

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, Бауровой Натальи Ивановны на диссертационную работу
Генералова Александра Сергеевича на тему:
«Определение прочностных свойств углепластиков ультразвуковым реверберационно-сквозным методом», представленную на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ,
материалов и изделий

На отзыв представлена диссертация, содержащая 158 страниц машинописного текста основного содержания, в том числе 73 рисунка, 19 таблиц и список литературы из 88 наименований.

1. Актуальность

Широкое применение полимерных композиционных материалов (ПКМ) в различных отраслях промышленности обусловлено их высокими прочностными и иными эксплуатационными характеристиками. В авиастроении применение ПКМ обеспечивает снижение массы конструкции, что в свою очередь позволяет увеличить экономическую эффективность использования летательных аппаратов. При ремонте и эксплуатации изделий авиационной техники зачастую помимо проведения неразрушающего контроля, направленного на выявление эксплуатационных дефектов, требуется также оценить физико-механические свойства отдельных ответственных деталей и элементов конструкций без их разрушения. Для решения данной задачи автором в диссертационной работе предлагается использовать ультразвуковой реверберационно-сквозной (РСкв) метод. Данный метод позволяет обнаруживать появляющиеся и накапливающиеся в материале в результате усталости, ударных, климатических и других воздействий мелкие повреждения обычно не выявляемые традиционными методами неразрушающего контроля. Благодаря своей множественности, микроповреждения заметно снижают прочность и жесткость материала, а значит, и остаточный ресурс всей конструкции. Диссертационная работа направлена на разработку методик оценки степени накопления микроповреждений и определения снижения прочностных характеристик материала, вызванное этими микроповреждениями в деталях и элементах конструкций без их разрушения.

2. Структура, содержание, методология и оформление работы

Диссертация Генералова А.С. состоит из введения, 4 глав, заключения и списка использованных источников (88 наименований). Методология выражена в системном подходе автора при изучении сложной проблемы определения прочностных свойств углепластиков неразрушающим методом и нахождении критериев решения поставленных задач для достижения поставленной в работе цели. Работа написана хорошим литературным языком, сти-

листически грамотно и оформлена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к кандидатским диссертациям.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, кратко по главам приводится содержание работы.

В первой главе дан обзор литературы по теме диссертации и сделан выбор направления исследований и разработок. Дан обзор ПКМ (угле-, стекло-, органопластиков, а также различных гибридных ПКМ), их свойств, методов получения и применения в авиационной промышленности. Затем приводится информация по методам выявления дефектов в ПКМ. Автор проводит оценку и дает описание практически всех методов неразрушающего контроля, применяемых для контроля ПКМ. Рассмотрены редко встречающиеся электрические методы, вакуумный метод и метод Кирлиан. Особое внимание в первой главе уделено принципам определения физико-механических свойств ПКМ акустическими методами неразрушающего контроля. Показаны области применения реверберационно-сквозного метода.

Во второй главе рассмотрена взаимосвязь между различными физико-механическими свойствами ПКМ и их структурой. Показано влияние состава и структуры на физико-механические свойства. Рассмотрены основные виды структурных неоднородностей и нарушений сплошности ПКМ и в частности углепластиков, а также дефектов соединений клееных конструкций. Особый интерес вызывает приведенная в данной главе классификация дефектов по группам в зависимости от степени их опасности. Стоит отметить также проведенный анализ кинетики накопления повреждений и процесса разрушения ПКМ. Потеря несущей способности ПКМ является следствием развития целого ряда сложных процессов, понимание которых дает возможность автору в дальнейшем получить необходимые для исследования образцы с различной степенью поврежденности.

Третья глава посвящена экспериментальным исследованиям влияния микроповреждений на прочностные свойства углепластиков. Приведены теоретические основы ультразвукового РСкв метода. Рассмотрены основные существующие способы вычисления количественного критерия метода – критерия SWF, их достоинства и недостатки. Дано описание сути предложенного способа вычисления критерия SWF «ИОС», показана эффективность его применения и представлена методология оценки прочностных свойств с использованием данного способа. Впервые построены и исследованы корреляционные связи прочности при изгибе образцов из углепластика толщиной 10 мм, содержащих производственные и эксплуатационные дефекты с критерием SWF. Проведена оценка погрешностей экспериментов.

Четвертая глава посвящена практической реализации РСкв метода. Дано описание и принцип работы аппаратуры для реализации метода – стандартной и специально разработанной, приведены сведения о созданной по результатам исследований нормативно-технической документации по контролю ПКМ РСкв методом. Показана практическая применимость РСкв ме-

тогда для исследования стеклопластиков. В главе приведены основные направления дальнейших исследований и разработок, направленных на совершенствование метода.

В заключении представлены основные результаты и выводы по работе.

3. Новизна исследований и полученных результатов

В диссертационной работе Генералова А.С. предложен и запатентован принципиально новый способ вычисления количественного критерия РСкв метода – критерия SWF, названный «интеграл оптимального спектра». Показана эффективность его применения в сравнении с существующими.

Разработан принципиально новый вариант ультразвукового РСкв метода, основанный на использовании предложенного способа вычисления информативного параметра диагностики, позволяющий проводить оценку прочностных свойств углепластиков в конструкциях после изготовления и различных периодов их эксплуатации.

Впервые разработана методика, позволяющая оценить поврежденность углепластика ВКУ-17КЭ0,1 толщиной 10 мм со схемой выкладки $0^\circ/90^\circ$ по изменению прочности при изгибе с использованием предложенного способа вычисления информативного параметра метода с погрешностью порядка 15%.

4. Практическая ценность

Практическая ценность рецензируемой работы заключается в создании новых методик оценки физико-механических характеристик ПКМ. На примере углепластиков рассмотрено влияние производственных и эксплуатационных дефектов на снижение прочностных свойств. Выпущено две технологические рекомендации по определению степени накопления микро- и макроповреждений размерами до 200 мкм элементов конструкций из композиционных материалов реверберационно-сквозным методом и оценке степени изменения прочностных свойств элементов конструкций из углепластика на основе расплавных препрегов, в т. ч. клеевых, реверберационно-сквозным методом. Отдельно автором показана применимость реверберационно-сквозного метода и к другим ПКМ (стеклопластикам). Полученные при этом результаты позволяют определять величины напряжений, возникающие при однократном статическом нагружении при растяжении в элементах конструкций неразрушающим методом в условиях эксплуатации. Использование разработанных подходов и технологий на различных стадиях и этапах жизненного цикла деталей и элементов конструкции из ПКМ позволит повысить надежность эксплуатации воздушных судов за счет выявления брака, не выявляемого другими способами, увеличить ресурс и снизить затраты на их ремонт.

5. Достоверность основных научных положений, результатов и выводов

Диссертационная работа Генералова А.С. выполнена во ФГУП «ВИАМ» – организации, обладающей одной из самых лучших и современных на сегодняшний день исследовательских и испытательных баз в России для решения самых разных наукоемких задач. Все исследования и эксперименты в работе выполнены с применением современного оборудования – это электромеханическая испытательная машина Тиратест-2300, универсальная электромеханическая испытательная машина Zwick/Roell Z 100, растровый электронный микроскоп JSM-840, ультразвуковой дефектоскоп Omniscan PA (Olympus), робототехнический комплекс для ультразвукового контроля Puma P-01(Nokia) и др.

Автором в тесном взаимодействии со специалистами-разработчиками материалов, технологами и испытателями были разработаны соответствующие режимы и условия проведения испытаний. Исследовано и испытано более 120 образцов: проведен неразрушающий контроль, проведен анализ внутренней структуры, определены прочностные характеристики. Полученные результаты зафиксированы соответствующими протоколами испытаний.

Для анализа полученных в работе статистических данных применен хорошо известный и эффективный корреляционно-регрессионный анализ, с помощью которого автор оценивает качество полученных моделей, делает вывод об их практической применимости. Отдельно следует отметить качество и глубину проработки этого вопроса. Рассчитаны различные коэффициенты, F-критерий Фишера, t-критерий Стьюдента, проведены графический анализ и тест Гольфельда-Квандта на гомо- и гетероскедастичность остатков регрессии.

Несомненным усилением работы является отдельно проведенные эксперименты и расчеты, направленные на оценку погрешности. Погрешность определения прочностных свойств по построенным корреляционным зависимостям составила 15%, что, на мой взгляд, является довольно неплохим результатом.

6. Основные недостатки

Работа Генералова А.С. не лишена недостатков, а именно:

1. В работе приведен довольно большой литературный обзор – две главы, начало третьей главы посвящены литературному обзору. Значительный объем информации посвящен материалам, при этом достоинства и недостатки рассматриваемых методов контроля ПКМ раскрыты не в полной мере. Поскольку работа основана на разработке способа обработки РСкв сигналов, в литературном обзоре следовало бы сосредоточиться на теории обработки ультразвуковых сигналов и оптимальной фильтрации.

2. В диссертации содержится большое количество табличного материала, который перегружает текст работы. Весь табличный материал можно было привести в приложении.

3. Приводить в диссертации фотографии преобразователей, не созданных автором, не целесообразно.

4. В диссертационной работе не приводится обоснование выбора расстояния между преобразователями для записи РСкв сигналов.

5. Не понятна необходимость создания специального оборудования для записи сигналов. Для решения этой задачи можно использовать стандартное ультразвуковое оборудование.

6. В работе проводятся исследования для условий производства и эксплуатации. При производстве в объект контроля могут попадать также посторонние включения, например технологические пленки, также влияющие на физико-механические характеристики. Этот момент нигде в работе не учтен.

7. При получении эксплуатационных повреждений образцов имитировались только усталостные повреждения. Не учтено влияние климатических факторов, а также ударных нагрузок.

Указанные замечания не меняют общей положительной оценки диссертации.

7. Заключение

Диссертационная работа Генералова А.С. на тему «Определение прочностных свойств углепластиков ультразвуковым реверберационно-сквозным методом» посвящена решению актуальной задачи – оценке физико-механических свойств ПКМ без их разрушения. Работы, проводимые в данном направлении в авиационной отрасли, позволяют повысить безопасность и экономическую эффективность эксплуатации воздушных судов.

Автором сделан значительный вклад в развитие методов и технологий неразрушающего контроля и технической диагностики ПКМ. Автор показывает возможность оценки падения прочностных свойств довольно больших по толщине углепластиков, вызванного производственными и эксплуатационными нарушениями сплошности, с использованием построенных корреляционных зависимостей. При проведении исследований и экспериментов пользуется современными методами и средствами. Кроме того, автор намечает направления дальнейших исследований в этой области, направленных на совершенствование метода, расширение границ его применения.

Несмотря на отмеченные недостатки, считаю, что диссертация Генералова А.С. является законченной научно-исследовательской работой и полностью отвечает современным требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Материал диссертации апробирован на российских и зарубежных научных семинарах и конференциях, а основные положения и выводы достаточно полно отражены в печатных работах в ведущих научных изданиях (9 научных работ), в том числе рекомендованных ВАК (7 работ). Имеется патент на изобретение по теме диссертации.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Он содержит все научные положения, изложенные в диссертации, и достаточно полно раскрывает ее сущность. Текст автореферата лаконичен и грамотно изложен.

