

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный
технический университет»

На правах рукописи

Зау Хейн

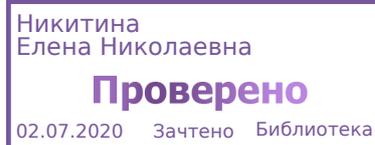
**Исследование характера развития повреждений в полимерных
композиционных материалах в условиях статических и малоцикловых
нагрузок методом акустической эмисии**

Направление подготовки

150100.68 «Материаловедение и технологии материалов»

**АВТОРЕФЕРАТ
МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

2020



Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный технический университет»

Научный руководитель

доктор технических наук,
доцент Башков Олег Викторович

Защита состоится 30 июня 2020 г. в 09:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.092.01 в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (ФГБОУ ВО «КНАГУ») по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д. 27, ауд. 201/ 3.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2020 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

При постоянно возрастающих требованиях к изделиям при строительстве в авиастроении, на транспорте актуальным вопросом становится применение современных методов неразрушающего контроля и мониторинга состояния конструкций (Structural Health Monitoring (SHM)), которые основаны на использовании регистрируемых данных с различных датчиков для прогнозирования ресурса. Одним из этих методов, как наиболее информативным методом анализа структурных изменений в материалах в реальном времени развития пластической деформации и разрушения дефектов, является метод акустической эмиссии. Он несет в себе описание дефектов, которые представляют собой информацию о механизмах и особенностях разрушения и о степени опасности их развития.

Дефекты в материалах, возникающие и развивающиеся при эксплуатации конструкций, можно вовремя оценить и установить степень опасности развития дефектов технического обслуживания, ремонта или периодического диагностирования. Неразрушающий контроль как правило проводится между периодами эксплуатации, например, если самолет — это процесс его межполётного ремонта, трубопроводов, сосудов, работающих под давлением, это период его технического обслуживания ремонта или периодического диагностирования либо для некоторых объектов требуется постоянный мониторинг. Тогда в процессе его эксплуатации метод акустической эмиссии как нельзя лучше подходит для контроля за опасностью развития различных дефектов, которые всегда есть в объектах, но важно вовремя выявить опасность их развития.

Большинство конструкций выполняются в форме пластины или элементов, созданных из пластин (корпус, крыло самолета, трубопроводы, сосуды). Поэтому является актуальным анализ волн, распространяющихся в пластинах. Как известно они испытывают трансформацию из-за дисперсионного свойства волн Лэмба. Волны испытывают существенные

трансформации и правильное выявление характера распространяющихся источников, определения по зарегистрированным сигналам АЭ характеристики развивающихся дефектов, как источника АЭ, является тоже актуальной задачей. Она требует корректировки критериев ранее разработанных для оценки дефектов. Поэтому большинство критериев используют так называемый амплитудный критерий, динамитрический критерий. По правилам использования метода АЭ в зависимости от расстояния до распространения волны необходимо использовать определенный подход к правке.

Актуальность исследовательской работы связана с необходимостью обеспечения уровня технического состояния несущих конструкций материалов в режиме реального времени или периодического контроля. Это требует разработки методик интегральной оценки поврежденности, позволяющих получить качественную и полезную информацию о техническом состоянии конструкций не только в процессе эксплуатации, но и при изготовлении выпускаемой продукции.

Целью работы является разработка новых методик оценки структурных изменений в листовых конструкционных материалах на основе оценки характера и типа развивающихся повреждений с использованием метода АЭ. Анализ состояния исследуемой проблемы, обоснование методов подхода к решению цели и задач.

Задачи исследования:

1. разработка математических моделей волн АЭ, распространяющихся в пластинах;
2. провести экспериментальные исследования развивающихся повреждений в пластинах конструкционных материалов, направленные на анализ и разработку критериев идентификации регистрируемых сигналов АЭ по видам источников разрушения;

3. разработка методики оценки характера развивающихся дефектов в пластинах конструкционных материалов на основе вейвлет анализа сигналов АЭ;

4. разработка методики идентификации развивающихся дефектов в пластинах конструкционных материалов на основе полученных результатов исследования.

Объект и предмет исследования

Для проведения испытания была подготовлена пластина алюминиевого сплава Д16 размером 500мм x 600мм и толщиной 8 мм. Излом грифеля карандаша (источник Су-Нильсена) на материале является стандартным инструментом, используемый в экспериментах как источником АЭ и применяются для проверки характеристик датчиков и определения пороговых значений обнаружения сигналов АЭ.

Научная новизна диссертационной работы заключается в ней:

1. Установлена связь между высокочастотными компонентами Фурье и вейвлет спектров зарегистрированных сигналов АЭ и характеристиками развивающихся дефектов в листах конструкционных материалов.

2. Разработана методика идентификации источников регистрируемых сигналов АЭ, если форма регистрируемых сигналов АЭ, их Фурье спектры имеют высокую степень сходства, при условии, что типы источников АЭ различаются.

3. Установлено, что при росте трещины, выявленной статическим и циклическим нагружением, различается характер и тип развивающегося дефекта, оцениваемого по регистрируемым параметрам АЭ.

Достоверность полученных результатов

Экспериментальные исследования проведены с использованием современного оборудования. Подготовка и испытания образцов проведены в соответствии с действующими государственными стандартами. При анализе данных АЭ пользовались апробированными методиками.

Практическая ценность диссертации. Разработана методика оценки характера типа развивающихся дефектов типа трещин, позволяющая на основе численного анализа отношения энергии частотных компонент, полученных в результате вейвлет разложения сигналов АЭ, выявленных при развитии дефектов в пластинах конструкционных материалов, находящихся на различных расстояниях от приемника.

Личный вклад автора

Личный вклад автора заключается в формулировании задач диссертационной работы, изготовлению и подготовке образцов, проведении механических испытаний и структурных исследований, анализе и обобщении экспериментальных данных, сопоставлении результатов исследований с известными литературными данными и формулировании выводов по полученным результатам.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика и критерии обработки сигналов АЭ, регистрируемых при различных расстояниях и видах источников, симулирующих разрушение.
2. Установленные связи между параметрами сигналов АЭ, регистрируемых при распространении волны АЭ и видами повреждений, характеризующих механизмы разрушения (твердость локальной зоны разрушения, скорость развития трещины) в исследуемом образце.
3. Методика идентификации типов развивающихся повреждений в конструкционных материалах на основе анализа зарегистрированных сигналов АЭ, распространяющихся в пластинах волн Лэмба.

Апробация результатов работы

Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на Молодежь и наука: Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2019 г; XVII региональная научная

конференция «Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование», Благовещенск, 16 Сентябрь 2019 г.

Публикации

По результатам исследований, проведённых в диссертационной работе опубликовано 2 научные работы, индексируемых в базах РИНЦ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений. Содержит 72 страниц основного текста, включая 4 таблицы, 26 рисунков и список литературы из 23 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности темы диссертационной работы, изложены основные направления проведённых исследований, сформулированы цель и задачи исследований.

В первой главе проведен аналитический обзор современного состояния способов применения акустической эмиссии для регистрации повреждений в материалах по теме диссертации. На основании анализа обзор современного состояния способов применения акустической эмиссии по теме диссертации изложена цель работы, сформулированы основные задачи исследования и необходимость практической способов реализации результатов работы.

Во второй главе приведены описание материалов, методов исследования, моделей распространения волн Лэмба в пластинах.

Измерение микротвердости образцов проводилось на микротвердомере SHIMADZU HMV-2. Микротвердость измеряли на специально подготовленных микрошлифах до и после проведения испытаний согласно программы исследований.

При выполнении диссертационной работы использовались как общепринятые методики определения усталостных характеристик и структурного состояния материала, так и методики анализа параметров

акустикой эмиссии, разработанные на кафедре «Материаловедение и технология новых материалов».

Экспериментальные данные проходили обработку с помощью пакетов прикладных программ (Microsoft Excel, MATLAB R2013b, Acoustic Emission Pro v2.0).

В третьей главе праведен результат экспериментальных исследований распространения волн АЭ в пластинах алюминиевого сплава Д16, зарегистрированных при симулировании развивающихся дефектов типа трещин источником Су-Нильсена.

Экспериментальные исследования по распространению волн АЭ провод в пластинах Д16. Возбуждение источник волн АЭ осуществлялось изломом грифеля карандаша раличных твердости (Су-Нильсена). В данной работе твердость характеризовала различные типы.

Для проведения исследований была изготовлена пластина алюминиевого сплава Д16. Размер пластины 500мм x 600мм x 8 мм. Трещины может быть происходит в различных местах в пластине, где действовал нагруждением. Поэтому для оптимизации источники, которые определенно распространения волн АЭ, проводили эксперимента. Источники расположены в глубине, в краю и на поверхности как показано на рисунке 1.

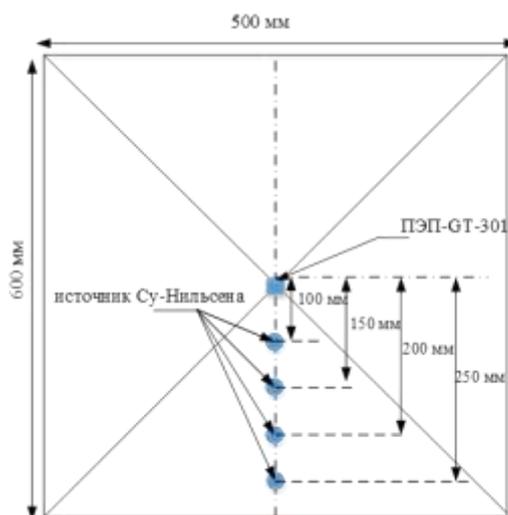


Рисунок 1. Схема расположения датчика и источников АЭ зависимость.

Для регистрации использовалась 4-канальная система АЭ на основе высокочастотного аналогового цифрового преобразователя PCI-9812 с частотой дискретизации 5 МГц. Датчик был установлен в центре пластины и подключен АЭ системе через предусилитель с коэффициентом усиления 40 дБ. Положения датчика и источников АЭ на поверхности пластины показаны на рисунке 2.

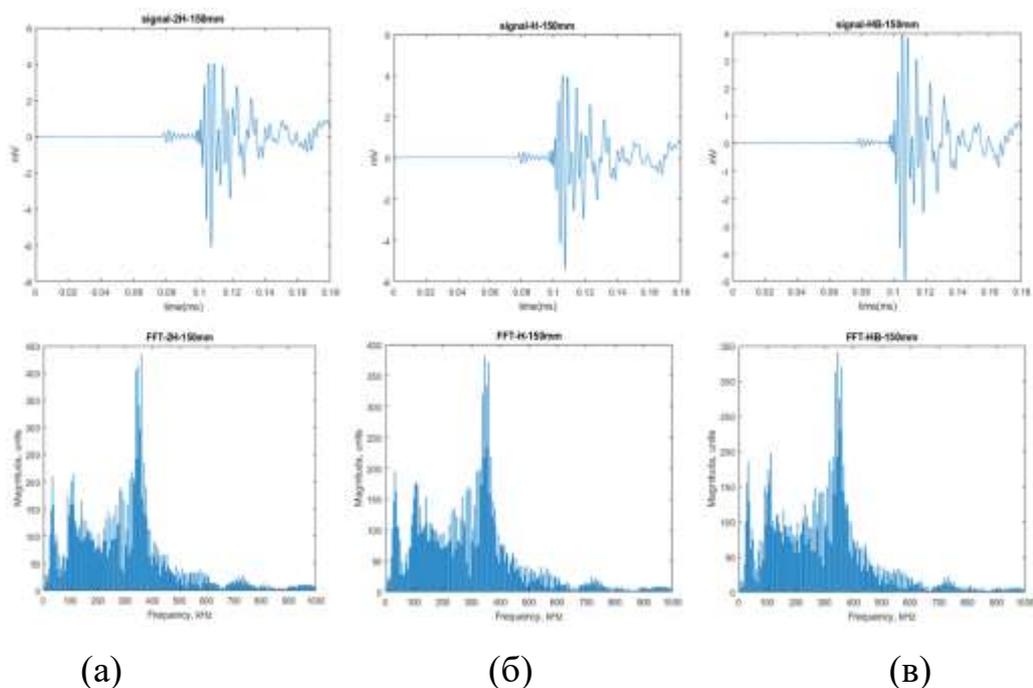


Рисунок 2. Регистрация сигналов АЭ 150 мм от датчиков с различной твердостью соответственно: а - твердость 2Н; б - твердость Н; в - твердость НВ

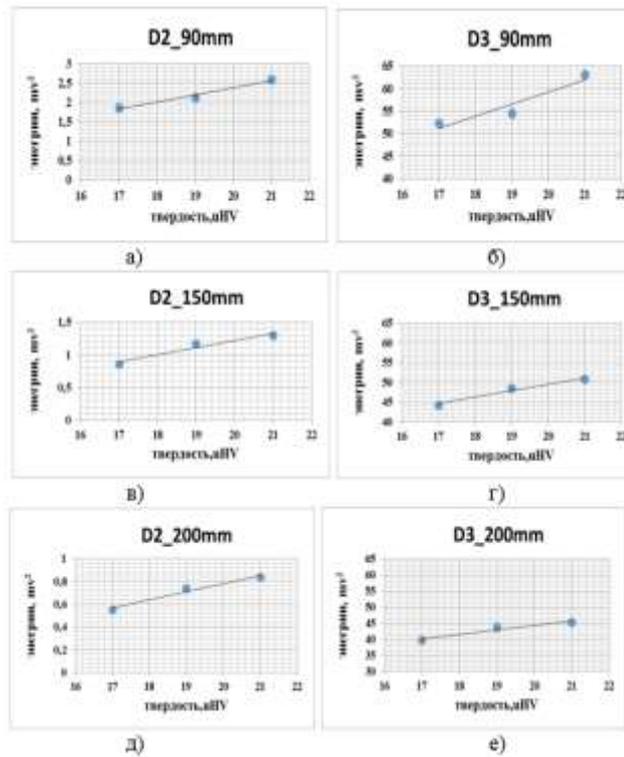
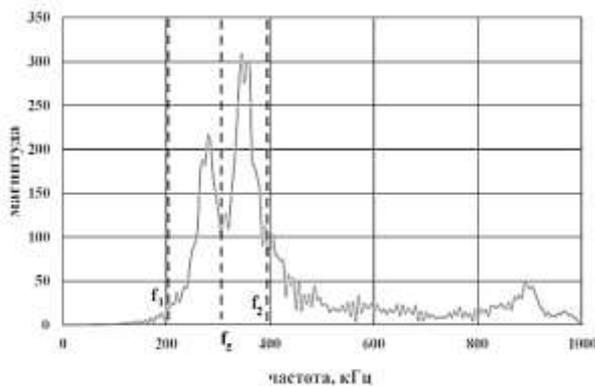
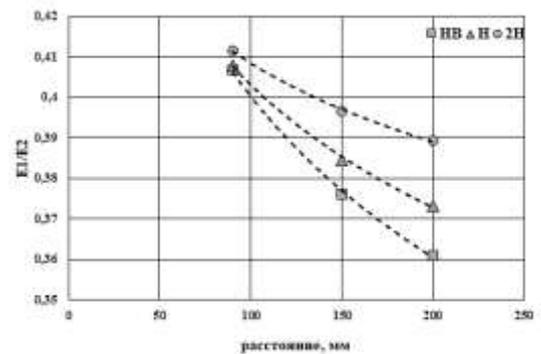


Рисунок 3. Энергия частотных компонент вейвлет декомпозиции сигналов АЭ, возбуждаемых источниками различной твердости:

- а, в и д - частотные компоненты 2-го уровня;
- б, г и е - частотные компоненты 3-го уровня;
- а и б - на расстоянии 90 мм до приемника;
- в и г - на расстоянии 150 мм до приемника;
- д и е - на расстоянии 200 мм до приемника.



(а)



(б)

Рисунок 4. а - Фурье спектрограмма разлагаемого d4 сигнала АЭ; б - Отношение $E1 / E2$ для источников с различной твердостью (HV, H, 2H)

В результате расчета энергии декомпозиции сигналов АЭ были построены диаграммы зависимости энергии от твердости источник разрушения для сигналов, зарегистрированных на различных расстояниях от

источника (100мм и 200мм) на рисунках 3,4. При анализе было установлено, что с увеличением расстояния энергии каждой декомпозиции зарегистрированных сигналов снижается, увеличения твердости источника разрушения приводит к повышению энергии каждой декомпозиции.

В четвертой главе Для проведения исследований были изготовлены образцы из алюминиевого сплава 1163 размером 54,4 мм с радиальной формой рабочей части радиусом 15 мм и шириной в наиболее узком сечении 2 мм. Образцы используют при проведении исследований на малоцикловую усталость. На каждом из исследуемых образцов по методу консольного изгиба на установке с электромагнитным приводом была выращена магистральная трещина, не превышающая половины сечения. Образцы с помощью специальной струбцины прижимались к поверхности пластины из алюминиевого сплава Д16, как показано на рисунке 5. Размер пластины 500 мм×600 мм×8 мм. Экспериментальный стенд включал вертикально установленную пластину с прижатым к ее краю образцом с выращенной трещиной. Консольная схема нагружающего устройства, приведенная на рисунке 5, позволяла выполнять изгиб образца на определенную величину с заданной скоростью.

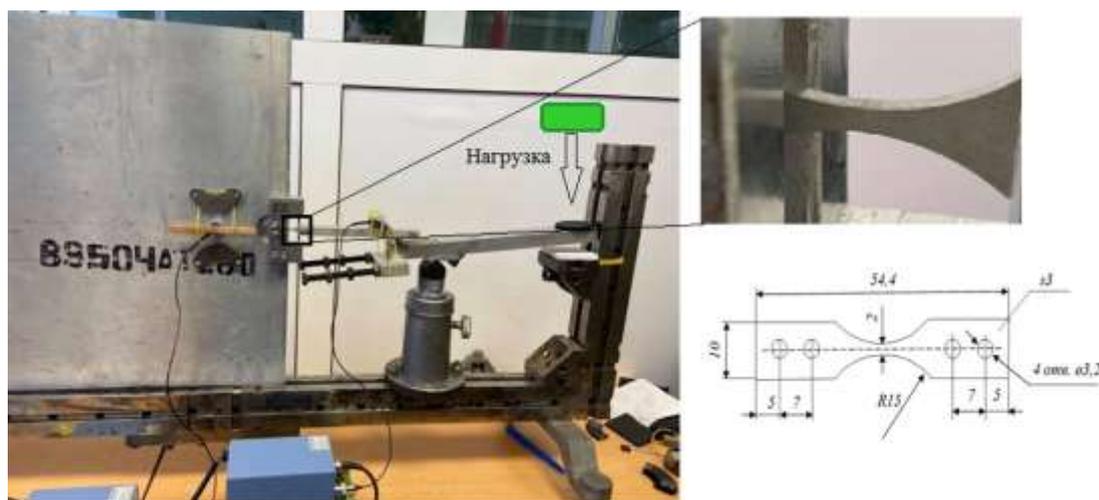


Рисунок 5. Экспериментальный стенд и исследуемый образец

После проведения эксперимента рассматривается изменение микроструктуры развивающейся трещины. Она показана на рисунке 6, на

котором видно что, как изменяется трещина и по длин, происходит изменение размеров существующих трещин до разрушения.

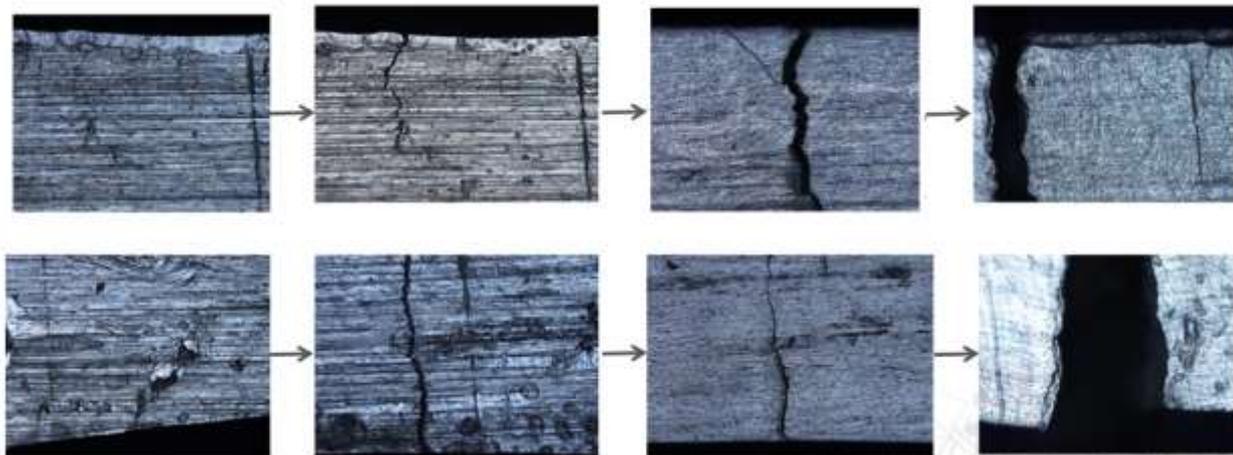


Рисунок 6. Микроструктура испытанный образец, разбивающих дефект

В результате обработки сигналов АЭ по анализе их Фурье спектров наблюдается две группы: диапазон частоты 100-200 кГц и частоты 200-400 кГц. При анализе типа источника подобные сигналы можно отнести к однотипным, не имеющим различий между собой в диапазоне частоты 200-400 кГц (рисунок 7).

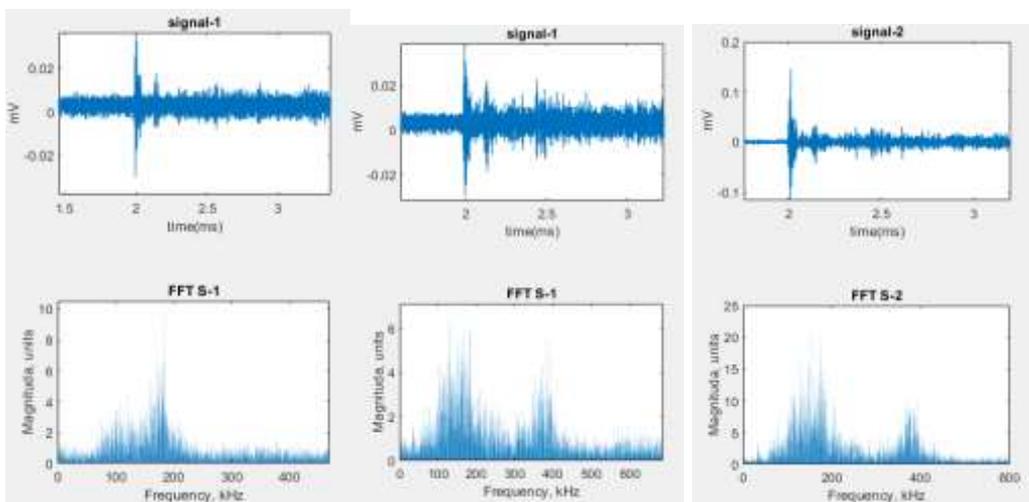


Рисунок 7. Сигналы АЭ и их Фурье спектры, зарегистрированные при рабитии трещинном

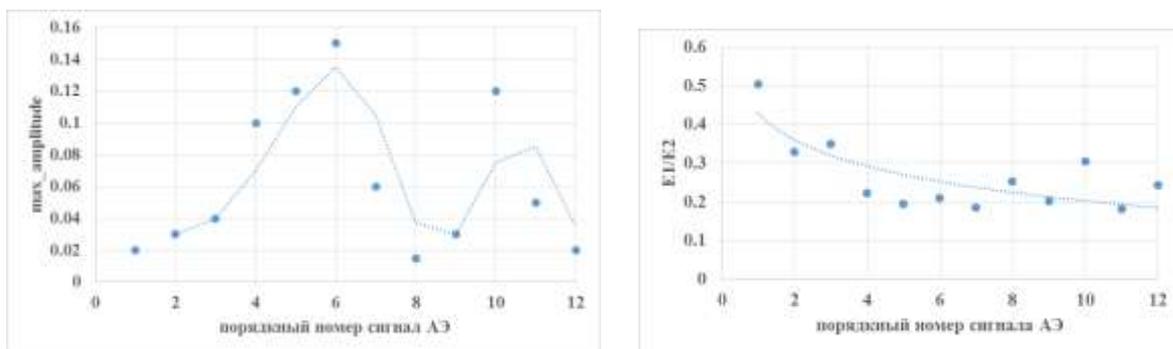


Рисунок 8. анализ сигналов АЭ, зарегистрированных при зарождении трещин

Из графика видно, что по мере уменьшения порядкового номера нагружения наблюдается тенденция к уменьшению отношения $E1/E2$ (рисунок 8). Параметр, определенный как отношение энергий $E1/E2$ в двух частотных диапазонах, определяемых положением пиков на Фурье спектре, характеризует отношение доли высокочастотной составляющей к низкочастотной.

Заключение

Получены результаты особенности распространения акустических волн в пластине алюминиевого сплава Д16, возбужденных изломом грифеля карандаша различной твердости. Установлено, что при увеличении частотного спектра нормализованная энергия сигналов АЭ и амплитуда сигнала возрастают с увеличением твердости источника АЭ.

Предложена методика идентификации развивающихся дефектов типа трещин с использованием нового критерия, основанного на расчете отношения энергии двух частотных диапазонов Фурье спектра компонент вейвлет разложения зарегистрированных сигналов АЭ.

На основании параметра АЭ, определенного как отношение энергий частотных диапазонов Фурье спектра, установлено, что при единичном кратковременном подрастании выращенной усталостной трещины происходит смещение зоны окружающей устье трещины, характеризуемой повышенной твердостью, сформированной в процессе накопления усталости,

в зону, охарактеризованную по параметрам АЭ как зону с большей пластичностью образца сплава 1163.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Зо Хейн, Кхун Х.Х, Башков О.В,. Исследование распространения волны Лэмба в тонкой пластине // Молодежь и наука: Актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований материалы всероссийской научно-технической конференции студентов и аспирантов и молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 08-12 апреля 2019 г.: в 2 ч. / редкол.: Э. А. Дмитриева (отв. ред.)[и др.]. - Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КНАГУ», 2019. – Ч. 1 - С.93-96.

Зо Хейн, Кхун Х.Х, Башков О.В,. Исследование волн акустической эмиссии, генерируемых различными типами источников в пластине // XVII региональная научная конференция «Физика: фундаментальные и прикладные исследования, образование», Благовещенск, 16 Сентябрь 2019 г.