

Отзыв
официального оппонента
Константинова Александра Юрьевича
на диссертацию
Хомченко Антона Васильевича

«Численное моделирование поведения слоистых элементов конструкций из полимерных композиционных материалов при наличии внутренних дефектов под действием динамических нагрузок», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

1.1.8. – «Механика деформируемого твёрдого тела»

Актуальность темы исследования

Использование полимерных композиционных материалов (ПКМ) в настоящее время широко распространено в наукоёмких отраслях промышленности. В то же время, для достоверного прогнозирования прочности элементов конструкций из ПКМ необходимо разрабатывать специфические для этого класса материалов методы расчёта, учитывающие его особенности, в том числе моды разрушения и дефекты, нехарактерные для традиционных материалов и обусловленные структурой ПКМ.

В научно-квалификационной работе Хомченко А.В. разработан метод расчёта тонкостенных слоистых элементов конструкций из полимерных композитов при наличии дефектов в виде расслоений при стационарном, нестационарном и низкоскоростном ударном нагружении. Основная идея метода заключается в разделении мод разрушения на разрушение монослоя и межслоевое разрушение. Для оценки прочности монослоя в условиях многоосного напряженного состояния используются известные критерии прочности ортотропного материала. Межслоевая связь моделируется с использованием неразрушаемых и разрушаемых контактов, что дает возможность вводить в расчетную модель дефекты и отслеживать динамику их развития.

Структура и объём диссертации

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка использованных источников. Общий объём составляет 142 страницы. Список источников содержит 145 наименований. Во **введении** дано обоснование актуальности, практической и теоретической значимости, научной новизны исследования, сформулированы цели и задачи, приводятся выносимые на защиту положения. Материалы диссертации опубликованы в 57 печатных

работах, из них 12 статей в журналах из перечня ВАК РФ, 3 статьи из перечня SCOPUS.

В первой главе проведён подробный обзор публикаций отечественных и зарубежных авторов по теме диссертации. В этой же главе приводится постановка задачи, в рамках которой рассмотрены цилиндрическая оболочка, панель и пластина из слоистых композитов с подкреплениями и без, в которых присутствуют межслоевые дефекты типа расслоений. Приведены основные зависимости для используемых численных методов моделирования деформирования и разрушения элементов конструкций (метод конечных элементов и метод гидродинамики сглаженных частиц). Также в первой главе описаны рассматриваемые критерии разрушения для полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Вторая глава посвящена определению собственных форм и частот колебаний элементов конструкций из ПКМ при наличии расслоений. В данной главе рассмотрено стационарное воздействие полей давлений на гладкую прямоугольную пластину, цилиндрическую панель и круговую подкреплённую цилиндрическую оболочку. Все рассмотренные элементы конструкции имели множественные межслоевые дефекты эллиптической формы. В результате решения задач стационарного воздействия определены формы собственных колебаний и построены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) в центрах дефектов.

В третьей главе исследуется влияние дефектов на прочность элементов конструкций из ПКМ при нестационарных воздействиях неударного характера. Изложен метод численного исследования прочности и несущих свойств элементов конструкций при наличии дефектов различной формы, размера и расположения. В работе рассмотрено большое количество различных критериев разрушения для анизотропных материалов. В качестве внешних воздействий автор рассмотрел поля давлений и взрывную волну с различными энергиями взрыва. При рассмотрении задач воздействия нестационарных нагрузок неударного типа на подкреплённые и гладкие пластины, панели и оболочки, показано, что наибольшее влияние на прочность и поведение конструкции оказывает размер (площадь) дефектов, нежели их форма.

В четвертой главе автор проводит оценку влияния дефектов на динамику их развития при воздействиях ударного характера. В качестве импакторов (ударников) автор рассмотрел абсолютно жёсткий ударник полусферической формы, ударник в форме прямоугольного параллелепипеда из гиперупругого материала, поведение которого подчиняется модели Огдена, сферический импактор, моделирующий град. Все ударные воздействия

являются низкоскоростными, начальная скорость импакторов не превышает 10 м/с. В данной главе автор рассмотрел как отслоения слоёв обшивки друг от друга, так и отслоения силовых элементов (стрингера) от обшивки. Продемонстрированы сценарии нанесения удара в различные точки конструкции (точки на границе дефекта, на стрингере) в случае наличия дефекта произвольной формы.

Глава завершается валидацией разработанного метода по результатам испытаний четырёхстрингерной плоской панели, выполненной из углепластика. Результаты валидации показали хорошее совпадение для энергий удара 90 и 135 Дж, что свидетельствует о корректности разработанного подхода.

Основные результаты работы:

Автор разработал методы расчетной оценки прочности элементов конструкций из слоистых ПКМ, в которых можно учесть наличие дефектов типа расслоений различной формы, размера и расположения. Методы позволяют прогнозировать поведение конструкции как при стационарных, так и при нестационарных, в том числе ударных, нагрузках. Разработанные методы позволяют достаточно точно предсказывать возникновение и развитие дефектов-расслоений в слоистой конструкции, что подтверждается сравнением с результатами натурных испытаний. Приводятся многочисленные примеры расчета прочности конструкций с дефектами, проводится анализ влияния дефектов на поведение конструкции.

Полученные автором результаты могут быть успешно использованы при проектировании деталей авиационных двигателей, силовых и несущих элементов корпуса самолетов нового поколения.

Замечания по работе:

1. Во введении утверждается, что автором исследования используются методы теории слоистых пластин и оболочек. Однако это не вполне корректная формулировка, поскольку автор использует методы расчета слоистых конструкций, но не теорию слоистых оболочек.

2. В п.1.2.4 приводятся формулы расчета эффективных упругих характеристик монослоя композиционного материала по характеристикам волокна и матрицы (формулы 1.2.19-1.2.23), которые в работе не используются.

3. В п.3.1 утверждается, что целью описанных в главе 3 исследований «является определение несущих свойств тонкостенных конструкций с дефектами в том числе с учётом динамики развития дефектов»,

однако в этой главе результатов анализа динамики развития дефектов и её влияния на несущую способность конструкции не приводится.

4. При решении задач оценки прочности элементов конструкций при динамическом воздействии часто требуется учитывать влияние скорости деформации на жесткостные и прочностные характеристики материалов. Исследовался ли вопрос влияния скорости деформации на свойства используемых в работе композиционных материалов?

5. Отсутствует описание параметров R и Q в п.1.6.1 про критерии прочности.

6. В описании задачи п.2.2 не указано между какими слоями расположены дефекты.

7. В некоторых местах в работе присутствует ряд незначительных опечаток (отсутствует рисунок 4.4.9, хотя ссылка на него в тексте есть; в п.3.2 имеется ссылка на формулу 1.4.14 расчета коэффициент запаса прочности, такой формулы в работе нет, по-видимому, должна быть формула 1.6.14 и пр.)

Отмеченные замечания не ставят под сомнение общую высокую оценку работы и квалификацию автора.

Выводы:

Диссертационная работа Хомченко Антона Васильевича «ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ СЛОИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ НАЛИЧИИ ВНУТРЕННИХ ДЕФЕКТОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗОК» является завершенной научно-квалификационной работой, в которой представлены новые результаты, имеющие большую практическую значимость.

Представленная диссертация удовлетворяет требованиям положения о присуждении ученых степеней (утверждено постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твёрдого тела.

Официальный оппонент:

Профессор кафедры теоретической, компьютерной и экспериментальной механики института информационных технологий, математики и механики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский

государственный университет им. Н.И. Лобачевского», доктор физико-математических наук

19.01.24

А.Ю. Константинов
(подпись)

/ А.Ю. Константинов /
(Ф.И.О. оппонента)

Подпись Константинова Александра Юрьевича заверяю
(Ф.И.О. оппонента)

Учёный секретарь ученого совета
ННГУ им. Н.И. Лобачевского
(должность)



Л.Ю. Черноморская
(подпись)

/ Черноморская Л.Ю. /
(Ф.И.О.)

С отзывом ознакомлен

25.01.2024 Хомченко А.В.

/Хомченко А.В./