding gas followed by friction stir processing. Journal of Materials Research and Technology, 2024, vol. 30, pp. 1687–1695.