

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Клопотова Анатолия Анатольевича на диссертационную работу Дерусовой Дарьи Александровны «Разработка и исследование лазерно-виброметрического метода неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов с применением контактных и воздушно-связанных излучателей», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

1. Актуальность темы диссертационной работы

Полимерные композиционные материалы представляют собой сложные объекты неразрушающего контроля ввиду слоистой структуры, для которой характерны дефекты в виде множественных расслоений. Ввиду широкого применения композитов при изготовлении объектов авиационной, транспортной и ракетно-космической промышленности, вопрос обеспечения качества и безопасной эксплуатации изделий из композитов путем создания новых методов и оборудования неразрушающего контроля является актуальной темой научных исследований.

2. Краткий обзор содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка цитируемой литературы, приложений и содержит 301 страницу машинописного текста, 136 рисунков, 15 таблиц, трех приложений. Список использованных источников включает 256 наименований.

Во введении описана актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи работы, положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость полученных результатов, приведены сведения об апробации работы.

В первой главе приведен обзор методов неразрушающих испытаний изделий из современных конструкционных материалов с использованием оборудования лазерной виброметрии, описан принцип действия, назначение и области применения лазерной виброметрии, обозначены тенденции развития метода и последние достижения в области модификации промышленного оборудования на его основе.

Общий объем процитированной литературы достаточно большой и равен 256 источникам. Среди процитированной литературы большое количество ссылок на современные научные публикации. Это свидетельствует о том, что Д.А. Дерусова хорошо

знакомы с областью научного направления, в котором она работает и это позволяет сделать вывод о достаточности глубины проработки обсуждаемого вопроса.

Во второй главе сформулированы основы метода лазерно-виброметрического неразрушающего контроля материалов с использованием контактной акустической стимуляции при резонансных колебаниях дефектов. Рассмотрены механизмы теплогенерации, сопровождающие процесс резонансной стимуляции дефектов как на частоте основного резонанса, так и на её высших гармониках. Экспериментально и теоретически в трехмерном представлении исследованы дефекты простой геометрической формы в гомогенных полимерах и многослойные дефекты в углепластиковых и стеклопластиковых композиционных материалах.

Особо следует отметить успешное применение метода лазерно-виброметрического контроля для исследования объектов авиакосмического назначения. А именно, было проведено исследование наноспутника «Томск-ТПУ-120» методом неразрушающего контроля, разработанного в данной работе.

В третьей главе представлены результаты исследования воздушно-связанного магнитострикционного излучателя, принцип работы которого основан на мощной ультразвуковой стимуляции фиксированной частоты. Результаты исследований позволили оптимизировать конфигурацию волноводов для повышения эффективности электромеханического преобразования энергии и ультразвуковой стимуляции материалов в целом. Определены условия проведения неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов с использованием бесконтактной УЗ стимуляции и лазерного вибросканирования путем регулирования угла ввода ультразвука и обеспечения фазового согласования падающей на объект исследования и отраженной от него волн.

Необходимо отметить важный результат, полученный в этой главе, по повышению эффективности бесконтактного ввода ультразвука и неразрушающего контроля в основе которого лежит фазовая синхронизация падающей и отраженной волн.

В четвертой главе предложен метод электроакустической бесконтактной стимуляции композитов с использованием газоразрядного излучателя, предложено устройство для бесконтактной акустической стимуляции материалов, позволяющее возбуждать акустические волны с помощью импульсного электрического разряда. Проведено исследование конструкции, вибрационных и эксплуатационных характеристик воздушно-связанного газоразрядного излучателя, а также показаны результаты его практического применения для неразрушающего контроля композитов. По результатам исследований показано, что газоразрядный излучатель является мощным широкополосным источником акустического сигнала, генерирующим акустические волны

в диапазоне частот до 4 МГц. Определена оптимальная конфигурация электродной системы для эффективной передачи энергии из области плазмы разряда в окружающую среду. Показано, что при проведении неразрушающих испытаний материалов с использованием газоразрядного излучателя происходит активация собственных частотобъекта исследования и резонансных частот его дефектов, а в воздушном пространстве между излучателем и материалом не формируется стоячая волна. Полученные данные подтверждают возможность осуществления бесконтактной широкополосной стимуляции материалов, и также расширяет возможности диагностики композитов, тонких, хрупких и гидрофильных материалов с минимизацией внешних воздействий на контролируемые объекты.

В заключении сформулированы основные итоги выполненного научного исследования, а также приведены выводы по каждой главе диссертации.

Диссертационная работа дополнена актом внедрения, подтверждающим практическую значимость работы.

3. Научная новизна и практическая значимость результатов диссертационной работы

Научная новизна диссертационного исследования заключается:

1. Теоретически и экспериментально в трехмерном представлении исследованы физические феномены, лежащие в основе явления локального резонанса дефектов.

2. Установлены зависимости термо- и виброакустических откликов в дефектах композитов от спектрального состава сигнала возбуждения при их акустической стимуляции.

3. Определена оптимальная конфигурация воздушно-связанного магнитострикционного преобразователя и условия его размещения по отношению к объекту контроля, что позволило повысить достоверность результатов лазерно-виброметрического контроля.

4. Разработан воздушно-связанный газоразрядный излучатель и исследованы электроакустические эффекты, возникающие в ходе его эксплуатации; показано, что амплитуда виброперемещения на мембране излучателя приблизительно пропорциональна энергии, запасенной в емкостном накопителе на момент пробоя газоразрядного промежутка, а для эффективной передачи энергии из области плазмы разряда необходимо регулировать межэлектродный зазор.

5. Предложен метод электроакустической бесконтактной стимуляции композиционных материалов с использованием газоразрядного излучателя, позволяющий осуществлять широкополосную акустическую стимуляцию композитов.

Практическая значимость диссертации Д.А. Дерусовой заключается в следующем:

1. Создан лабораторный стенд лазерно-виброметрического и термоакустического неразрушающего контроля материалов.

2. Разработан воздушно-связанный магнитострикционный преобразователь оптимальной конфигурации для лазерно-виброметрического метода неразрушающего контроля композитов.

3. Разработан и исследован газоразрядный излучатель для генерации акустических волн в воздушной среде при проведении неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов бесконтактным способом.

4. Достоверность полученных результатов и выводов

Достоверность полученных научных результатов и выводов, изложенных в диссертационной работе Дерусовой Дарьи Александровны, подтверждается сходимостью аналитических расчетов с результатами численного моделирования и экспериментальных исследований и обусловлена согласием данных, полученных различными экспериментальными методиками, и их соотношением с данными других авторов и непротиворечивостью существующим научным представлениям. Методология научных исследований основана на общепринятых теоретических подходах, которые проверены на практике с использованием высокотехнологичного оборудования лазерной виброметрии и инфракрасной термографии.

О достоверности результатов диссертационной работы свидетельствует также их апробация, которая представлена в виде 30 статей в рецензируемых журналах.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертационного исследования.

5. Недостатки работы и замечания

1. Фазовое изображение температурного градиента в области заложенного дефекта в углепластиковом композите, полученное при широкополосной акустической стимуляции (рисунок 2.15, в), характеризуется низким отношением сигнал/шум, что связано с проблемой поддержания высокой амплитуды напряжения, подаваемого на пьезоизлучатель. Целесообразно ли в этом случае регистрировать термограммы при

широкополосной акустической стимуляции или достаточно анализа тепловыделения на частоте основного резонанса дефекта?

2. В разделе 2.5.2 приведены сравнительные результаты ультразвукового контроля и лазерной виброметрии ударного повреждения в угепластиковом композите. Показано, что площадь дефекта, измеренная лазерным виброметром, на 85% соответствует результатам ультразвукового контроля, однако для сравнения использовались результаты С-сканирования пластины только на глубине 0,1 мм и 1,4 мм от контролируемой поверхности. Ввиду этого не понятно, учитывались ли в ходе анализа расслоения, расположенные в промежуточных слоях композита?
3. Диаграмма направленности газоразрядного излучателя, приведенная на рисунке 4.17 (б) в декартовой системе координат, не совпадает с соответствующими значениями диаграммы направленности, приведенной в полярной системе координат на рисунке 4.17 (а).
4. Не на всех графиках указаны погрешности экспериментально измеряемых величин. Например, на рис. 4.21, 4.48, 4.49 и других.

6. Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, поставленные задачи решены вполне корректно с научной точки зрения, результаты проведенных исследований достоверны и отличаются научной ценностью, что подтверждается наличием публикаций в ведущих научных изданиях. Список публикаций автора содержит 43 печатных работы, включая 28 публикаций, включенных в базы данных Scopus и Web of Science, 38 публикаций в сборниках трудов конференций, 38 публикаций, индексируемых в РИНЦ, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Содержание автореферата в краткой форме отражает основные результаты, полученные в рамках диссертационного исследования.

Таким образом, представленный в диссертации объем результатов, их актуальность, высокий научно-методический уровень работы, полученная научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов позволяют сделать вывод, что диссертация Д.А. Дерусовой является завершенной научно-квалификационной работой, в которой получены новые научно обоснованные результаты по созданию методики лазерно-виброметрического контроля материалов с использованием резонансных явлений в области дефектов, что отличается актуальностью в области разработки методов неразрушающего контроля современных композиционных материалов.

Учитывая вышеизложенное, считаю, что диссертационная работа Дерусовой Дарьи Александровны «Разработка и исследование лазерно-виброметрического метода неразрушающего контроля полимерных и композиционных материалов с применением контактных и воздушно-связанных излучателей» соответствует п. 2.1 Положение о порядке присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, а ее автор, Дерусова Дарья Александровна, заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 2.2.8 – Методы и приборы контроля и диагностики материалов, изделий, веществ и природной среды.

На обработку персональных данных согласен.

Доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет», профессор кафедры прикладной механики и материаловедения



Клопотов Анатолий Анатольевич
08.12.2023 г.

Подпись Клопотова Анатолия Анатольевича удостоверяю,
Учёный секретарь Томского государственного архитектурно-строительного университета



Какушкин Юрий Александрович

Юридический адрес: ~~ФБГОУ ВО~~ «Томский государственный архитектурно-строительный университет», 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2. рабочий телефон: +7 (382) 65-07-23, электронная почта: ~~klopotova@tsu.ru~~