

# ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

А.А. Дмитриев, В.В. Поляков

Алтайский государственный университет, Барнаул

[dmitriev.542@gmail.com](mailto:dmitriev.542@gmail.com)

## **Введение.**

Изделия, получаемые с использованием сварочных технологий, отличаются значительной неоднородностью структуры на участках сварных соединений, что становится причиной преждевременного разрушения. Это делает актуальной задачей диагностику структуры сварных соединений в условиях внешнего механического нагружения. Одним из методов такой диагностики является регистрация характеристик акустического излучения, возникающего при перестройке внутренней структуры в условиях пластической деформации и разрушения [1, 2]. Для повышения надежности и эффективности этого метода могут быть применены различные виды математической обработки акустико-эмиссионных сигналов. В настоящей работе в качестве такой обработки применяется подход, основанный на использовании в качестве информативных характеристик коэффициентов вейвлет-разложений регистрируемых акустических сигналов. В качестве материалов для апробации подхода используются конструкционные материалы на основе алюминий–магниевого сплава, содержащих сварные соединения.

## **Материалы и эксперимент.**

Образцы для испытаний изготавливались из сплава марки AlMg5M. Они имели стандартную форму для испытаний на статическое растяжение, сварное соединение располагалось в центре рабочей части. Сварка элементов образца осуществлялась по технологии сварка трением с перемешиванием [3], доказавшей свою эффективность для материалов данного химического состава. Для анализа возможностей используемого метода диагностики использовались различные режимы сварки: основной режим, обеспечивавший прочное соединение, и режим со специально задававшимися отклонениями в технологии, приводивший к дефектам в сварном соединении.

Нагружение образцов алюминиевого сплава осуществлялось на установке механических испытаний по схеме одноосного растяжения, при этом одновременно измерялись приложенная нагрузка, абсолютное удлинение и напряжение акустической эмиссии.

## **2. Вейвлет-анализ характеристик акустической эмиссии.**

Обработка регистрируемых акустико-эмиссионных сигналов осуществлялась на основе специально разработанного алгоритма, включавшего в себя следующие этапы.

1). На первом этапе весь диапазон деформаций разбивался на отдельные интервалы, каждому из которых соответствовал свой блок отсчета, выделявшийся из регистрировавшегося сигнала.

2). На следующем этапе решается задача выбора признаков, наиболее адекватно характеризующих происходящие процессы акустического излучения. Получение признаков основывалось на применении многоуровневого дискретного вейвлет-преобразования. Именно, по обрабатываемому дискретному сигналу  $X[k]$  строились вейвлет-функции

$$y_l[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X[k]g[2n - k],$$

и

$$y_h[n] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X[k]h[2n - k],$$

где  $u_l$  и  $u_h$  - коэффициенты многоуровневого вейвлет-разложения для низкочастотного и высокочастотного фильтров соответственно,  $g$  и  $h$  - значения коэффициентов низкочастотного и высокочастотного фильтров. При проведении расчетов к отдельным блокам, на которые разбивался сигнал на первом этапе, применялось 7-уровневое дискретное вейвлет-разложение по базису вейвлет-функций Добеши [4].

3). Далее к полученным коэффициентам вейвлет-разложения применялось преобразование Гильберта, обеспечивавшее фильтрацию сигнала  $X(k)$  и позволявшее построить по этому сигналу огибающую исходного сигнала  $E(k)$ . Значения  $E(k)$  и применялись в качестве векторов признаков, характеризовавших акустическую эмиссию.

4). Для визуализации получаемых при обработке закономерностей на заключительном этапе привлекался метод главных компонент [5]. Согласно этому методу векторы признаков рассматривались как точки многомерного пространства, в котором за счет перехода к новой системе координат обеспечивалось снижение размерности. Результаты расчетов представлялись в виде проекций многомерных данных на плоскости двух первых главных компонент.

### 3. Результаты расчетов.

Типичные результаты расчетов представлены на рис. 1 и рис. 2 на плоскости двух первых главных компонент PC1 и PC2 как для основного режима (рис. 1), так и для режима с отклонениями в технологии получения сварного соединения (рис. 2). Каждая из точек на рисунке описывает характеристики одного блока сигналов акустической эмиссии. Все точки разделены на две группы: точки 1, соответствовавшие стадиям пластической деформации материала, и точки 2, относившиеся к стадиям предразрушения и разрушения.

Как следует из рис. 1 и рис. 2, расположение кластеров точек отражает значительные различия в характеристиках акустико-эмиссионного сигнала на стадиях пластической деформации и разрушения. Это обусловлено сменой механизмов акустического излучения, в качестве которых при пластической деформации выступают потоки дислокаций, а при разрушении - скачки распространяющихся трещин [3].

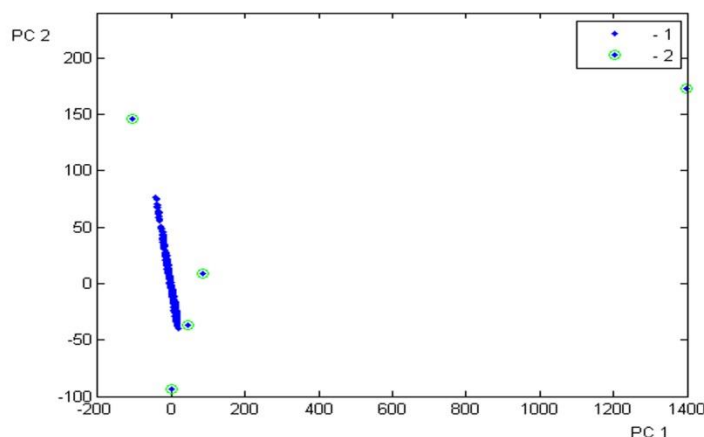


Рис. 1. Проекция характеристик сигнала акустической эмиссии на плоскость двух первых главных компонент для образцов алюминиевого сплава, полученного при основном режиме сварки.

1 – стадия пластической деформации, 2 – стадия разрушения.

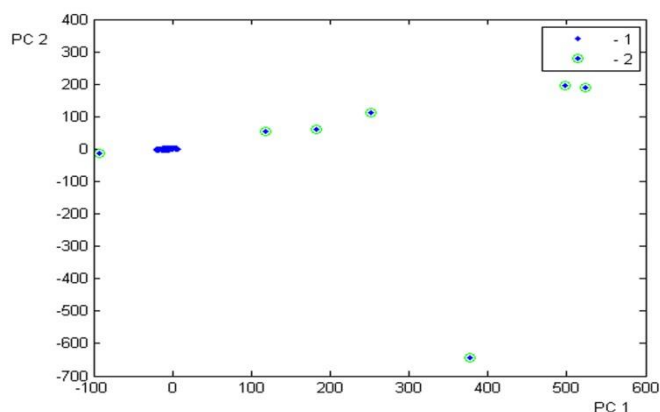


Рис. 2. Проекция характеристик сигнала акустической эмиссии на плоскость двух первых главных компонент для образцов алюминиевого сплава, полученного при технологических отклонениях в режиме сварки.

1 – стадия пластической деформации, 2 – стадия разрушения.

Кроме того, наблюдаются значительные особенности в виде и расположении кластеров точек, описывавших режим с прочным сварным соединением и режим, приводящий к дефектным соединениям. Это может быть связано с тем, что во втором случае большое количество различных дефектов в области сварного соединения вызывает одновременное действие на стадии пластической деформации нескольких различных механизмов акустического излучения. Уменьшение количества точек на рис. 2 по сравнению с рис. 1 обусловлено меньшей продолжительностью стадии пластической деформации с более ранним разрушением.

#### **Заключение.**

В работе описан акустико-эмиссионная диагностика материалов в условиях механического нагружения, в которой в качестве информативных признаков использованы коэффициенты дискретного вейвлет-разложения регистрировавшегося сигнала. Для алюминий-магниевого сплава со сварными соединениями показано, что использованный метод дает возможность диагностировать процессы пластической деформации и разрушения. Кроме того, он также позволяет контролировать отклонения в технологических режимах сварки.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. 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.
2. Lependin A.A., Polyakov V.V. Scaling of the Acoustic Emission Characteristics during Plastic Deformation and Fracture. Technical Physics. 2014. Vol. 59. № 7. Pp. 1041–1045.
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. Pp. 0201861-0201864. Doi:10.1063/1.4932876.
4. Mallat S. A Wavelet Tour of Signal Processing / Academic Press. 2009, p. 795.
5. Egorov A.V., Polyakov V.V. The Application of Principal-Component Analysis during Eddy-Current Testing of Aluminum Alloys. Russian Journal of Nondestructive Testing. 2015. Vol. 51. No. 10. Pp. 633-638.