

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор ИФПМ СО РАН

Е.А. Колубаев

2021 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

на диссертационную работу Кхун Хан Хту Аунг «Идентификация развивающихся повреждений в пластинах из алюминиевых сплавов Д16 и 1163 на основе применения метода акустической эмиссии», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – Материаловедение (в машиностроении)

На отзыв представлены рукопись и автореферат диссертации «Идентификация развивающихся повреждений в пластинах из алюминиевых сплавов Д16 и 1163 на основе применения метода акустической эмиссии».

**1. Актуальность избранной темы.** Оценка и прогнозирование роста усталостных трещин является неотъемлемой частью решения проблемы обеспечения безопасности и предотвращения возможных аварий при использовании технологического оборудования, в том числе летательных аппаратов. Большинство конструкций в период эксплуатации испытывают воздействие циклических нагрузок, что сопровождается накоплением повреждений и образованием трещин. Своевременное выявление развивающихся дефектов и оценка степени их критичности является важной как конструкторской, так и материаловедческой задачей. Однако в крупногабаритных конструкциях решение данной задачи сопряжено с целым рядом сложностей. Они обусловлены, во-первых, значительными по размеру габаритами конструкций и ограниченной доступностью мест проведения неразрушающего контроля. Во-вторых, ограниченной эффективностью

применения того или иного метода контроля для выявления и оценки размеров повреждений (дефектов).

Метод акустической эмиссии (АЭ) относится к числу немногих методов, позволяющих детектировать и выполнять локацию развивающихся дефектов в условиях интегрального охвата всего объекта контроля. Однако, получившие распространение критерии оценки поврежденности и степени опасности дефектов требуют проведения их корректировки на основе современных теорий разрушения применительно к структурному состоянию материалов. Кроме того упругие волны, генерируемые источниками акустической эмиссии, в процессе распространения в пластинах испытывают существенную трансформацию. Это требует введения адекватных моделей для характеристики параметров разрушения металлов и сплавов.

По этой причине построение моделей накопления повреждений и последующего инкрементного роста трещины при достижении суммарного критического уровня деформации в небольших областях перед ее вершиной является актуальной задачей, в том числе для целей получения достоверной оценки конкретного механизма разрушения.

## **2. Научная новизна** работы заключается в следующем:

1. Предложен новый подход к оценке параметров разрушения в изделиях, выполненных из металлических материалов, и разработана модель идентификации типов развивающихся дефектов типа трещин в пластинах алюминиевых сплавов, основанная на анализе параметров регистрируемых сигналов АЭ.

2. На примере алюминиевого сплава 1163 установлена связь между изменением микротвердости локальных зон металла (в областях, являющихся источниками акустической эмиссии, а именно в устье развивающейся трещины), и предложенным новым расчетным параметром акустической эмиссии, рассчитываемым как отношение энергий частотных диапазонов Фурье спектра компоненты вейвлет-преобразования АЭ сигнала.

3. Разработан критерий идентификации типов трещиноподобных дефектов как источников акустической эмиссии, развивающихся в пластинах

алюминиевых сплавов, характеризующихся структурным состоянием и совокупностью свойств материала, и регистрируемых на различном расстоянии от приемника акустической эмиссии.

**3. Практическая ценность** представленной работы заключается в разработке методики оценки развивающихся дефектов, являющихся источниками акустической эмиссии, при их регистрации на различном расстоянии от приемника акустической эмиссии. Методика основана на численном анализе отношения энергии частотных компонент, полученных в результате вейвлет-разложения сигналов АЭ. Для алюминиевого сплава 1163 получена зависимость количественного показателя микротвердости в устье трещины и проведен расчет параметра акустической эмиссии  $E_1/E_2$ , определяемого как отношение энергий частотных диапазонов Фурье спектра компонент вейвлет-преобразования сигнала АЭ и установлена их количественная взаимосвязь. Указанная методика неразрушающего контроля была применена для выявления локальных трещин в особо нагруженных местах в процессе поперечной обтяжки листового материала в прессе поперечной обтяжки (ПАО АХК «Сухой» «Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю.А. Гагарина»).

#### **4. Обоснованность и достоверность полученных результатов**

Достоверность и обоснованность полученных в работе экспериментальных результатов, выводов и рекомендаций обеспечена корректностью постановки задачи, использованием аттестованного оборудования, поверенных средств измерений и апробированных методик экспериментальных исследований, а также согласием полученных результатов, опубликованным данным других авторов.

#### **5. Структура и содержание работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных результатов и выводов, списка использованной литературы. Диссертационная работа написана на 140 страницах, содержит 59 рисунков, 8 таблиц, список литературы содержит 110 наименований.

**Во введении** обоснована актуальность темы, обозначена основная цель, определены задачи и сформулирована научная новизна исследований, отмечена практическая ценность, основные направления реализации диссертационной работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, дан обзор содержания диссертации.

**В первой главе** приведен обзор представленных в литературе механизмов разрушения конструкционных материалов. Рассмотрены вопросы о связи параметров разрушения с параметрами акустической эмиссии, проанализированы аспекты распространения акустических волн в пластинах, изучены критерии оценки повреждений в конструкционных материалах, рассмотрены применяемые для решения таких методов неразрушающего контроля.

**Во второй главе** приведено обоснование выбора материалов, методов исследований и испытаний, используемых диссертантом при проведении исследований. Описаны экспериментальные методики, примененные автором, выполнен анализ моделей распространения дефектов и волн Лэмба в пластинах различной толщины.

**В третьей главе** разработан способ идентификации повреждений в пластинах алюминиевых сплавов, содержащих локальные зоны развивающихся дефектов типа трещин и имеющих различную микротвердость.

**В четвертой главе** представлены результаты экспериментальных исследований разработанного метода, а также его практического использования. Предложен новый параметр для определения типа развивающихся источников акустической эмиссии.

## **6. Замечания по диссертационной работе**

При ознакомлении с текстом диссертации и ее авторефератом возникли следующие замечания:

1. При описании методик экспериментальных исследований не приведены полные характеристики оборудования, использованного для регистрации акустической эмиссии, а именно, параметры применяемых

преобразователей, коэффициент усиления и полоса пропускания усилителей и пр.

2. В тексте диссертации недостаточно развернуто описана консольная схема нагружающего устройства, что затрудняет понимание и достоверную оценку следующих факторов:

- как определены минимальные значения амплитуды напряжений, при которых проводили испытания образцы;
- по каким критериям определяли число циклов нагружения, а также их частоту приложения.

3. В диссертации при описании микроструктуры изломов на поверхностях разрушения недостаточно подробно представлено описание связи вида разрушения с параметрами зарегистрированных сигналов АЭ.

4. В тексте автореферата не проведена систематизация результатов исследований в части разработки математических моделей волн акустической эмиссии, распространяющихся в пластинах алюминиевых сплавов при развитии в них локальных повреждений.

Отмеченные выше недостатки не затрагивают сути основных выводов и выносимых на защиту положений и не умаляют в целом научной и практической значимости работы.

**7. Оформление диссертации.** Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям (ГОСТ Р 7.0.11-2011). Материал диссертации изложен последовательно и логично грамотным техническим языком. **Автореферат** диссертации соответствует её содержанию.

**8. Публикации по работе.** По теме диссертационного исследования опубликовано 16 научных работ, включающих 2 статьи в научных журналах из перечня ВАК, 4 статьи в изданиях из наукометрической базы данных Web of Science и Scopus, 7 публикаций в сборниках трудов конференций. Получен 1 патент РФ. Результаты широко обсуждены и апробированы на российских и международных конференциях.

## **9. Общая характеристика работы**

Диссертационная работа Кхун Хан Хту Аунг по совокупности результатов является завершенным научным исследованием, выполненной на достаточно высоком научном и методическом уровне, что, в том числе, подтверждается четкой формулировкой цели и задач, обоснованностью методологии исследований.

Основные выводы базируются на большом объеме экспериментальных работ с использованием современных экспериментально-аналитических методов исследования, интерпретацией данных на основе известных положений материаловедения, также рассмотрен опыт российских и зарубежных научных школ.

Поставленные в работе задачи были решены автором. Получены вполне логичные и аргументированные результаты и сформулированы выводы, характеризующие несомненной научной новизной.

## **10. Заключение**

Результаты диссертационного исследования вносят вклад в разработку экспериментальных методик, направленных на изучение влияния состояния микроструктуры на характер развития дефектов в материалах с использованием метода акустической эмиссии.

По своей актуальности, уровню решенных задач, научной новизне, теоретической и практической значимости, обоснованности научных положений и выводов, достоверности полученных результатов, уровню апробации и опубликованию основных положений в печати диссертационная работа Кхун Хан Хту Аунг «Идентификация развивающихся повреждений в пластинах из алюминиевых сплавов Д16 и 1163 на основе применения метода акустической эмиссии» соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а также П. 9 «Положения о присвоении ученых степеней ВАК Минобрнауки РФ», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а также паспорту специальности 05.16.09, а её автор Кхун

