

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертационную работу Еремина Александра Вячеславовича
«Мониторинг оптическим и акустическим методами состояния армированных
полимерных и металлических материалов при усталостном разрушении»
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ,
материалов и изделий

С каждым годом возрастают требования промышленности к безопасной эксплуатации изделий и конструкций. При этом существенная доля выходов из строя связана с появлением механических повреждений вызванных усталостью и общей деградацией структуры и свойств материала. Решение данной проблемы может быть достигнуто за счет эффективного и надежного контроля состояния элементов конструкций, однако традиционные способы выявления повреждений, зачастую не обладают либо достаточно высокой производительностью, либо достоверностью получаемых результатов. По этой причине актуальной задачей является разработка систем мониторинга структурной целостности (SHM), обеспечивающих высокий уровень достоверности обнаружения повреждений, высокую производительность и автоматизацию процесса контроля.

Одним из подходов в рамках SHM является комбинированное использование акустического и оптического методов позволяют преодолеть недостатки каждого из них в отдельности и получить возможность многомасштабной характеристики процессов деформации и разрушения, а также оценку степени поврежденности материала. По этой причине диссертационную работу А.В. Еремина, направленную на разработку подходов и методов к проведению мониторинга состояния материалов в процессе циклического нагружения с применением оптического (на основе метода корреляции цифровых изображений) и акустического (зондирование волнами Лэмба) методов контроля и созданием на их основе автоматизированных лабораторных и промышленных комплексов, следует считать **актуальной**.

В рамках диссертационной работы соискателем решены следующие задачи, определяющие новизну диссертационного исследования:

1. Разработан подход к проведению комбинированного мониторинга состояния образцов конструкционных материалов в процессе циклического нагружения при помощи оптического (на основе метода корреляции цифровых изображений) и акустического (волн Лэмба ультразвуковой частоты) методов с расчетом информативных параметров акустических сигналов и оптических изображений, в основе которого лежит совместный анализ данных различной физической природы и выделение на их основе характерных стадий процессов усталостного разрушения;

2. Впервые разработан алгоритм работы автоматизированной системы контроля за процессом роста трещины в рамках лабораторного исследовательско-диагностического комплекса. Отличительной особенностью созданного комплекса также является автоматизированный режим перемещения камеры для слежения за вершиной распространяющейся трещины, который реализован с помощью алгоритма ее распознавания.

3. Разработана и апробирована методика оценки параметров роста усталостной трещины, измеряемых по данным механического отклика материала методом

корреляции цифровых изображений в терминах механики разрушения. Получены экспериментальные результаты о параметрах роста трещины в испытании с единичным циклом перегрузки, подтверждающие возможность применения данного подхода для оценки механического состояния циклически нагруженных металлических материалов.

4. Получена совокупность результатов тестирования разработанных методов и лабораторных комплексов, подтверждающих корректность их применения для решения прикладных задач мониторинга механического состояния и анализа процессов роста трещины армированных полимерных композиционных материалов и сварных соединений металлических сплавов.

Важной частью работы является разработка двух аппаратно-программных комплексов: (1) испытательно-мониторинговый комплекс и (2) автоматизированный лабораторный исследовательско-диагностический комплекс.

Первый комплекс предназначен для проведения мониторинга и оценки состояния конструкционных материалов комбинированным оптико-акустическим методом. Для этого были предложен и протестирован набор информативных параметров, рассчитываемых по данным получаемых акустических сигналов и оптических изображений. При тестировании разработанного комплекса, а также при решении прикладных научных задач показано, что анализ информативных параметров позволяет выявлять характерные стадии усталостного разрушения, как металлических, так и армированных полимерных материалов, и таким образом получать оценку степени их поврежденности.

Принцип действия второго комплекса основывается на методике управления процессом роста усталостной трещины и позволяет характеризовать его в терминах механики разрушения, рассчитываемых на основе метода корреляции цифровых изображений. Управление процессом роста трещины основано на приложении циклов перегрузки/разгрузки различной последовательности. Определено, что приложения единичных и периодических циклов перегрузки/разгрузки изменяет параметры роста усталостной трещины за счет влияния на (а) закрытие трещины (ΔK_{eff}) и (б) пороговое значения коэффициента интенсивности напряжений (ΔK_{th}). Методика верифицирована в рамках анализа поверхностей усталостного излома с использованием растровой электронной микроскопии. Для оценки и количественной характеристики процессов роста трещины были предложен набор информативных параметров, а также разработаны методики их расчета на основе полей деформаций, получаемых методом корреляции цифровых изображений. С использованием разработанного комплекса выявлено, что в алюминиевом сплаве Д16АТ при циклических испытаниях с асимметрией $R=0,1$ после приложения единичной перегрузки уровень закрытия трещины достигает $R_{eff}=0,32$ после того, как трещина распространится в пластическую зону, сформированной циклом перегрузки, на 30% от ее размера. Полученные результаты хорошо согласуются с данными аналитических расчетов и РЭМ-фрактографического анализа.

А.В. Еремин характеризуется квалифицированный исследователь, отличающийся самостоятельностью, аккуратностью, последовательностью и систематичностью в получении экспериментальных результатов. Кроме того соискатель обладает стремлением к самообучению и повышению квалификации.

Научными исследованиями по теме диссертации А.В. Еремин занимается с 2014 года. Направления исследований диссертанта определялись как тематическим планом ФБГУН Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, так и выполнением

задач, определенных проектами, поддержанными грантами РФФИ, проектами, проведением НИР с ПАО «Компания Сухой» «ОКБ Сухого».

Изложенные в диссертации результаты апробированы А.В. Ереминым на международных и всероссийских конференциях. По теме диссертации опубликованы 4 научные работы в изданиях, рекомендованных ВАК России, а также 11 работ в журналах, индексируемых в базах WoS и Scopus. На программу для распознавания и определения вершины усталостной трещины получено свидетельство о регистрации программ для ЭВМ (Роспатент), а на методику мониторинга состояния материалов акустическим методом на основе волн Лэмба получен акт внедрения ПАО «Компания Сухой» «ОКБ Сухого». Кроме того результаты диссертации используются в учебном процессе в Инженерной школе новых производственных технологий Национального Исследовательского Томского политехнического университета при подготовке образовательных дисциплин «Мониторинг состояния и контроль надежности материалов и изделий» и «Диагностика материалов» для магистров по направлению 22.04.01 – Материаловедение и технологии материалов.

Считаю, что выполненная работа соответствует критериям «Положения о присуждении ученых степеней», установленным для кандидатских диссертаций, а ее автор, Еремин Александр Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий.

Научный руководитель
заместитель директора по научной работе,
заведующий лабораторией механики
полимерных композиционных материалов
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Института физики
прочности и материаловедения
Сибирского отделения
Российской академии наук
(634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4;
(3822) 491-881; root@ispms.tomsk.ru; http://ispms.ru),
доктор технических наук
(01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела),
профессор, профессор РАН

«14» июня 2018 г.

Панин Сергей Викторович

Подпись Панина С. В. удостоверяю
Ученый секретарь ИФПМ СО РАН



Н. Ю. Матолыгина