

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

кандидата физико-математических наук, директора «Центра технологий материалов» автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий» Сергеичева Ивана Валерьевича на диссертационную работу Ермакова Ивана Сергеевича «Численное моделирование растягиваемых композитных пластин с концентраторами напряжений в виде круговых отверстий», представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук в диссертационный совет 24.2.327.07 ФГБОУ ВО Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» по специальности 1.1.8. - «Механика деформируемого твёрдого тела».

Диссертационная работа Ермакова Ивана Сергеевича посвящена разработке и применению метода расчета напряженно-деформированного состояния и прочности композитных пластин с отверстиями, которые находятся в состоянии одноосного растяжения.

Актуальность темы подтверждается внедрением результатов в практику Центра прикладных исследований АО «ЦНИИмаш» по расчету силовых элементов с отверстиями из полимерных композиционных материалов. На основании этого можно сделать вывод, что и в авиационном и в ракетостроении стоит запрос на разработку методик расчета напряженно-деформированного состояния и прочности композитных пластин с отверстиями. Данная ситуация сложилась в силу колоссальной заинтересованности применения таких материалов проектировщиками, желающими выйти на более выгодные характеристики конструкции. Это в свою очередь привело их к столкновению с существенными сложностями построения математических моделей и проблемам получения правильных решений. Поэтому и возник запрос на методики подобные той, что была предложена И.С. Ермаковым в своей диссертационной работе.

Ключевой идеей этой методики является применение разных численных моделей для расчета напряженно-деформированного состояния, по результатам которых можно провести проверку сравнением и убедиться в их подлинности. Затем, имея валидированные решения, уже по ним провести расчет композитных пластин с отверстием на прочность, по методике, также разработанной и предложенной И.С. Ермаковым.

Такой подход к решению задачи о напряженно-деформированном состоянии и прочности композитных пластин с отверстием оправдывается еще, тем, что для варианта ортотропных конечных пластин с единственным отверстием аналитические решения не могут давать стабильно верные решения, а для варианта двух и большего количества отверстий таковых решений вообще нет.

С учетом вышесказанного можно говорить о том, что в работе И.С. Ермакова представлена и решена актуальная **научно-прикладная задача**, направленная на обеспечение получения достоверных расчетов прочности композитных пластин с отверстиями, за счет использования отличных друг от друга математических моделей расчета напряженно-деформированного состояния.

По **структуре** рецензируемая диссертация состоит из 142 страниц, включая введение, четыре главы, заключение, список используемых источников из 112 наименований и приложение.

Во введении изложена актуальность темы работы, сформулированы цель и задача исследования, показана научная новизна, приведены теоретическая и практическая значимость работы, перечислены положения, выносимые на защиту, а также сведения об апробации результатов диссертационной работы.

В первой главе представлен обзор современного состояния методов и приемов расчета напряженно-деформированного состояния композитных пластин с отверстием, которые находятся в состоянии одноосного растяжения. Проводится критический анализ современного состояния

аналитических и численных методов расчета напряжений в ортотропных пластинах с отверстием. Еще проводится анализ критериев разрушения, по которым можно рассчитать пределы прочности композитов с отверстиями. На основании проведенного обзора обосновывается актуальность темы, более четко формулируется цель диссертационной работы, а также устанавливаются основные задачи для достижения поставленной цели работы.

Дана общая постановка задачи о напряженно-деформированном состоянии композитной толстой и тонкой пластины с отверстием.

Во второй главе описан алгоритм построенной на языке Fortran программы численного решения задачи для случая тонкой ортотропной пластины с одним, двумя отверстиями. Алгоритм полагается на вариационный принцип, такой как принцип возможных перемещений, и на применение центрально-разностных схем. Как альтернатива имеющейся модели, построена конечно-элементная модель. Приводятся полученные автором результаты исследований о влиянии расположения отверстий в пластине и упругих параметров стеклопластиков, углепластиков на коэффициент концентрации напряжений. Основные результаты исследований: увеличение значения модуля сдвига вызывает рост коэффициента концентрации напряжений на кромке отверстия, дополнение одного отверстия вторым в продольном направлении снижает коэффициент концентрации напряжений, определено оптимальное расстояние между двух поперечно развернутых отверстий, при котором коэффициент концентрации напряжений минимален.

В третьей главе описан алгоритм программы численного решения вариационно-разностной задачи уже для толстой круглой ортотропной пластины с отверстием. В дополнении описан алгоритм программы для аналогичной тонкой пластины, но на основе метода численного интегрирования. Суть программы заключается в решении системы дифференциальных уравнений первого порядка относительно неизвестных

функций напряжений и перемещений, методом численного интегрирования по Кутта-Мерсону. Также построены альтернативные конечно-элементные модели. Основные результаты исследований: выявлен диапазон спада напряжений в толстой пластине на кромке отверстия по толщине,

В четвертой главе изложены основные положения методики расчета предельных растягивающих нагрузок композитных пластин с отверстиями. Методика построена вокруг широко известного критерия напряжений в точке. Приведено большое количество расчетов для образцов типа полоса с отверстием и полоса с отверстиями. Методика имеет подтверждение экспериментальными данными полученными автором и представленными в различных иностранных публикациях.

В заключении приведены ключевые результаты проведенного в работе исследования.

В приложении представлен акт внедрения разработанной методики в расчетную практику АО «ЦНИИмаш».

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК, достаточно хорошо структурирована и написана научно-техническим языком. Материал работы изложен последовательно и в логической последовательности.

Стоит отметить, что в работе представлено существенное количество экспериментальных данных, которые автор получил и обработал лично. Для считывания поверхностных деформаций испытываемых образцов, автор воспользовался система визуальной регистрации Vic-3D. Представлен обзор актуального отечественного и зарубежного опыта по рассматриваемой проблематике. Для моделирования экспериментов и анализа полученных результатов применялся метод конечных элементов на базе программного комплекса Simulia Abaqus.

Таким образом, **научная новизна** диссертационной работы И.С. Ермакова заключается в разработке методики определения достоверных параметров напряженно-деформированного состояния в композитных

пластинах с отверстиями, которая закрывает одну из проблем получения надежных решений в рассматриваемом классе задач. Также автор дополнил разработанную методику, процедурой расчета на прочность композитных пластин с отверстиями. Результаты диссертационной работы позволили:

- выявить закономерности воздействия разных геометрических параметров и свойств композитных материалов на коэффициент концентрации напряжений в пластине с отверстиями;

- разработать и подтвердить надежность предложенной методики получения верных решений в зонах подверженных высокой концентрации напряжений в композитной пластине из-за присутствия в ней отверстий;

- дополнить вышеуказанную методику процедурой расчета прочности композитных пластин с отверстиями;

Теоретическая значимость состоит в возможности проведения расчета напряженно-деформированного состояния однослойных, многослойных пластин с отверстиями посредством вариационно-разностной модели, конечно-элементной и численного интегрирования.

Практическая значимость работы подтверждается применением ее результатов в АО «ЦНИИмаш» для расчета напряженно-деформированного состояния композитных пластин с отверстиями, а также для расчета их прочности. Возможность в дальнейшем использовать представленные рекомендации и методики для обеспечения прочности разрабатываемой с применением композитных материалов конструкций ракетно-космической и авиационной техники Российской Федерации.

Достоверность и научная обоснованность проведенного диссертационного исследования определяется большим количеством результатов расчетов альтернативных моделей, на основании которых были верифицированы результаты работы. Также применением коммерческого программного обеспечения с открытыми теоретическими моделями деформирования композитных материалов, широко известным критерием разрушения, достаточным количеством экспериментальных данных

полученных лично автором и привлеченных из открытых зарубежных публикаций для формирования обоснованных заключений.

Полнота опубликованных основных результатов в научной печати и соответствие автореферата диссертации.

Основные научные результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, опубликованы в 7 статьях в журналах рекомендованных ВАК РФ, а также обсуждались на 5 конференциях всероссийского и международного уровня.

Автореферат и опубликованные работы полностью раскрывают содержание диссертационной работы.

Наряду с положительной оценкой диссертационной работы, считаю необходимым указать на ряд **недостатков**.

Экспериментальная часть заслуживает большей отчетности. Стоило бы расписать более подробно процессы проведения испытаний:

- добавить иллюстрации испытательной машины, оснастки, регистрирующей аппаратуры;
- дать описание методу изготовления стеклотекстолитовых образцов, методу введения в них отверстий;
- добавить к картограммам распределения деформаций, картограммы с распределением напряжений;
- не лишним была бы демонстрация конечно-элементных моделей испытуемых образцов;

Указанные замечания **не влияют** на общую высокую положительную оценку представленной диссертационной работы И.С. Ермакова и представляют собой рекомендации. Цель исследования достигнута, полученные выводы и результаты соответствуют паспорту специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твёрдого тела».

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Ермакова Ивана Сергеевича «Численное моделирование растягиваемых композитных пластин с концентраторами

напряжений в виде круговых отверстий» является научно-квалификационной работой, результаты которой имеют существенное значение для машиностроения, связанного с применением композитных материалов, что соответствует требованиям п.9 «Положение о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842 (в редакциях от 21.04.2016 №335 и 12.10.2018 №1168), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Ермаков Иван Сергеевич заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Директор

«Центра технологий материалов»

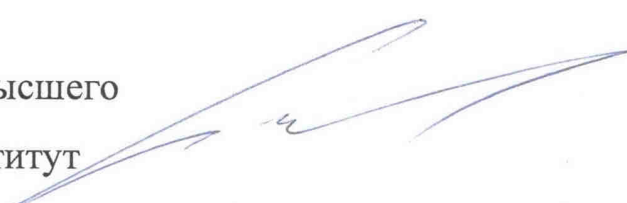
Сергеичев Иван Валерьевич

автономной некоммерческой

образовательной организации высшего

образования «Сколковский институт

науки и технологий»


28.08.2024


Подпись директора «Центра технологий материалов», к.ф.-м.н. Сергеичева Ивана Валерьевича заверяю:



ДИРЕКТОР ОТДЕЛА
ПО АДМИНИСТРИРОВАНИЮ



Краткие данные организации: автономная некоммерческой образовательной организации высшего образования «Сколковский институт науки и технологий», 121205, Московская область, город Москва, улица Большой бульвар, дом 30 строение 1, тел. +7 (495) 280 14 81, e-mail: inbox@skoltech.ru

С отзывом ознакомлен  Ермаков И.С.
04.09.2024