

1544698

Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени государственный
технический университет имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ХОРОШАВИНА Светлана Георгиевна

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ
ЭМИССИИ

Специальность 05.02.II-Методы контроля
и диагностики в
машиностроении

Автореферат
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Москва

1993

Работа выполнена в НИИ механики и прикладной математики
Ростовского государственного университета (НИИМ и ПМ РГУ)

Научный руководитель - доктор технических наук,
профессор Волченко В.Н.

Официальные оппоненты: д.т.н., г.оф. Волков Л.П.
к.т.н., доц. Думанский А.М.

Ведущая организация: НИО "Технология", г.Обнинск

Защита диссертации состоится "5" января 1994г.
на заседании специализированного совета К 053.15.01 в Москов-
ском государственном техническом университете им. Н.Э.Баумана
по адресу: 107005, г.Москва, ул. 2-ая Бауманская, д.5

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный
печатью, просим выслать по указанному адресу.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им.
Н.Э.Баумана.

Автореферат разосл

Ученый секретарь
специализированного с
К 053.15.01

Тип, МГТУ, т
Подписано к печати 30.X

1544698

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Резко меняющаяся экономическая ситуация, позволяющая нашей стране выходить на мировой рынок в области создания авиационной техники значительно повышает требования, предъявляемые к прочностным, физико-механическим свойствам используемых материалов. Все более широкое применение композиционных материалов (КМ) и необходимость создания новых заставляет разработчиков целенаправленно создавать КМ с заданным комплексом свойств. Это в свою очередь ставит перед исследователями задачу описания и предсказания поведения и механизмов разрушения КМ для изучения их физических и механических свойств.

Здесь велика роль методов неразрушающего контроля (НК), наибольшей эффективностью среди которых обладает метод акустической эмиссии (АЭ). Развитие этого метода связано с именами таких ученых, как Баранов В.М., Брагинский В.П., Иванов В.И., Лексовский А.М., Лысак Н.В., Муравин Г.В., Нацын В.Д., Недосека А.Я., Чинко К.А., Адамс Р.Д., Шумахер К. и др. Работы по АЭ диагностике в настоящее время углубляются в область изучения физических процессов разрушения. Однако реализацию потенциальных возможностей метода АЭ сдерживает недостаточное выявление функциональных связей характеристик повреждаемости материалов с параметрами сигналов АЭ. Поэтому актуальной является проблема идентификации источников сигналов АЭ и выбора диагностических признаков и критериев распознавания "образа" дефекта.

Основным показателем любого метода контроля является достоверность. Методика оценки достоверности подробно разработана профессором МГТУ им. Н.Э.Баумана В.Н.Волченко. Для ее применения необходимо знать вид распределения дефектности. Если таких данных нет, реализовать предложенные вероятностные модели в полной мере не удастся. Использовать разработанные вероятностные модели можно, вводя новые показатели дефектности, базирующиеся на данных АЭ контроля однако до настоящего времени этого сделано не было.

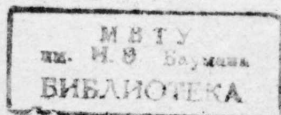
Цель работы и основные задачи исследования. Цель работы - повышение качества КМ на основе разработки комплексной методики АЭ диагностики и достоверного прогнозирования физико-механических характеристик КМ.

НТБ МГТУ им. Н.Э.Баумана



1544698

Хорошавина С.Г. Разработка



Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Анализ процессов разрушения отдельных элементов КМ с целью идентификации механизмов разрушения с появляющимися сигналами АЭ и выбора диагностических параметров АЭ контроля на базе АЭ испытаний модельных образцов из КМ.

2. Исследование процессов разрушения органопластиков различных структуры и состава с использованием феноменологических представлений и оценка возможности моделирования кинетики накопления поврежденности в сочетании с АЭ анализом для прогнозирования деформированного состояния КМ.

3. Развитие метода АЭ диагностики и прогнозирования качества КМ за счет построения вероятностных моделей оценки достоверности АЭ контроля с введением новых параметров дефектности, базирующихся на данных АЭ испытаний.

4. Разработка комплексной методики оценки качества КМ, основанной на исследовании механизмов разрушения с применением метода АЭ.

5. На основе полученных результатов разработка практических рекомендаций управления качеством при проектировании и технологических процессах изготовления КМ.

Научная новизна заключается в следующем:

1. Впервые установлена корреляция между характером повреждаемости волокнистых композитов (ВК) и соответствующих им сигналов АЭ для трех различных механизмов разрушения: разрыва волокна, растрескивания матрицы, отслоения волокна от матрицы.

2. Оценена корректность феноменологических моделей расщепленного разрушения наследственного типа для описания кинетики накопления повреждений и прогнозирования деформированного состояния КМ с помощью метода АЭ.

3. Предложены новые методы обработки массива информации по результатам АЭ испытаний, основанные на введении новых параметров дефектности, базирующихся на данных АЭ испытаний, позволившие впервые построить вероятностные модели оценки достоверности АЭ контроля без применения эталонного метода и построения матриц достоверности, но с учетом вероятностей перебраковки и недобраковки.

Практическая ценность. Определены диагностические признаки для распознавания образа дефекта. Получена возможность прогнозировать поведение и предразрушающее состояние материала, что позволяет давать практические рекомендации при выборе компонентов КМ, разрабатываемых и выпускаемых предприятиями авиационной, автомобильной и другими отраслями промышленности. Разработанная комплексная методика оценки качества КМ, основанная на исследовании механизмов разрушения КМ с применением метода АЭ, включает в себя дифференцирование процесса повреждаемости и интегральную оценку качества с применением статистических методов и позволяет к системе активного воздействия на технологию, осуществлять управление качеством при технологических процессах изготовления КМ, производить обоснование конструкторско-технологических решений на стадии проектирования и включить в цикл изготовления КМ новую прогрессивную технологию. На основании изучения нового класса материалов – металлоорганопластиков типа АЛОР предложены практические рекомендации по оптимизации структуры и состава КМ при проектировании и разработке новых КМ на авиационном ИТ комплексе "Антонов", г. Киев, НПО "Технология", г. Обнинск.

Методы исследований. Экспериментальные исследования выполнены с привлечением известных в акустике методов и аппаратуры для характеристик случайных процессов; для диагностики состояния КМ в качестве метода контроля применялся метод АЭ; для изучения кинетики накопления повреждений в КМ проводились механические испытания на одноосное растяжение; приближенные методы решения обратных задач для разрыва волокна в вязкоупругом композите строились на основе общего подхода к решению некорректных задач, теории уравнений в частных производных и численных методов их решения; для описания неупругого поведения материала применялись феноменологические модели рассеянного разрушения наследственного типа; анализ распределения дефектов и расчет достоверности АЭ контроля выполнен с применением аппарата математической статистики и ЭВМ.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всесоюзной конференции "АЭ и КМ", г. Душанбе, 1986 г., II Всесоюзной конференции по АЭ, г. Кишинев, 1987 г., I Всесоюзном симпозиуме "Механика и физика разрушения КМ", г. Ужгород, 1988 г., VII Всесоюзном семинаре по физике

прочности КМ, г.Каменец-Подольский, 1989 г., Всесоюзной конференции "Актуальные вопросы физической природы АЭ и прогнозирования разрушения", г.Киев, 1989 г., III Межотраслевой конференции "Неразрушающие методы контроля изделий из полимерных материалов", г.Туапсе, 1989 г., VI Всесоюзном семинаре по дезинтеграторной технологии, г.Таллинн, 1989 г., I Всесоюзном совещании "Диэлектрические материалы в экстремальных условиях", г.Суздаль, 1990 г., VII Всесоюзной конференции по механике полимерных и КМ, г.Рига, 1990 г., XII Всесоюзной НТ конференции "Неразрушающие физические методы контроля", г.Свердловск, 1990 г., IV Всесоюзном съезде по теоретической и прикладной механике, г.Москва, 1991 г., XI Всесоюзной акустической конференции, г. Москва, 1991 г., VII Всесоюзном семинаре "Дезинтеграторная технология", г.Киев, 1991 г., III Всесоюзной конференции по АЭ, г.Обнинск, 1992 г., Всесоюзной НТ конференции "Производство и надежность сварных конструкций", г.Москва, 1993 г., VIII Международной конференции по механике разрушения, г.Киев, 1993 г.

Диссертация в целом обсуждена и одобрена на заседаниях кафедр: физики РИАТМА, г.Ростов-на-Дону, 1992 г., теоретической и прикладной механики ИГУ, г.Киев, 1993 г., МТ-7 МГТУ им.Н.Э.Баумана, г.Москва, 1993 г.; на НТС КМЗ им.О.К.Антонова, г.Киев, 1991, 1993 гг., НПО "Технология", г.Обнинск, 1993 г., НПО НЕР-КОН НИИКИМТ, г.Обнинск, 1992 г.

Результаты работы также отражены в отчетах НИИ НИИМ и ПМ РГУ, выполняемых по госбюджетным и хоздоговорным темам, по Постановлению ГК НТ СССР № 164 от 6.03.1990 г.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 18 печатных работ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографии, содержащей 156 наименований и приложений, изложенных на 146 страницах машинописного текста, содержит 3 таблицы, 19 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований, их научная и практическая ценность, сформулирована цель работы и определены основные задачи для ее достижения, изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе дан обзор литературы, характеризующий состояние вопроса в исследуемой области, сформулирован объект исследования, которым являются металлоорганопластики — сложенные ИМ, состоящие из чередующихся слоев алюминия и органопластика, — все более широко применяющиеся в ответственных конструкциях авиационной техники.

В первом параграфе рассмотрены особенности и возможные механизмы разрушения ИМ и причины их появления. Приведены сведения о составе и особенностях технологии ИМ, описаны процессы, происходящие в материале при нагружении.

Во втором параграфе дан обзор методов контроля ИМ и анализ достигнутого уровня их использования.

Третий параграф посвящен изучению процессов разрушения ИМ с применением метода АЭ. Первые исследования структурной целостности полимеров, проведенные О.Хаттоном, показали, что данные АЭ могут быть весьма полезными для классификации механизмов разрушения разнообразных материалов, однако до настоящего времени проблема идентификации сигналов АЭ и соответствующих им механизмов разрушения в целом пока не решена. Комплекс работ по определению способа идентификации сигналов АЭ и решению задач диагностики и прогнозирования процессов деформации и разрушения таких материалов, как бетоны, металлы, углепластики выполнен Муравьиным Г.Г., Брагинским А.П., Шипом В.В., Лексовским А.М.

Статистические подходы к исследованию ИМ, обусловленные их внутренней структурой, определяющей существенный разброс прочностных свойств, рассмотрены в четвертом параграфе. Накопление повреждений с применением статистических методов — предмет исследований Волотина В.В., Ильюшина А.А., Махутова Н.П., Овчинского А.С., Работнова Ю.Н., Серенсена С.В., Тамужа В.П., Шестерикова С.А., Боаса В., Коллакота Р. Однако в рамках кинетических вероятностных моделей пока не удается в полной мере преодолеть барьер, отделяющий кинетику накопления повреждений.

В пятом параграфе рассмотрены вероятностные представления и модели. Отмечено, что методы теории вероятностей все еще занимают сравнительно малое место в решении ряда практических задач, хотя проблема повышения качества может быть успешно решена только с использованием методов математической статистики. Развитию методов неразрушающего и статистического контроля посвящены работы Алешина Н.П., Волченко В.Н., Гурвича А.К., Де-

нисова Л.С., Ермолова И.Н., Матиса И.Г., Хусанов М.Х., Щербинского В.Г. Из зарубежных авторов необходимо отметить работы Адамса Р., Бриджа В., Вильямса С., Кука Л.П. Мьюдда Р.М., Райхмана А.Э., Тучки Г.А., Хенсена В. и др.

О достаточно высоком уровне развития того или иного метода НК свидетельствует наличие такого показателя, как достоверность. Работы по оценке достоверности развивались Волченко В.Н., Тучки Г.А. Наиболее отработанным к оценке достоверности в настоящее время является подход, основанный на использовании эталонного метода и построения матрицы достоверности. Работы в этом направлении для метода АЭ проводились Барановым В.М., Ивановым В.И., Быковым С.П. Разработанные Волченко В.Н. вероятностные модели оценки достоверности и выявляемости дефектов универсальны и не зависят от способов контроля. Однако основным результатом традиционных методов контроля является выявление дефектов определенных линейных размеров, что, как правило, не дает метод АЭ. Поэтому предложенные вероятностные модели до сих пор не были реализованы применительно к методу АЭ.

В заключении первой главы на основе анализа литературных данных сформулирован комплекс задач, требуемых для решения поставленной проблемы.

Во второй главе приведены результаты исследований процессов повреждаемости на основе изучения отдельных элементов КМ, идентичных присутствующим в цельной композиции. Проведено моделирование процессов разрушения ВК. Выбраны информативные параметры АЭ диагностики, отражающие физику разрушения КМ и идентифицированы дефекты.

В первом параграфе описана методика испытаний на одноосное растяжение модельных образцов из органопластиков с различным содержанием волокон, отличающихся также технологией изготовления и составом связующего. Одновременно осуществлялась запись сигналов АЭ, сопровождающей процесс деформирования и разрушения КМ и скоростная киносъемка, позволившие сделать вывод о том, что сигналы АЭ от разрыва волокон носят дискретный характер и величина амплитуды сигналов от разрыва волокон в несколько раз превышает амплитуду сигналов АЭ от других механизмов разрушения.

В качестве модели для изучения динамики накопления повреждений была решена краевая задача для уравнений гиперболического типа

$$\alpha^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + 2\gamma \frac{\partial u}{\partial t}, \quad 0 < x < \ell, \quad t > 0, \quad (I)$$

где $\alpha = \sqrt{E/\rho}$ представляет собой скорость упругих волн растяжения-сжатия в волокне, E - модуль Юнга волокна, ρ - плотность материала волокна, γ - коэффициент, определяющий влияние силы сопротивления. Краевые условия приближенно задавали режим статического нагружения и были выбраны так, что условие $u(x, t)|_{x=0} = 0, t > 0$.

соответствовало жесткому закреплению одного конца образца, а условие $\frac{\partial u(x, t)}{\partial x} \Big|_{x=\ell} = \frac{f_0}{E} t, t \geq 0$

- равномерному по времени увеличению нагрузки на другом конце.

f_0 - постоянная величина, характеризующая скорость приращения нагрузки. Отсутствие деформации до начала нагружения предполагали начальными условиями

$$u(x, t) \Big|_{t=0} = 0, \quad \frac{\partial u(x, t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0, \quad 0 \leq x \leq \ell.$$

Описание данной краевой задачи допускает и процесс отслаивания волокна от матрицы с учетом введения некоторой положительной возрастающей функции $\delta = \delta(t)$. Аналогично может быть представлен и процесс растрескивания матрицы при нагружении КМ. В этом случае на интервалах растрескивания уравнение (I) принимает вид

$$a_m^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \quad (2)$$

где a_m характеризует упругие свойства матрицы исследуемого образца.

Проведенные оценки решения модельной задачи для трех различных механизмов разрушения КМ, результаты АЭ испытаний и анализ киноматериалов позволили идентифицировать механизмы разрушения с появляющимися сигналами АЭ, что рассмотрено во втором параграфе.

В третьем параграфе приведены выводы и рекомендации по главе 2.

Разработанная комплексная методика оценки качества КМ включает в себя наращивание сложных влияющих факторов. В третьей главе изложен второй аспект дифференцирования процесса повреждаемости: рассмотрена модель работы и выхода из строя "композиционного полужабриката" - органопластиков различных структуры и состава.

В первом параграфе описаны АЭ испытания по изучению особенностей разрушения монослойной органопластиковой прослойки метал-

поорганопластиков, имеющих различную структуру и состав.

Феноменологический анализ кинетики процессов рассеянного разрушения с использованием наследственных представлений описан во втором параграфе.

Фундаментальная идея этого подхода состоит в том, что в материале при нагружении могут развиваться два процесса: процесс вязкого течения, описываемый наследственным оператором $L(t-\tau)$, и процесс накопления повреждений, описываемый наследственным оператором $M(t-\tau)$. Достоинством таких моделей является то, что они дают возможность использовать однотипные уравнения для описания вязких эффектов и рассеянного разрушения и решать задачи прогнозирования поведения материала.

Развитию этого направления посвящены работы Работнова Д.Н., Суворов В.В., Викторовой И.В., Добрынина В.С. и др., однако применение моделей наследственного типа к композитам, отличающихся ярко выраженной неоднородностью, требует дальнейшей разработки, связанной с необходимостью учета нелинейности.

При активном нагружении ось оператора складываются и их параметры практически невозможно определить, но это можно сделать, проанализировав кривые разгрузки, т.е. при разгрузке пластическая деформация, связанная с разрушением, не может убывать. Уравнение кривой мгновенного деформирования для нагружения и разгрузки имеет вид:

$$\varphi(\varepsilon) = \int_0^t [L(t-\tau) + M(t-\tau)] \dot{\varepsilon}(\tau) d\tau, \quad 0 \leq t \leq t_*, \quad (3)$$

$$\varphi(\varepsilon) = \int_0^{t_*} L(t-\tau) \dot{\varepsilon}(\tau) d\tau + \int_{t_*}^t M(t-\tau) \dot{\varepsilon}(\tau) d\tau, \quad t > t_*, \quad (4)$$

где $\dot{\varepsilon}$ — напряжение, ε — деформация, t_* — момент начала разгрузки. Для учета частичного восстановления деформаций в уравнение (4) была введена функция накопления повреждений $\Phi(\xi_*)$, характеризующая развитие разрушения в сечениях образца и представляющая собой изменение относительного числа разрушенных волокон в сечении с ростом напряжений, где ξ_* — предельная деформация.

Рассчитанные для каждого материала функции накопления повреждений имели как этап накопления повреждений, соответствующих периоду образования микродефектов типа микропор и растрескивания матрицы, способных к "залечиванию" при разгрузке (плавное увеличение $\Phi(\xi_*)$), так и лавинные процессы (резкое, скачкообразное увеличение $\Phi(\xi_*)$).

Несмотря на ряд достоинств этих моделей, сами по себе они

существовать не могут и требуют обязательного структурного подхода, в качестве которого в данной работе был выбран метод АЭ. Доказанная совместимость феноменологического и структурного подходов рассмотрены в третьем параграфе.

Раздельное описание процессов вязкого течения и накопления поврежденности позволило проследить за каждым из них в отдельности, а добавление соответствующего критерия разрушения, описанного в четвертом параграфе, дало возможность по анализу диаграмм деформирования предсказывать время до полного разрушения ИМ.

В пятом параграфе приведен алгоритм применения феноменологических моделей, в шестом сформулированы выводы и рекомендации по главе 3.

Четвертая глава посвящена интегральной оценке качества ИМ с применением статистических методов и построению вероятностных моделей расчета достоверности АЭ контроля. Объектом исследования явились металлоорганопластики, отдельные составляющие которых изучались на предыдущих этапах исследования.

АЭ испытания металлоорганопластиков описаны в параграфе I. Наиболее чувствительным из первичных регистрируемых параметров сигналов АЭ и полученных в результате расчета по программам, позволяющим построить временные зависимости параметров процесса и гистограммы, отражающие статистические характеристики процесса, явилось амплитудное распределение, обладающее также и таким достоинством, как минимальное искажение при распространении и регистрации сигналов АЭ. Амплитудное распределение было использовано для оценки прочности ИМ в качестве критерия, учитывающего особенности процесса разрушения, т.к. оно подразумевало близость момента разрушения по возрастанию доли высокоамплитудных импульсов, связанных с нарастающим числом разрывов волокон или слиянием микродефектов.

Интегральная оценка качества ИМ с применением статистических методов при АЭ контроле включает оценку достоверности. В второй параграф посвящен достоверности контроля, приведены основные термины, связанные с понятием достоверности контроля, рассмотрены пути оценки достоверности.

Если применение эталонного метода затруднено или невозможно, в расчетной модели оценки достоверности следует учитывать так называемую функцию выявляемости данным методом контроля дефектов заданных размеров $x F_b(x)$, которая может быть найдена как интеграл

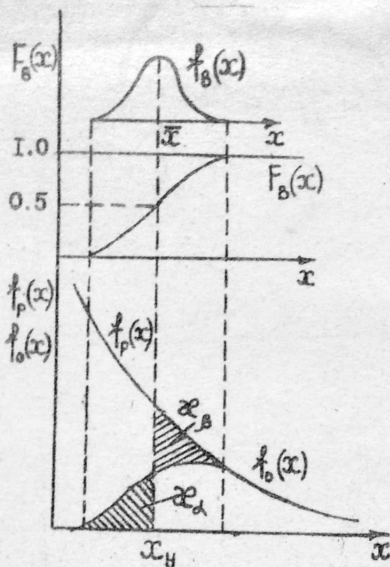


Рис. 1. Графики вероятностных моделей оценки достоверности

льная функция для кривой ошибок, являющаяся плотностью нормального распределения $f_B(x)$:

$$F_B(x) = \int_{-\infty}^x f_B(x) dx \quad (5)$$

Для оценки достоверности контроля без применения эталонного метода необходимо рассматривать плотность распределения реальных дефектов $f_p(x)$ и обнаруженных $f_o(x)$ (рис. 1.). Функции $f_B(x)$ и $F_B(x)$ определяются экспериментально, причем в отдельных случаях зависимость $f_B(x)$ может не соответствовать нормальному распределению, а быть чисто эмпирической функцией обнаружения дефектов. $\alpha_\alpha, \alpha_\beta$ — вероятности перебраковки и недобраковки.

Третий параграф посвящен введению новых параметров дефектности, базирующихся на данных АЭ испытаний.

В соответствии с моделью, предложенной Волченко В.Н., плотность распределения реальных дефектов должна быть близка к экспоненте

$$f_p(x) = \lambda e^{-\lambda x} \quad (6)$$

По полученным в результате АЭ испытаний металлоорганических типа АЛОР амплитудным распределениям были построены гистограммы относительных частот, которые наряду с понятием вероятности принадлежит к основным понятиям теории вероятности. Гистограммы относительных частот для всех испытанных образцов имели четко выраженный экспоненциальный характер. Исходя из этого было предложено реализовать модели, вводя в качестве параметра дефектности амплитуду сигналов АЭ в мкВ. Правомомерность такой операции была доказана на предыдущих этапах исследования. Тогда $F_B(x)$ характеризует вероятность выявления методом АЭ дефектов, дающих значения амплитуды сигналов АЭ x .

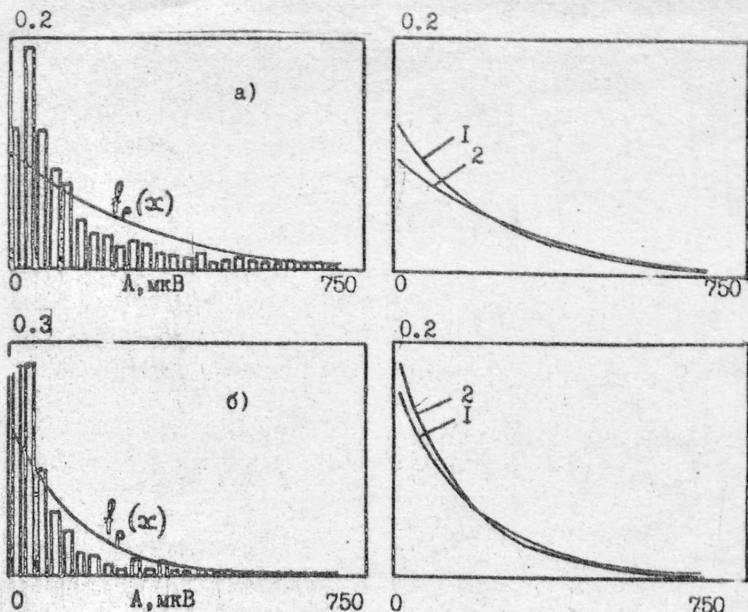


Рис. 2. Гистограммы распределения амплитуд сигналов АЗ и плотности вероятности $f_p(x)$, аппроксимированные экспонентой для значений: а) $\lambda = 0,0038$ и б) $\lambda = 0,00725$ и различие плотностей вероятности при расчете параметра λ для этих же значений по методу наименьших квадратов — 1 и через $M_X - 2$

Проведенные расчеты показали, что для оценки согласия закона распределения с результатами эксперимента параметр λ плотности вероятности $f_p(x)$ целесообразно рассчитывать либо по методу наименьших квадратов либо через математическое ожидание, т.к. для экспоненциального распределения величина λ является величиной, обратной математическому ожиданию M_X (рис. 2).

Было установлено, что в зависимости от значения λ вид функции распределения реальных дефектов $f_p(x)$ значительно отличается. Чем круче кривая $f_p(x)$, тем число событий, порождающих сигналы АЗ малой амплитуды, больше. Довольно большое число высокоамплитудных сигналов АЗ при $\lambda = 0,00725$ говорит о том, что здесь сохранилось большее число волокон. Более пологий вид функции распределения при $\lambda = 0,0038$ свидетельствует о наличии большого чи-

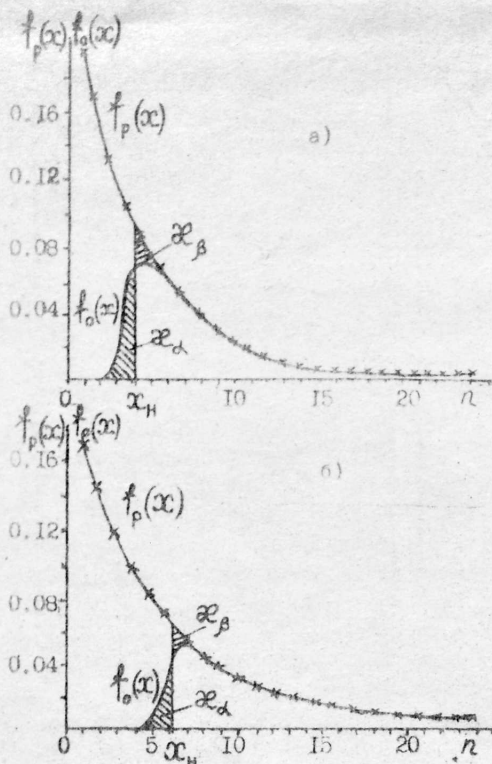


Рис. 3. Плотности распределения реальных $f_p(x)$ и обнаруженных $f_o(x)$ дефектов; n - число интервалов; x_n - нормировочное значение амплитуды сигналов АД; α_a, α_β - вероятности перебраковки и недобраковки; а) - $\lambda = 0,00857, \alpha_a = 0,071, \alpha_\beta = 0,00047, D = 0,928$; б) - $\lambda = 0,0064, \alpha_a = 0,013, \alpha_\beta = 0,012, D = 0,975$

В четвертом параграфе предлагается расчет достоверности АД контроля металлоорганических. Достоверность в данной работе рассчитывалась по формуле

$$D = 1 - (\alpha_a + \alpha_\beta), \quad (7)$$

где вероятность перебраковки α_a и недобраковки α_β определялись

$$\alpha_a = \int_0^{x_n} f_o(x) dx, \quad (8)$$

$$\alpha_\beta = \int_{x_n}^{\infty} f_p(x) dx - \int_{x_n}^{\infty} f_o(x) dx. \quad (9)$$

для высокочастотных импульсов, а, значит, о большей потере работоспособности.

Сравнение экспонент служит основанием к оценке качества исследуемых материалов, поэтому в качестве второго диагностического параметра дефектности при построении вероятностных моделей оценки достоверности АД контроля КМ был предложен параметр λ экспоненциального распределения плотности вероятности появления реальных дефектов $f_p(x)$.

В качестве x_H согласно известным методикам рассматривалось x_{cp} , но оно может быть установлено и по сериям испытаний отдельных элементов КМ.

Для использования формулы (6), необходимо правую часть умножить на коэффициент, равный величине интервала, который рассматривается при оценке во всех случаях: и когда x является размером дефекта (единицы длины) и когда измеряется в мкВ. Формула (6) тогда записывается в виде

$$f_p(x) = \Delta x l e^{-\lambda x} \quad (10)$$

Все расчеты проводились на персональном компьютере системы IBM AT/386 с использованием программного обеспечения "MATHCAD". Рассчитывались функции $f_B(x)$, $F_B(x)$, $P(x) = 1 - F_B(x)$, $f_p(x)$, $f_o(x)$, λ , α_2 , α_B , D (рис.3). Рассчитанные значения достоверности по предложенной методике достаточно высоки и лежат в пределах 0,928 + 0,981. Представлена последовательность операций расчета достоверности, сформулированы основные выводы и рекомендации по главе 4.

Проведенные исследования подтвердили необходимость комплексного подхода к решению проблемы АЭ диагностики, развитие которого представляется в пятой главе, где даны блок-схемы комплексной методики оценки качества и ее составных частей, а также управления качеством при технологических процессах изготовления КМ.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Разработана комплексная методика оценки качества КМ, основанная на исследовании механизмов разрушения КМ с применением метода АЭ. Она включает в себя дифференцирование процесса повреждения, ставящее целью исследование отдельных элементов КМ, идентичных присутствующим в цельной композиции: органопластиковой прослойки металлоорганопластиков типа АДОР различных структур и состава, отдельных волокон в различного типа связующих и интегральную оценку качества металлоорганопластиков с применением статистических методов.

2. Установлена возможность применения метода АЭ для выявления механизмов разрушения КМ. Показано, что для анализа механизма повреждения в качестве информативного параметра может быть выбрана амплитуда сигналов АЭ, т.к. теоретически и экспериментально было доказано, что амплитуда сигналов АЭ от разрушения волокна в несколько раз превышает амплитуду сигналов от других мех

механизмов разрушения КМ.

3. На основе сочетания подходов нелинейной механики разрушения с результатами АЭ исследований проиллюстрирована возможность рационального применения феноменологической модели рассеянного разрушения наследственного типа для описания кинетики накопления повреждений в КМ, позволившего зафиксировать смену механизмов разрушения, прогнозировать время до разрушения и определять область безопасной работы материала.

4. Предложены новые параметры дефектности КМ, базирующиеся на данных АЭ испытаний: 1) – амплитуда сигналов АЭ x в мкВ, позволяющая при рассмотрении функции выявляемости дефектов оценивать вероятность выявления данным методом дефектов, дающих заданные значения амплитуды сигналов АЭ x ; 2) – параметр λ экспоненциального распределения плотности вероятности появления реальных дефектов $f_p(x)$, по величине которого можно судить о наличии большого числа высокоамплитудных импульсов, а, значит, о большей потере работоспособности; 3) – x_n – нормировочное значение амплитуды для расчета вероятностей перебраковки и недобраковки.

5. Усовершенствован метод АЭ диагностики и прогнозирования качества КМ за счет построения вероятностных моделей оценки достоверности АЭ контроля без применения эталонного метода и построения матриц достоверности, но с учетом вероятностей перебраковки и недобраковки, основанных на введении новых показателей дефектности.

6. Разработан подход, позволяющий осуществить управление качеством при технологических процессах изготовления КМ за счет активного воздействия на такие параметры технологии как структура и ориентация волокон, выбор оптимального связующего и т.п. с целью получения материалов с наперед заданными свойствами. Введение интегральных показателей качества позволяет производить обоснование конструкторско-технологических решений на стадии проектирования КМ, позволяющего повысить качество выпускаемых КМ.

7. На основании изучения нового класса материалов – металло-органопластиков типа АЛОР и проведенных разработок предложены практические рекомендации по оптимизации структуры и состава КМ при разработке и проектировании новых КМ на авиационном ИТ комплексе "Антонов", г. Киев, НПО "Технология", г. Обнинск.

Основное содержание диссертации отражено в следующих

работах:

1. Хорошавина С.Г., Викторова И.В. Анализ накопления повреждений в органопластиках с использованием метода акустической эмиссии // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. - 1993. - № 1. - С.15-20.

2. Хорошавина С.Г., Викторова И.В. Исследование механизмов разрушения композиционных материалов с использованием метода акустической эмиссии // Физика прочности гетерогенных материалов. - Д., 1988. - С.200-208.

3. Хорошавина С.Г., Викторова И.В. Анализ накопления повреждений в органопластиках с использованием метода акустической эмиссии и феноменологического подхода // III Все.конф. по акустической эмиссии: Докл. Теория и практика. - Обнинск, 1992. - Ч.1. - С.92-99.

4. Хорошавина С.Г., Викторова И.В. Теоретико-экспериментальный анализ акустоэмиссионных испытаний модельных образцов из композиционных материалов // Границы раздела, прочность и разрушение композиционных материалов. - Д., 1989. - С.43-49.

5. Викторова И.В., Хорошавина С.Г., Щеглов А.Ю. Акустоэмиссионный анализ процессов деформации в модельных образцах из композиционных материалов // Неразрушающие физические методы контроля изделий из композиционных материалов: Тез. докл. III Межотраслевой конф. - Туапсе, М., 1989. - С.140-141.

6. Викторова И.В., Хорошавина С.Г., Щеглов А.Ю. Идентификация механизмов разрушения волокнистых композитов по акустоэмиссионным испытаниям // Механика композитных материалов. - 1989. - № 4. - С.617-622.

7. Викторова И.В., Хорошавина С.Г., Щеглов А.Ю. Изучение процессов рассеянного разрушения по результатам акустоэмиссионных испытаний // Техн. диагностика и неразрушающий контроль. - 1992. - № 3. - С.73-79.

8. Хорошавина С.Г., Викторова И.В. Структурный и феноменологический анализ накопления повреждений в композитных материалах // Дезинтеграторная технология: Тез. докл. УШ Всес. семинара. - Киев, 1991. - С.195.

9. Викторова И.В., Хорошавина С.Г. Анализ накопления повреждений в слоистых композитах с помощью метода акустической эмиссии // УП Всес. конф. по механике полимерных и композицион-

ных материалов: Тез. докл. - Рига, 1990. - С.39-40.

10. Викторова И.В., Хорошавина С.Г. Применение метода акустической эмиссии для изучения кинетики накопления повреждений в слоистых композитах // Неразрушающие физические методы контроля: Тез. докл. XII Всес. НТ конф. - Свердловск, 1990. - С.177-178.

11. Викторова И.В., Хорошавина С.Г. Феноменологический и структурный анализ процессов разрушения слоистых композитов // IX Всес. съезд по теор. и прикладной механике: Тез. докл. - М., 1991. - С.81-82.

12. Волченко В.Н., Хорошавина С.Г. Вероятностные модели оценки качества композитов с применением метода акустической эмиссии // Производство и надежность сварных конструкций: Тез. докл. Всес. НТ конф. - г. Калининград Моск. обл. - М., 1993. - С.131.

13. Choroshevina S.G. and Victorova I.V. Phenomenological and acoustic emission analysis of accumulation damage in organoplastics // 8-th Int. Conf. of Fracture: Call of abstract, - Ukraine, 1993, T.2. - P.621.

14. Хорошавина С.Г., Викторова И.В. Прогнозирование повреждений композиционных материалов по акустико-эмиссионным испытаниям // Дезинтеграторная технология: Тез. докл. VI Всес. семинара. - Таллинн, 1989. - С.153-154.

15. Хорошавина С.Г., Викторова И.В. Исследование механизмов разрушения композитов с использованием метода акустической эмиссии // Механика и физика разрушения композиционных материалов: Тез. докл. I Всес. симпозиума. - Ужгород, 1988. - С.144.