

**ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ АЛЮМИНИЙ-ЛИТИЕВОГО СПЛАВА АА8090, ВЫПОЛНЕННЫХ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ С ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ**

*А.В. ЕРЕМИН, М.В. БУРКОВ, А.В. БЯКОВ*

ФГБУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

E-mail: burkovispms@mail.ru

Традиционные методы сварки металлов за счет высокого нагрева в процессе сваривания приводят к появлению не только различного рода дефектов, но и к возникновению существенных по величине остаточных напряжений на границе зоны термического влияния. Все это в совокупности существенно снижает механические свойства изделия, в особенности падает сопротивление усталостному разрушению. Современным и многообещающим подходом для получения высокопрочных сварных соединения является метод сварки трением с перемешиванием (СТП). СТП также не лишено недостатков, в частности, происходит изменение размера зерна, структуры материала, а также возникают дефекты (поры, включения и т.п.) [1-3]. При правильно подобранных параметрах формирования соединения, обозначенные дефекты существенно меньше, чем в классических подходах. Кроме того, при СТП не происходит нагрев металла выше температуры плавления, что приводит к остаточным напряжениям, которые значительно ниже, чем при плавлении.

Данный метод имеет огромные перспективы развития и применения, однако, необходимо дальнейшее совершенствование режимов формирования сварного соединения и подбор параметров для каждого сплава индивидуально [4], основанные на комплексном исследовании структуры и механических свойств получаемых соединений. В представленной работе рассматриваются параметры сварки и процессы разрушения сплава АА8090. Данный сплав относится ко второму поколению высокопрочных алюминий-литиевых сплавов пониженной плотности, применяемых преимущественно в авиационной промышленности. Задача работы состоит в исследовании процессов разрушения образцов сплава АА8090 без сварного соединения и со сварным соединением, выполненным сваркой трением с перемешиванием, при квазистатическом одноосном растяжении.

В работе процесс сварки производился на оборудовании ИФПМ СО РАН в лаборатории контроля качества материалов и конструкций. Параметры сварки: сила прижима инструмента  $F = 2800$  кг, частота вращения инструмента  $\omega = 400$  об/мин, скорость перемещения инструмента вдоль траектории шва  $v = 350$  мм/мин, длина рабочей зоны инструмента 8 мм.

Проведенные исследования структуры при помощи оптического микроскопа показали, что основной металл представлен в виде зерен, вытянутых вдоль направления проката со средним размером порядка 23 мкм в поперечном направлении и 127 мкм в продольном. В сварном шве отчетливо выделяются 3 зоны с разным размером зерен: зона перемешивания, зона термомеханического влияния, зона термического влияния [5].

Механические испытания были проведены на электромеханической испытательной машине Instron 5582 со скоростью нагружения 0,3 мм/мин. Размеры рабочей зоны  $T \times Ш \times Д$   $3 \times 6 \times 33$  мм<sup>3</sup>. В процессе нагружения состояние образцов регистрировалось как интегрально, при помощи встроенного тензодатчика испытательной машины, так и с использованием неразрушающих методов мониторинга – метода корреляции цифровых изображений и метода акустической эмиссии (АЭ).

В процессе растяжения образцы без шва и со сварным швом ведут себя несколько различным образом. В частности, накопление сигналов АЭ проходит по разному. В образце без шва можно выделить 3 стадии. На первой с началом пластической деформации происходит генерация сигналов АЭ, затем, при переходе на интенсивное пластическое деформирование регистрация сигналов АЭ практически прекращается (от 4 до 10 % деформации). Основная часть сигналов регистрируется на последнем этапе, когда

появляются микротрещины и происходит развитие магистральной трещины. В случае со сварным швом, сигналы регистрируются на протяжении всего эксперимента. Можно разделить на 2-е стадии, до 4,5% и после. На каждой стадии активность сигналов АЭ разная. В конце перед разрушением видно, что наблюдается резкий рост регистрации АЭ.

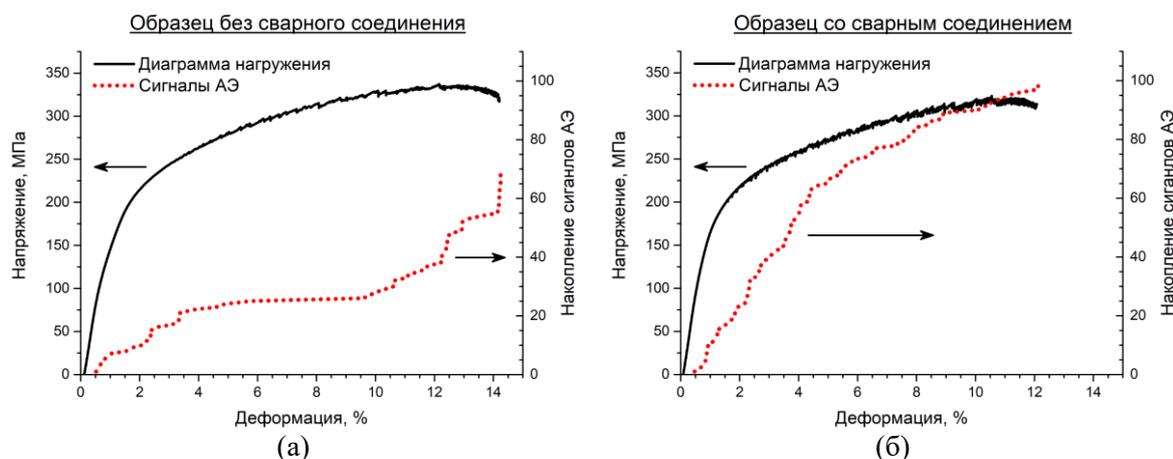


Рисунок 1 – Диаграммы нагружения и интенсивность накопления сигналов акустической эмиссии для исходного образца (а) и образца со сварным швом, выполненным сваркой трением с перемешиванием (б)

В работе рассматриваются различные аспекты процессов разрушения двух типов образцов при испытании на растяжение. Дополнительный мониторинг состояния *in situ* во время испытания позволяет выявить подробности формирования дефектов различного масштаба и переходы от одного масштабного уровня разрушения к другому. На основе полученных результатов экспериментального исследования построена конечно-элементная модель образцов со сварным швом, описывающая наблюдаемые процессы.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ № 18-38-00659 мол\_а.*

#### Список литературы

1. Cam G., Mistikoglu S. Recent developments in friction stir welding of Al-alloys // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2014. – V. 23. – № 6. – P. 1936–1953.
2. Lertora E., Gambaro C. AA8090 Al-Li alloy FSW parameters to minimize defects and increase fatigue life // International Journal of Material Forming. – 2010. – V. 3. – P. 1003–1006.
3. Dursun T., Soutis C. Recent developments in advanced aircraft aluminium alloys // Materials and Design. – 2014. – № 56. – P. 862-871.
4. Biro A., Chenelle B., and Lados D. Processing, Microstructure, and Residual Stress Effects on Strength and Fatigue Crack Growth Properties in Friction Stir Welding: A Review // Metallurgical and Materials Transactions B. – 2012. – V. 43. – № 6. – P. 1622–1637.
5. Grujicic M., Snipes J.S., Ramaswami S., Yen C-F. A Combined Experimental/Computational Analysis of the Butt-Friction-Stir-Welded AA2139-T8 Joints // Journal of Materials Engineering and Performance. – V. 25. – № 7. – P. 2690–2701.