

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИСКРЕТНОГО ВЕЙВЛЕТ-РАЗЛОЖЕНИЯ К АНАЛИЗУ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ПРИ РАЗРУШЕНИИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Дмитриев А.А.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Россия (656049, г. Барнаул, пр. Ленина, 61), e-mail: [dmitriev@asu.ru](mailto:dmitriev@asu.ru)

<sup>2</sup>Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия (634021, г. Томск, пр. Академический, 2/4)

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия (634050, г. Томск, проспект Ленина, 30)

---

Предложен и апробирован новый метод анализа сигналов акустической эмиссии, в котором в качестве одной из релевантных характеристик акустической эмиссии используется величина разброса значений сигнала, вычисляемая путем разбиения на равные временные блоки. Описана методика удаления шума из акустико-эмиссионного сигнала, основанная на анализе коэффициентов многоуровневого вейвлет-разложения. Проведены исследования и описаны результаты анализа акустических и деформационных эффектов в алюминиевых сплавах. Отмечено соответствие сигналов акустической эмиссии и хода деформационной кривой. Показано, что полученная временная развертка стандартных отклонений очищенного сигнала дает возможность контролировать развитие процесса разрушения материала. Развитие данного метода имеет перспективу для использования в качестве метода неразрушающего контроля для материалов, работающих в условиях тяжелых нагрузок непосредственно в процессе эксплуатации.

---

Ключевые слова: акустическая эмиссия, диагностика материалов, алюминиевые сплавы.

## APPLICATION OF DISCRETE WAVELETS-DECOMPOSITION METHOD TO ANALYSIS PARAMETERS OF ACOUSTIC EMISSION AT DESTRUCTION OF ALUMINUM ALLOYS

Dmitriev A.A.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup>Altai State University, Barnayl, Russia (656049, Barnayl, pr. Lenina, 61), e-mail: [dmitriev@asu.ru](mailto:dmitriev@asu.ru)

<sup>2</sup>Institute of Strength Physics and Materials Science of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russia (634021, Tomsk, pr. Akademicheskii, 2/4)

<sup>3</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia (634050, Tomsk, pr. Lenina, 30)

---

Proposed and tested a new method of analysis of acoustic emission signals in which the scatter signal values, calculated by dividing into equal blocks of time, is used as one of the relevant characteristics of the acoustic emission. Describes the instructional methods of removing noise of acoustic emission signals based on the analysis of the coefficients of multilevel wavelet-decomposition. The research was undertaken, and it describes the results of analysis of acoustic and deformation effects in aluminum alloys. The accordance of acoustic emission signals and turn the deformation curve was noted. Shown that the timebase of standard deviations of the purified signal allows to control the development process of the destruction of material. The development of this method has the prospect for using as a method of nondestructive control of materials working under heavy loads directly during operation.

---

Keywords: acoustic emission, diagnostics materials, aluminum alloys.

Изучение параметров акустической эмиссии является одной из актуальных задач акустико-эмиссионного контроля материалов. Эти параметры могут служить источником информации об особенностях зарождения и развития несплошностей и трещин в контролируемых материалах [4]. Признаки появления трещин обычно выражаются в виде резких изменений значений сигнала [5], а точность описания таких изменений зависит от степени зашумленности, вызванной работой устройств регистрации и внешними помехами.

В настоящей работе предложено в качестве одной из релевантных характеристик акустической эмиссии использовать величину разброса значений сигнала, вычисляемую путем разбиения на равные временные блоки. Такой подход позволяет разработать метод фильтрации шумовой составляющей акустико-эмиссионного сигнала, основанный на анализе его частотных свойств.

### **Методика проведения исследований**

Для исследования процесса разрушения материалов и получения сигналов акустической эмиссии был использован измерительно-вычислительный комплекс, состоявший из устройства регистрации сигнала акустической эмиссии, поступавшего с датчиков разрывной машины, и отдельного микропроцессорного измерительного блока, осуществлявшего измерение параметров кривой деформационного упрочнения (удлинения образца и приложенной силы). В процессе регистрации акустико-эмиссионного сигнала полученные данные передавались на персональный компьютер и записывались в отдельный файл. Значения модуля силы, приложенной к образцу, и удлинения образца предварительно обрабатывались специальной подпрограммой для устранения возможных ошибок измерения. После обработки данные сохранялись в промежуточный буфер, в котором содержались до запроса на передачу от персонального компьютера. Использование такого подхода позволило свести к минимуму задержки в процесс регистрации акустико-эмиссионного сигнала, но при этом сохранить данные об основных параметрах эксперимента [1].

Для апробации предложенного метода обработки были проведены статические испытания на растяжение образцов из алюминиевого сплава АМг5. Рабочая часть образцов имела форму плоского стержня с прямоугольным сечением, длина рабочей части между головками для захвата составляла 100 мм, начальная толщина и ширина рабочей части были равны 5 мм и 15 мм соответственно. Типичный вид сигнала акустической эмиссии, построенный в координатах «значение сигнала  $A_c$  – условная деформация (относительное удлинение образца)  $\varepsilon$ , и кривая деформационного упрочнения в координатах «условное напряжение  $\sigma$  – условная деформация  $\varepsilon$ », представлены на рисунке 1. Резкий обрыв кривой деформационного упрочнения соответствует разрыву образца на две части.

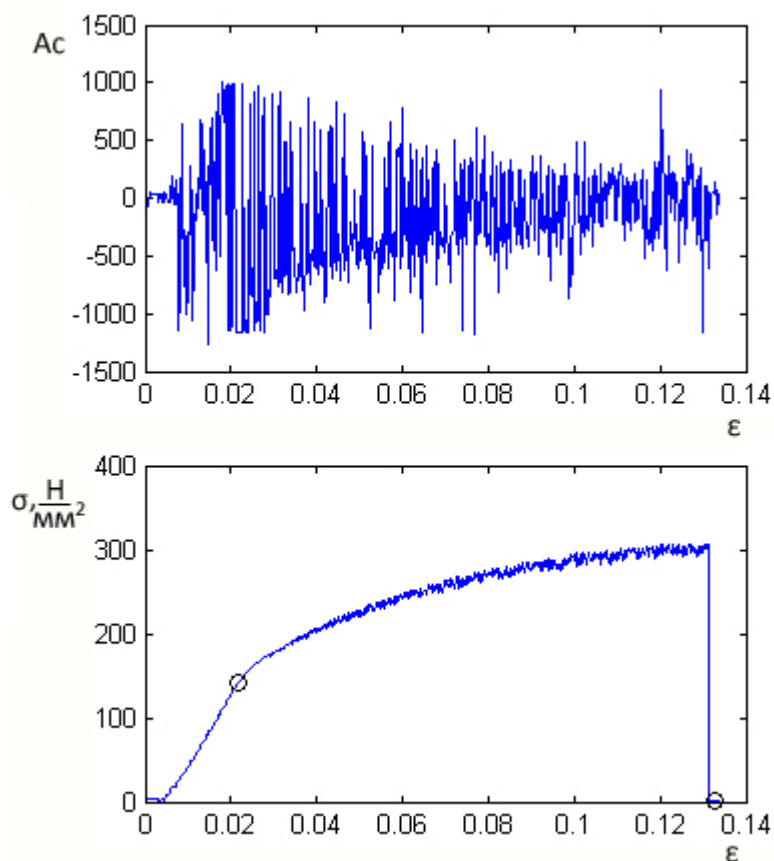


Рис. 1. Исходный сигнал акустической эмиссии и кривая деформационного упрочнения, полученные при растяжении образцов сплава АМг5.

### Результаты и обсуждение

Для анализа процессов, происходящих в материале при внешних механических воздействиях и вызывающих акустическое излучение, необходимо получить набор параметров, отражающий наиболее значимые характеристики процесса. Акустико-эмиссионный сигнал имеет сложную структуру, состоящую из вкладов множества процессов, происходящих при локальной перестройке структуры материала. Величина меры разброса значений сигнала в определенный промежуток времени позволяет судить о характере изменения эмиссионного сигнала. Так, начало трещинообразования в материале сопровождается сильными всплесками амплитуды регистрируемых упругих колебаний, происходящими преимущественно на стадии предразрушения и разрушения материала. Однако использование отдельных регистрируемых значений в качестве характеристик конкретного процесса затруднительно ввиду наличия шумовой составляющей в сигнале, которую необходимо нивелировать тем или иным образом [2].

Одним из способов выделения резких всплесков и выбросов в сигналах акустической эмиссии является анализ поведения стандартного отклонения, вычисляемого путем разбиения всего сигнала на равные временные блоки определенной длительности. В

настоящей работе для разбиения бралось по 10000 отсчетов, поскольку эта величина позволяла как охарактеризовать поведение акустико-эмиссионного процесса в целом, так и наличие в нем изменений, характерных для вкладов отдельных процессов. Типичная временная развертка значений стандартных отклонений, вычисленных при механических испытаниях образцов сплава АМг5, представлена на рисунке 2, где А – значение стандартного отклонения, вычисленного для блока под номером N.

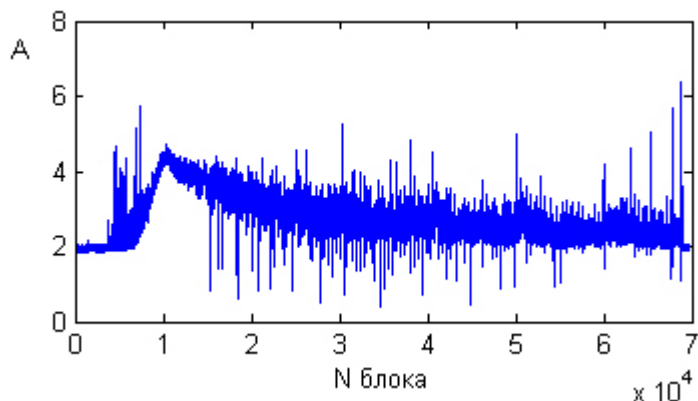


Рис. 2. Временная развертка стандартного отклонения сигнала акустической эмиссии при испытании образцов сплава АМг5

В качестве дальнейшего развития данного подхода для дополнительной обработки сигнала акустической эмиссии была использована методика дискретного вейвлет-анализа [3]. Данный подход предполагал декомпозицию исходного сигнала методом последовательной низкочастотной и высокочастотной фильтрации с последовательным уменьшением масштаба по временной шкале. Применение вейвлет-разложения позволило отдельно изучать поведение частотных составляющих сигнала на каждом уровне разложения [6].

Для зарегистрированного в эксперименте сигнала акустической эмиссии было проведено 12-уровневое разложение на коэффициенты аппроксимации и детализации сигнала. Анализ коэффициентов детализации разложения позволил выделить высокочастотную составляющую данного сигнала. Путем удаления коэффициентов детализации на старших уровнях вейвлет-декомпозиции была построена сглаженная кривая сигнала стандартных отклонений. По ней строился новый график изменений стандартных отклонений, типичный вид которого представлен на рисунке 3.

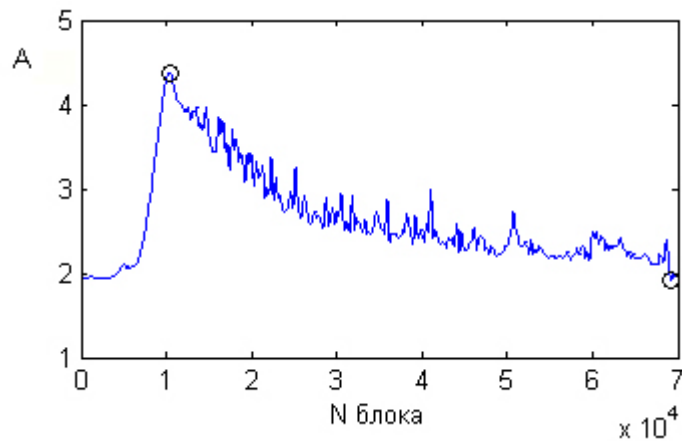


Рис. 3. Временная развертка сигнала акустической эмиссии при нагружении образцов сплава АМг5 после вейвлет-декомпозиции

Достижение максимального значения, очищенного от шумов сигнала (отмеченное кружком на рисунке 3, по-видимому, указывало на начало процессов разрушения в материале, проявлявшихся в появлении микротрещин. Соответствовавшая этому максимуму точка на кривой деформационного упрочнения (нижняя часть рисунка 1) также отмечена кружком. Положение этой точки позволяет оценивать значения деформации  $\varepsilon$  и напряжения  $\sigma$ , характеризующие начало разрушения. Минимальное значение кривой стандартных отклонений (также отмеченное кружком на рисунках 1 и 3) достигалось при завершении процесса разрушения и разрыве образца на две части.

### Заключение

В работе предложен метод, основанный на получении локальных стандартных отклонений сигнала акустической эмиссии, очищенных от шумового вклада при помощи вейвлет-разложения. На примере алюминиевых сплавов показано, что расчет локальных стандартных отклонений позволяет визуализировать акустико-эмиссионный сигнал целиком. Предложенный метод обработки акустико-эмиссионных сигналов позволяет также количественно описывать процесс разрушения материала и устанавливать связь между акустико-эмиссионными параметрами и механическими характеристиками материала.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0063) в рамках реализации Постановления Правительства РФ № 218.*

### Список литературы

1. Дмитриев А.А. Особенности обработки тензометрических данных в условиях импульсных электромагнитных помех / А.А. Дмитриев, А.М. Бартенев, А.В. Егоров // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – №1/2. – С. 195–196.

2. Кучерявский С.В. Применение методов анализа многомерных данных к исследованию структуры материалов / С.В. Кучерявский, В.В. Поляков // Заводская лаборатория. – 2007. – № 8. – С. 32-36.
3. Малла С. Вейвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 315 с.
4. Поляков В.В. Акустическая эмиссия при деформации пористого железа / В.В. Поляков, А.В. Егоров, И.Н. Свистун // Письма в Журнал технической физики. – 2001. – Т. 27, № 22. – С. 14-18.
5. Поляков В.В. Моделирование акустической эмиссии при разрушении пористых металлических материалов / В.В. Поляков, А.В. Егоров, А.А. Лепендин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2004. – Т. 70, № 8. – С. 31-36.
6. Yang L. Real-time acoustic emission testing based on wavelet transform for the failure process of thermal barrier coatings / L. Yang, Y.C. Zhou., W.G. Mao and C. Lu // Applied Physics Letters. – 2008. – Vol. 93, Issue 23: 231906-1-231906-3

**Рецензенты:**

Тарасов С.Ю., д.т.н., ведущий научный сотрудник ИФПМ СО РАН, г. Томск;

Колубаев А.В., д.ф.-м.н., профессор, заведующий лабораторией физики упрочнения поверхности ИФПМ СО РАН, г. Томск.