

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Алтайский государственный университет
Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова
Восточно-Казахстанский государственный технический
университет им. Д. Серикбаева

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ВЫПУСК V

Сборник научных статей

Барнаул
Издательство Алтайского государственного университета
2017

ББК 30.3
Н 766

Ответственные редакторы:

*В.В. Поляков, доктор физ.-мат. наук, профессор,
В.А. Плотников, доктор физ.-мат. наук, профессор*

Н 766 Новые материалы и технологии. Выпуск V / Сборник научных статей / Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2017. - 160 с.

ISBN 978-5-7904-2249-2

В сборнике статей V Российско-Казахстанской молодежной научно-технической конференции представлены доклады, посвященные технологиям получения новых материалов, особенностям их структуры и процессам формирования физико-механических свойств. В статьях отражены современные тенденции развития науки о материалах, перспективные направления фундаментальных и прикладных исследований.

ISBN 978-5-7904-2249-2

© ФГБОУ ВПО «Алтайский
государственный университет»,
2017

2. В компактном состоянии при взаимодействии ниобия с оловом при различных соотношениях компонентов образуются интерметаллиды NbSn, NbSn₂, NbSn₃, Nb₃Sn.

3. В тонкопленочном состоянии образуется интерметаллид, наиболее устойчивый в данной системе Nb₃Sn.

4. Определено электросопротивление тонких пленок. Электросопротивление интерметаллидов, напыленных на подложки меньше на 20-30% электросопротивления исходных компонентов.

Список используемой литературы:

1 Superconductivity in Nb₃Sn at high current density in a magnet field at 88 kgauss / Kunzler J.E., Buehler E., Hsu F.S., Wernick J.H. // Phys. Rev. Lett. 1961. – v.6. – №3. p. 88-91.

2 A 101000 Gaus niobium – tin superconducting solenoid / Martin D.L., Benz M.G., Bruch C.A., Rosner C.H. // Cryogenics. 1963. – v.3. – №2. p. 114.

3 Гиллер Я.Л. Таблицы межплоскостных расстояний. М.: Недра, 1966 – Т 2. 360 с.

4 4. Соколовская Е.М., Гузей Л.С. Металлохимия. М.: МГУ. 1986. 264 с.

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ДИАГНОСТИКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ СО СВАРНЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ

Дмитриев А.А.

Алтайский государственный университет, Барнаул

E-mail: dmitriev@asu.ru

Введение. При изготовлении конструкционных изделий из алюминиевых сплавов в настоящее время широко используются сварные технологии. Применение подобных технологий требует разработки надежных методов диагностики дефектов в области сварного соединения. Примером одного из распространенных методов определения дефектов является оценка параметров акустической эмиссии - упругих волн, возникающих при механическом нагружении образца. Анализ количественных характеристик эмиссионного сигнала позволяет проследить связь между эмиссионным сигналом и процессами, протекающими в сварном образце в нагруженном состоянии. В связи с этим возникает задача определения новых информативных признаков на основе сигнала акустической эмиссии, пригодных для решения задач диагностики сварных соединений.

Регистрация сигнала акустической эмиссии. Для проведения эксперимента использовались образцы прямоугольной формы, изготовленные из сплава Амг5М [1]. Рабочая часть образца имела длину 75 мм и прямоугольное сечение 5x15 мм. Каждый образец был предварительно разделен по середине рабочей части и сварен при помощи сварки трением с перемешиванием [2]. В процессе подготовки образцов использовались три режима сварки. Основной режим (режим 1), при котором обеспечивалось наиболее прочное соединение, скорость вращения инструмента составляла 560 об/мин, прикладываемое к соединяемым элементам усилие - 2600 кг, скорость подачи вращающегося инструмента - 500 мм/мин. При режимах, обеспечивавших заведомое формирование дефектной структуры сварного соединения, указанные параметры составляли соответственно 560 об/мин, 2600 кг, 700 мм/мин (режим 2) и 560 об/мин, 2100 кг, 500 мм/мин (режим 3). Полученные таким способом образцы подвергались на статическое одноосное растяжение при помощи испытательной машины 2167-Р50. Во время деформирования образца одновременно регистрировался сигнал акустической эмиссии и величины приложенной нагрузки и степени деформации, по которым рассчитывались кривые деформационного упрочнения в координатах «напряжение σ – деформация ϵ » (рис. 1).

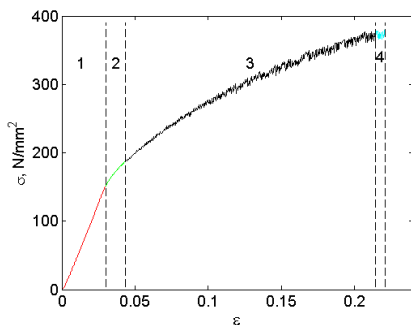


Рис.1. Деформационное упрочнение образца со сварным соединением.

В области пластической деформации для всех исследованных образцов отчетливо выделялись следующие стадии: стадия линейного упрочнения 1, стадия параболического упрочнения 2 с равномерной пластической деформацией, стадия упрочнения с неустойчивостью пластического течения 3 и стадия предразрушения 4, характеризовавшаяся образованием и быстрым распространением магистральной трещины [3]. Влияние сварного шва весьма

существенно и проявлялось на кривых $\sigma - \epsilon$ прежде всего резким уменьшением предельных значений напряжения и деформации. Очевидно, что это связано с формированием в зоне сварного соединения макроскопических дефектов, возле которых возникала повышенная концентрация упругих напряжений, приводившая к преждевременному трещинообразованию.

Сигнал акустической эмиссии представлял собой значения, пропорциональные мгновенным значениям напряжения, полученным от пьезоэлектрического датчика испытательной машины (рис. 2). Значения акустического сигнала регистрировались с частотой дискретизации 2,5 МГц в частотном интервале от 50 до 700 кГц. Для наглядного представления вида сигнала акустической эмиссии на рисунке 2 использовалось отношение среднеквадратичных значений сигнала U_e/U_n к значению шума U_n в ненагруженном состоянии. Пластическое течение сопровождалось формированием пика акустической эмиссии на стадии 1, который связан с движением дислокационных потоков на сплошных участках образца в условиях пластического течения. На стадиях 2 и 3 возникали высокоамплитудные осцилляции и всплески акустико-эмиссионных сигналов, обусловленные формированием и последующим развитием полос локализованной деформации [4]. На стадии предразрушения 4 акустическая эмиссия для режима 1 характеризовалась пиком, отвечавшим распространению магистральной трещины. Для образцов, изготовленных на основе режимов 2 и 3, наблюдалось несколько таких пиков, что отражало возникновение возле краев крупных пор нескольких магистральных трещин.

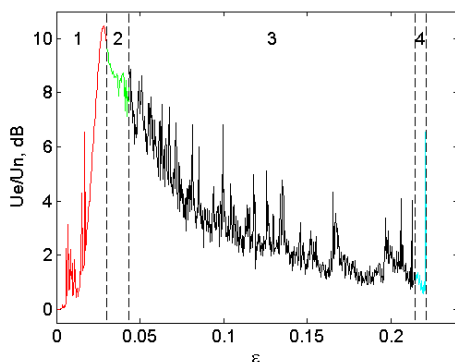


Рис. 2. Вид акустико-эмиссионного сигнала алюминиевого образца со сварным соединением.

Получение информативных характеристик акустической эмиссии. Информативные параметры сигнала акустической эмиссии позволяют установить количественную связь между протекающими в процессе пластической деформации процессами и сигналом акустической эмиссии. Стоит отметить, что традиционные количественные характеристики, основанные на вычислении числа импульсов, анализе амплитудного или частотного спектра, использовать в задачах диагностики алюминиевых сплавов со сварными соединениями затруднительно в виду сложности акустико-эмиссионного сигнала, которая вызвана нестационарностью его поведения, наличием шума и других факторов [5]. В связи с этим в данной работе предложен способ обработки сигнала АЭ, включающий ряд последовательных этапов. На первом этапе весь зарегистрированный в процессе нагружения сигнал разбивался на интервалы, соответствовавшие временным блокам длительностью 10^7 отсчетов сигнала. Временной блок состоял из отсчетов сигнала АЭ, которые возникали при удлинении образца на ~ 0.02 мм в процессе эксперимента. Затем к каждому временному блоку по отдельности применялось 9-уровневое дискретное вейвлет преобразование [6]. Полученные коэффициенты аппроксимации характеризовали низкочастотную составляющую эмиссионного сигнала и использовались для дальнейшего построения огибающей преобразованием Гильберта. Численные значения огибающей использовались как новые информативные характеристики сигнала акустической эмиссии.

На втором этапе значения огибающей сигнала АЭ, рассчитанные для отдельных блоков, формировали набор векторов признаков. Для анализа скрытых закономерностей и нахождения блоков, похожих по своим векторам признаков использовался метод главных компонент. В методе главных компонент каждый блок сигнала представлял собой точку многомерного пространства. При проекции на плоскость, образованную главными компонентами, точки с близкими свойствами образовали кластеры [7]. Такое представление позволяло находить блоки сигнала с близкими свойствами и проанализировать связь между ними и протекавшими при нагружении деформационными процессами.

Результаты анализа методом главных компонент. При построении проекции на плоскость первых двух компонент блоки сигнала, соответствовавшие стадии четыре, были исключены из рассмотрения. Они располагались наиболее далеко от центра проекции, образованному пересечением PC1 и PC2. Данное обстоятельство объяснялось наличием в блоках сигнала

высокоамплитудных всплесков, регистрировавшихся на стадии 4, что в свою очередь приводило к увеличению коэффициентов вейвлет-разложения. Результаты проекции образцов, соответствующих стадиям 1-3 на плоскость первых двух главных компонент показаны на рисунке 3. Рисунок 3а иллюстрирует основной режим 1, рис. 3в и рис. 3с – режимы 2 и 3 соответственно.

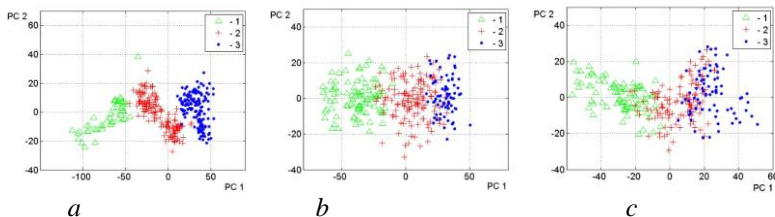


Рис. 3. Результат проекции информативных параметров сигнала акустической эмиссии на плоскость первых главных компонент для различных режимов сварки.

Как видно из рис. 3, для всех режимов наблюдалось разделение точек на три кластера, каждый из которых описывал одну из трех стадий 1, 2 и 3. Отличительной особенностью рис. 3а, описывавшего режим 1 с прочным сварным соединением, являлось то, что эти кластеры практически не перекрывались. Это означало, что на стадиях 1-3 действуют различные источники акустического излучения, что, в свою очередь, отражало смену доминирующих механизмов пластической деформации при росте нагрузки. На рис. 3в и 3с группы точек, описывавших сигналы на разных стадиях, заметно перекрывались. Такой вид кластеров, по-видимому, свидетельствовал, что при переходе от одной стадии к другой для образцов, содержащих дефектные сварные соединения, одновременно действовало несколько различных источников акустического излучения без доминирования какого-либо одного из них. Это может быть связано с тем, что при большом количестве дефектов в области сварного соединения пластическая деформация осуществлялась за счет одновременных вкладов от нескольких конкурирующих механизмов, в частности, образование системы микротрещин начиналось на более ранних стадиях деформационного упрочнения.

Выводы. В работе рассмотрен метод определения информативных параметров сигнала акустической эмиссии, пригодных для решения задачи диагностики сварных соединений. Показано, что значения коэффициентов дискретного преобразования, рассчитанных на основе сигнала акустической эмиссии, могут быть использованы для

описания особенностей пластической деформации на различных стадиях нагружения. Применение метода главных компонент позволило разделить на кластеры образцы со сходными значениями коэффициентов. Наличие перекрывания кластеров указывало на нарушение в технологическом процессе сварки, что в дальнейшем может быть использовано для диагностики алюминиевых образцов со сварными соединениями.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта №17-08-00914.

Список используемой литературы:

1. Threadgill P.L., Leonard F.J., Shercliff Y.R., Withers P.J. Friction stir welding of aluminium alloys // International Materials Reviews. 2009. Vol.54, Iss.2, P. 49-93
2. Chen C., Kovacevic R., Jandric D. Acoustic emission in monitoring quality of stir weld in friction stir welding // 4th International Symposium on Friction Stir Welding. Utah (USA), 2003.
3. Polyakov V.V., Kolubaev E.A., Salita D.S., Dmitriev A.A., and Lependin A.A. Fracturing Behavior of Aluminum Alloys with Welded Joints // AIP Conference Proceedings. 2015. Vol. 1683. P. 0201861-0201864.
4. Криштал М.М., Мерсон Д.Л. Взаимосвязь макролокализации деформации, прерывистой текучести и особенностей акустической эмиссии при деформировании алюминивно-магниевого сплава. // Физика металлов и металловедение. 1996. Т. 81. Вып. 1. С. 156-162.
5. Marec A., Thomas J.-H., Guerjouma R. Damage characterization of polymer-based composite materials: multivariable analysis and wavelet transform for clustering acoustic emission data // Mechanical Systems and Signal Processing. 2008. Vol. 22, Iss. 6. P. 1441-1464.
6. Yang L., Zhou Y.C., Mao W.G., Lu C. Real-time acoustic emission testing based on wavelet transform for the failure process of thermal barrier coatings // Applied Physics Letters. 2008. Vol. 93, Iss. 23. P. 2319061-2319063.
7. Esbensen K. H. Multivariate Data Analysis – In Practice. CAMO Process AS, 2002. 160 p.