

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

На правах рукописи

Башков Илья Олегович

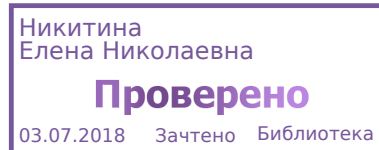
Исследование источников акустической эмиссии при взаимодействии полимерных материалов с лазерным излучением

Направление 22.04.01 – «Материаловедение и технология новых материалов»

**АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ**

на соискание академической степени магистра

2018



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

**Научный руководитель**

доктор технических наук

**Рецензент**

Матвеевко Дмитрий Викторович

кандидат технических наук

Защита состоится «27» июня 2018 года в 9 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 22.04.01 «Материаловедение и технологии материалов» в Комсомольском-на-Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 202

Автореферат разослан 25 июня 2018 г.

Секретарь ГЭК

Белова Инна Валерьевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В последнее десятилетие в мире все очевиднее обозначилась нарастающая тенденция вытеснения композиционными и гетерогенными материалами металлов и их сплавов практически во всех областях машиностроения. Особенно активно этот процесс происходит в авиастроении и автомобилестроении, приняв в экономически развитых странах всеобъемлющий характер. Это в значительной степени обусловлено существенными преимуществами таких материалов по целому ряду эксплуатационных и функциональных свойств. В целях безопасности больше внимания следует уделять анализу технических условий транспортных и инженерных устройств на опасных производственных объектах. Одной из новейших технологий диагностики материалов является акустическая эмиссия.

**Цель:** Основной целью научной работы является анализ результатов взаимодействия лазерного излучения с неоднородной структурой полимерного композиционного материала.

### **Задачи:**

1. Разработать высокочувствительные волоконно-оптические датчики акустической эмиссии (АЭ), функционирующие на базе лазерных интерферометров, для регистрации АЭ волн, генерируемых в композиционных материалах при повреждении полимерной матрицы связующего и армирующего наполнителя.

2. Разработать методики регистрации и анализа сигналов АЭ, выделения их на фоне помех.

3. Выполнить анализ параметров АЭ, регистрируемых различными видами датчиков при искусственном возбуждении волн АЭ в полимерном композиционных материалах, полученных различными методами формования и при наличии повреждений в виде излома.

### **Объект и предмет исследования**

Объектом исследования является оценка влияния лазерного излучения на полимерные композиционные материалы. Предметом исследования являются образцы композиционных материалов вакуумного и вакуум-

автоклавного формования, содержащие 6 и 12 слоев стеклоткани.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач применялись методы акустической эмиссии и электронной сканирующей микроскопии.

**Научная новизна полученных результатов.**

1. Методом АЭ получены графики воздействия импульсного лазерного излучения на полимерный композиционный материал, выполнен анализ параметров АЭ, регистрируемых различными видами датчиков при искусственном возбуждении волн АЭ в полимерном композиционных материалах, полученных различными методами формования и при наличии повреждений в виде излома.

2. Разработаны высокочувствительные волоконно-оптические датчики АЭ, функционирующие на базе лазерных интерферометров, для регистрации АЭ волн, генерируемых в композиционных материалах при повреждении полимерной матрицы связующего и армирующего наполнителя.

**Достоверность и обоснованность результатов исследования**

Достоверность полученных и представленных в диссертации результатов подтверждается использованием современных независимых, взаимодополняющих методов исследования, согласованностью с данными теоретических исследований.

**Практическая значимость работы.** Результаты работы могут быть применены для контроля состояния объектов из ПКМ, а также для оценки поврежденности реальных объектов, находящихся в эксплуатации.

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

**Основные положения работы, выносимые на защиту:**

1. Выявленные зависимости параметров АЭ, зарегистрированных при взаимодействии лазерного излучения с полимерными композиционными материалами, от типа формования, качества формованных образцов и дефектов типа трещин в полимерных композиционных материалах.

2. Разработанные волоконно-оптические датчики и результаты анализа волн АЭ, распространяемых в полимерных композиционных материалах и регистрируемых волоконно-оптическими и пьезоэлектрическими датчиками.

**Апробация результатов работы.** Результаты диссертационной работы представлены на:

1. Всероссийской конференции с международным участием, Тольятти, 28 мая – 1 июня 2018.

2. Конференция студентов и аспирантов, проводимая в КНАГУ, Комсомольск-на-Амуре, 14 апреля 2018.

**Публикации.** По материалам работы опубликовано 5 печатных работ, из них 4 статьи, 2 доклада на конференциях (из них 1 на конференции с международным участием). Одна статья опубликована в издании, рекомендованном ВАК, четыре работы в журналах, входящих в базу данных Scopus и/или Web of Science:

1. О.В. Башков, Р.В. Ромашко, В.И. Зайков, С.В. Панин, М.Н. Безрук, К. Кхун, И.О. Башков. Детектирование сигналов акустической эмиссии волоконно-оптическими интерференционными преобразователями// Дефектоскопия, 2017, № 6. С. 18-25

2. Bashkov O. V., Romashko R. V., Zaikov V. I., Panin S. V., Bezruk M. N., Khun K., and Bashkov I. O. Detecting Acoustic-Emission Signals with Fiber-Optic Interference Transducers// Russian Journal of Nondestructive Testing, 2017, Vol. 53, No. 6, pp. 415–421, DOI: 10.1134/S1061830917060031

3. Bashkov O.V., Zaikov V.I., Khon H., Bryansky A.A., Bashkov I.O., Romashko R.V. Registration of acoustic emission in composite material by fiber-optic sensors based on adaptive interferometer// Advances in Engineering Research, Proceedings of the International Conference "Actual Issues of Mechanical Engineering", 2017, V. 133, P. 79-84

4. Bashkov O. V., Romashko R. V., Khon H., Bezruk M. N., Zaikov V. I., and Bashkov I. O. Detection of acoustic emission waves in composite plates by fiber optic sensors// AIP Conference Proceedings 1909, 020013 (2017), <https://doi.org/10.1063/1.5013694>

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, 3 глав, списка литературы; изложена на 99 страницах, включает 31 рисунок, 8 таблиц. Список литературы содержит

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования диссертации, сформулирована цель работы и определены основные задачи исследований, отмечена научная новизна.

**В первой главе** приведен обзор существующих видов композитов и способов их лазерной обработки. Выделены несколько видов взаимодействия лазерного излучения с полимерными материалами, выдвинуто предположение, что аналогичные повреждения можно ожидать от композита, армированного тканью. Так же приведены несколько методов неразрушающего контроля и рассмотрены способы регистрации акустической эмиссии.

**Во второй главе** приведена характеристика используемого полимерного композиционного материала и характеристика лазера. На каждой из пластин было добавлено повреждение, после чего при сопровождении АЭ метода была проведена импульсная лазерная обработка этих образцов и описана методика проведения исследований. Описан процесс встраивания оптических волокон в полимерный композиционный материал и регистрация АЭ с помощью адаптивного интерферометра.

**Третья глава** посвящена анализу данных акустической эмиссии и микроскопического исследования полученных при лазерном воздействии на образец.

Регистрация сигналов АЭ выполнялась двумя каналами. Применение двух каналов обусловлено оценкой влияния параметров канала (усиление, АЧХ) на характеристики регистрируемых сигналов и правильность оценки результатов. Канал первый – усиление 60 дБ, второй канал – усиление 20 дБ. Для обеспечения статистической точности проводимых экспериментов выполнялось лазерное импульсное воздействие на поверхность полимерного композиционного материала по несколько раз (минимум 3 испытания) в близко расположенных друг от друга местах композиционной пластины. Для

установления влияния прохождения АЭ волны через повреждение в композите, в образце было выполнено разрушение части образца в виде излома. Лазерное импульсное воздействие осуществлялось при расположении датчика АЭ до излома и после излома.

По результатам оценки регистрируемых параметров АЭ можно выявить существенное различие между сигналами и их параметрами при регистрации волн в условиях их прохождения по пластине полимерного композита без дефекта и с искусственно созданным дефектом. На диаграмме зависимости «энергия АЭ – медианная частота» (рисунок 3.1) можно отметить общее понижение медианной частоты и энергии для большей части регистрируемых сигналов АЭ после прохождения дефекта. Это можно объяснить рассеянием волн на дефектах поврежденной структуры: высокочастотные компоненты сигналов имеют большее затухание в связи с дифракцией волн на препятствиях, возникающей при равенстве или близости размеров дефектов к длине волны излучения.



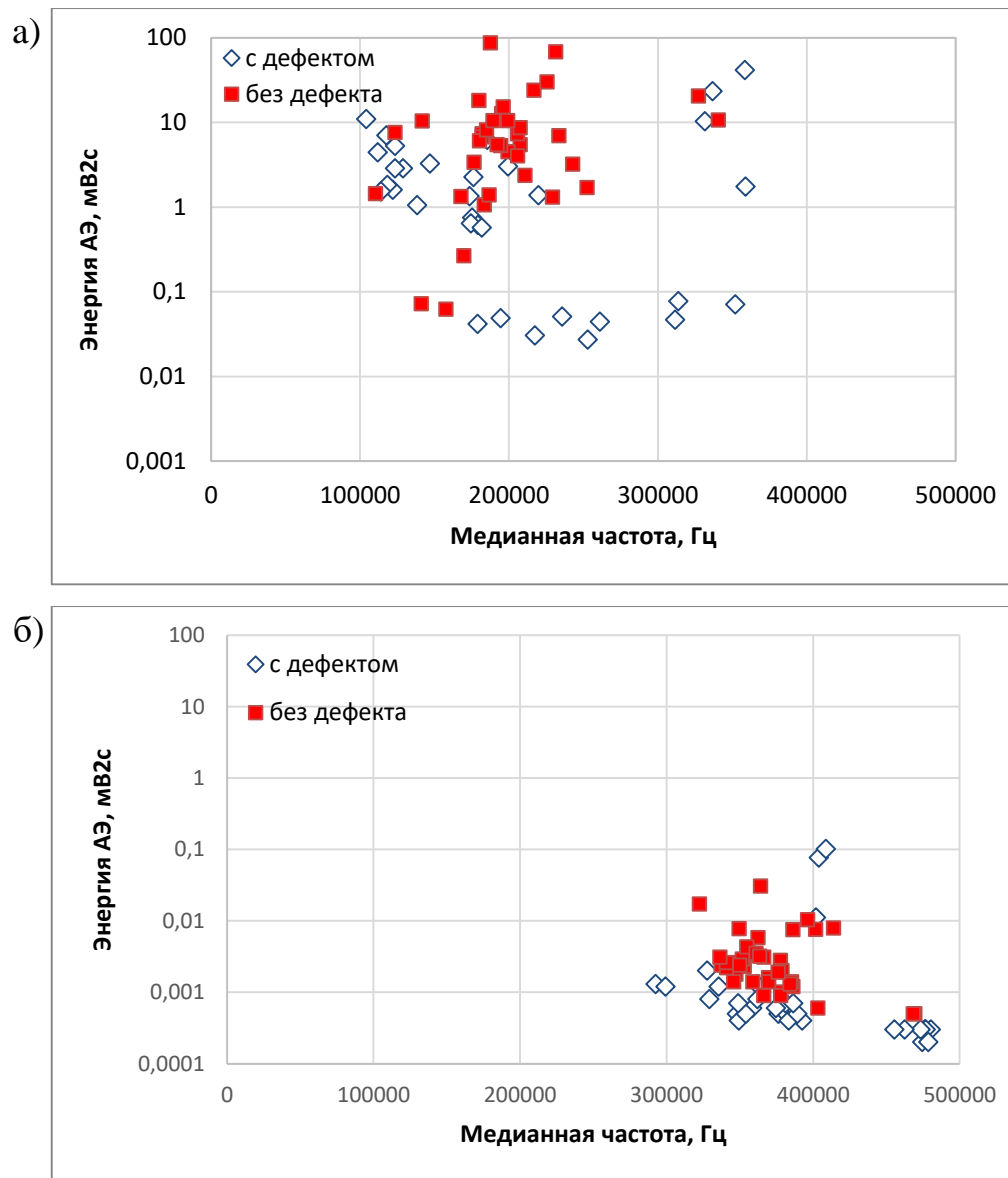


Рисунок 3.1 - Двухпараметрическое распределение сигналов АЭ «Энергия – Медианная частота», зарегистрированное при прохождении АЭ волн в ПКМ, полученном вакуумным методом формования:  
 а - канал с усилением 60 дБ; б - канал с усилением 20 дБ

При анализе АЭ волн, регистрируемых в материале, полученном вакуумно-автоклавным методом формования, наблюдается подобная зависимость (рисунок 3.2).

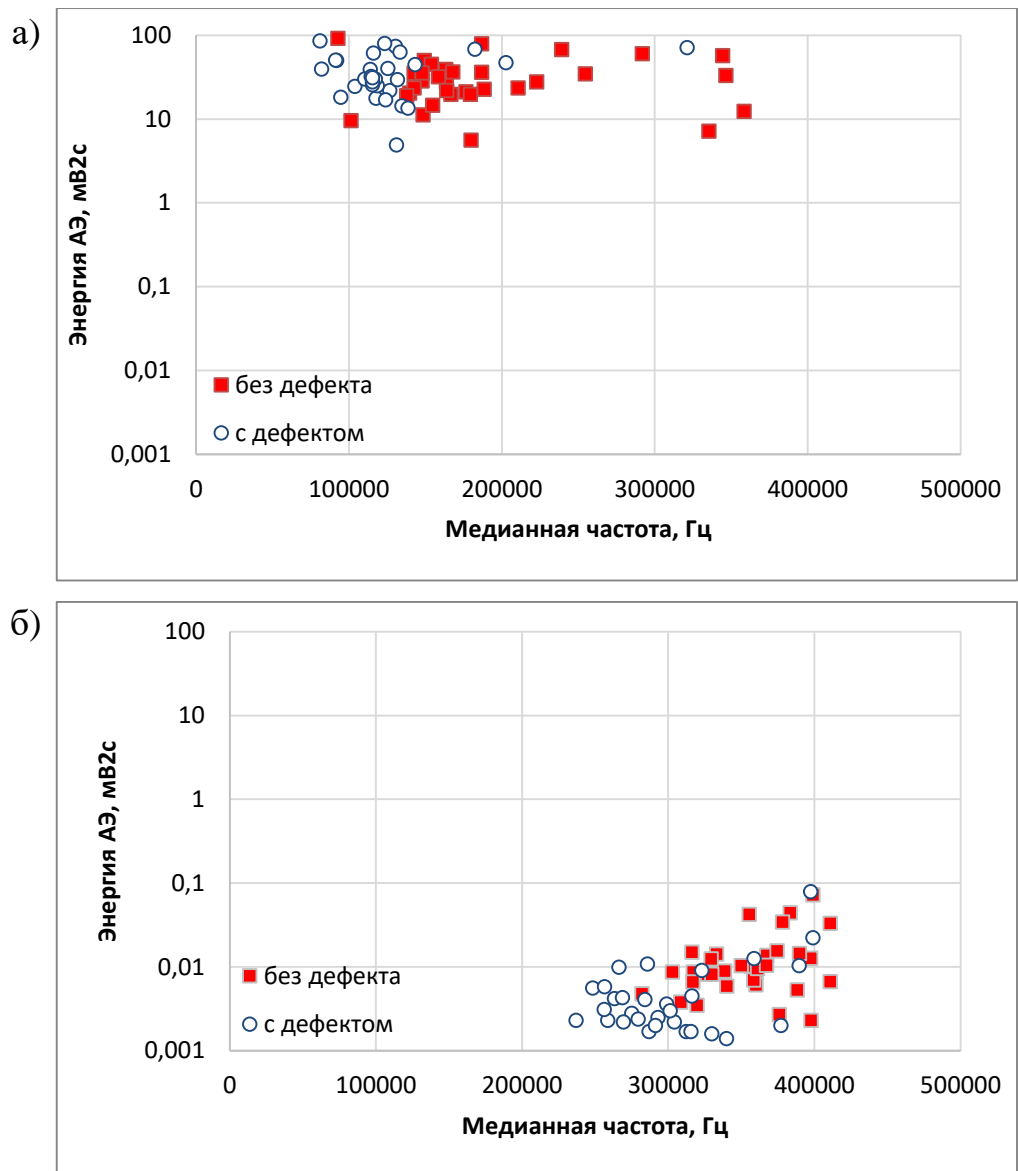


Рисунок 3.2 - Двухпараметрическое распределение сигналов АЭ «Энергия – Медианная частота», зарегистрированное при прохождении АЭ волн в ПКМ, полученном вакуум-автоклавным методом формования:  
 а - канал с усилением 60 дБ; б - канал с усилением 20 дБ.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Методом АЭ выявлены зависимости воздействия импульсного лазерного излучения на полимерный композиционный материал, выполнен анализ параметров АЭ, регистрируемых различными видами датчиков при искусственном возбуждении волн АЭ в полимерном композиционных материалах, полученных различными методами формования и при наличии повреждений в виде излома. Существенного различия в структуре разрушения, обнаруженного в зоне воздействия лазерного излучения на полимерный композиционный материал, полученный различными методами формования, не обнаружено. Однако, в прохождении волны акустической эмиссии, порождаемой лазерным воздействием, наблюдается различие, характеризующееся в общем виде как снижение энергии и медианной частоты сигналов АЭ при прохождении через композиционный материал, содержащий дефект повреждения в виде излома и при прохождении через материал, не содержащий дефекта в виде локального повреждения, но имеющий в структуре поры, характерные для технологии вакуумного формования.

В ходе работы были разработаны высокочувствительные волоконно-оптические датчики АЭ, функционирующие на базе лазерных интерферометров, для регистрации АЭ волн, генерируемых в композиционных материалах при повреждении полимерной матрицы связующего и армирующего наполнителя. Установлено, что регистрация АЭ с помощью волоконно-оптических датчиков является возможной.