

В диссертационный совет
Д ПНИПУ.05.18 на базе Федерального
государственного автономного
образовательного учреждения
высшего образования «Пермский
национальный исследовательский
политехнический университет»

(614000 г. Пермь, Комсомольский пр.,
д.29).

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

к.т.н. Михайловского Константина Валерьевича

на диссертационную работу

РОГОЖНИКОВОЙ ЕЛЕНЫ НИКОЛАЕВНЫ

на тему «Разработка методики диагностики технического состояния корпусов
РДТТ при частичном расслоении узлов стыка», представленную на
соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности
2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных
аппаратов

Актуальность темы. В соответствии с приоритетными направлениями развития ракетно-космической техники одной из важных задач считается создание корпусов РДТТ из композиционных материалов с высокой весовой эффективностью. Для повышения весовой эффективности существующих и перспективных корпусов РДТТ из композиционных материалов крайне важно оценивать надежность с учетом действия эксплуатационных нагрузок и прогнозировать работоспособность для оптимизации геометрической модели. Технология изготовления корпусов РДТТ сопряжена с множеством операций и применения материалов с разнородными температурными коэффициентами линейного расширения и жесткостными параметрами, что может приводить к появлению дефектов в наиболее нагруженных областях. Оценка степени влияния дефектов в корпусах РДТТ на напряженно-деформированное состояние (НДС) и работоспособность позволяет осуществлять диагностику и возможность применения в ракетно-космической техники. В связи с чем,

актуален замысел диссертационной работы, который направлен на разработку методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка. Диагностика состояния основывается на решении задач механики композиционных материалов с применением коммерческого программного комплекса ANSYS. В работе проведен анализ влияния определенных структурных дефектов в виде расслоений в корпусах РДТТ. Расслоения в экспериментальных исследованиях имитировались как привнесенный дефект – пленка из фторопласта и анализировалось их влияние в зависимости от расположения на прочностные и жесткостные характеристики полимерного композиционного материала в составе корпуса РДТТ.

Цель работы: разработка методики диагностики технического состояния корпусов РДТТ из композиционных материалов при частичном расслоении узлов стыка.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие основные задачи:

- выполнен анализ уровня имеющихся несплошностей на переднем и заднем узлах стыка корпуса РДТТ в местах вскрытия отверстий под штифто-шпилечное соединение;
- проведена экспериментальная оценка влияния уровня расслоений на снижение предела прочности композитного материала с использованием образцов с внесёнными расслоениями.
- предложена математическая модель и программное обеспечение на основе метода конечных элементов, позволяющие проводить трёхмерный анализ напряженно-деформированного состояния композитных оболочек, составленных из разнородных композиционных структур и имеющих межслойные расслоения.
- проведены численные исследования НДС композитного корпуса с расслоениями, соответствующими реальному уровню технологии изготовления, с оценкой влияния межслоевых дефектов на работоспособность

соединительного узла и несущую способность резьбового соединения в композитном материале и допустимости уровня имеющихся расслоений в зоне штифто-шпилечного соединения многослойной композиционной оболочки;

– разработана расчетно-экспериментальная методика диагностики технического состояния корпусов РДТТ из композитных материалов при частичном расслоении узлов стыка.

Научная новизна диссертационной работы заключается в: анализе уровня несплошности в изготовленных корпусах для постановки задачи математического моделирования корпуса двигателя и оценки статической прочности на основе анализа напряженно-деформированного состояния композитных конструкций; результатах испытаний предварительно подготовленных кольцевой намоткой образцов с внесенными расслоениями, которые позволили оценить влияние уровня расслоения, определяемого введённым коэффициентом несплошности k на деформационные и прочностные свойства КМ. Установлено, что наибольшее снижение предела прочности материала до 17 % наблюдалось при коэффициенте несплошности $k = 0,08$ (приложение нагрузки под углом 45° относительно периферии расслоения).

Практическая значимость работы состоит в методике диагностики технического состояния корпусов РДТТ из композиционных материалов при частичном расслоении узлов стыка, которая направлена на оценку возможности применения в ракетно-космической техники.

Оценка содержания диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, выводов и приложений с Актами внедрения и результатами проведенных испытаний. Работа изложена на 132 страницах, включая 15 таблиц, 58 рисунков, 145 наименования литературных источников.

В введении показана актуальность темы работы, сформулирована цель и задачи, приведена новизна и практическая значимость, изложены положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены особенности технологии изготовления тонкостенных цилиндрических оболочек из полимерных композиционных материалов и виды технологических дефектов, обобщены литературные данные по причинам их возникновения. Проведен анализ возникновения расслоений в цилиндрических оболочках из полимерных композиционных материалов, с учетом возможных соединений и узлов стыка. Показано, что не в полной мере решена задача прогнозирования технического состояния многослойных цилиндрических оболочек из полимерных композиционных материалов.

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям влияния внедренного дефекта и места его расположения на прочностные и жесткостные характеристики органопластика на основе волокна Русар-С 600 А и связующего УП-2217. Изготавливались кольцевые образцы с расслоениями диаметром 150 мм, шириной 12 мм и толщиной 1,2 мм. С помощью пленки из фторопласта в процессе намотки образцов вводились искусственные дефекты, моделирующие расслоения между слоями. Исходя из анализа, встречающихся расслоений в цилиндрических оболочках, выбирались схемы расположения расслоения (фторопласта) в образце. Показано, что из-за наличия внедренных дефектов, имитирующих расслоение, предел прочности органопластика при испытании кольцевых образцов может снижаться до 17%. Для оценки результатов испытаний предложен безразмерный коэффициент несплошности, который представляет собой отношение площади возникшего расслоения к произведению площади поверхности изготовленного образца на количество слоев.

В третьей главе приведены результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния цилиндрической оболочки из разнородных композиционных материалов с применением коммерческого программного комплекса ANSYS. Рассматриваемая геометрическая модель сегментированной оболочки содержала закладные металлические элементы, а также штифто-шпилечные соединения. Изучено влияние кольцевых

несплошностей на прочность штифто-шпилечного соединения в корпусах из полимерных композиционных материалов. Расчет осуществлялся при действии статической нагрузки на трех геометрических моделях: без расслоений; длина расслоений от торца вдоль оси цилиндрической оболочки равна 30 мм по всем слоям (такой вид расслоений был зафиксирован на изготовленных корпусах); длина расслоений от торца вдоль оси цилиндрической оболочки равна 50 мм в середине пакета (по оси шпилек) до середины штифтов. Представляют практический интерес и результаты определения влияния возникшего при изготовлении дефекта в полимерном композиционном материале на работоспособность резьбового соединения при статических условиях нагружения.

Четвертая глава посвящена методике диагностики технического состояния корпусов РДТТ при частичном расслоении узлов стыка, основанная на применении программного комплекса ANSYS для снижения временных и финансовых затрат. Алгоритм расчета для получения напряженно-деформированного состояния крупногабаритной многослойной конструкции из полимерных композиционных материалов включал разработку трех геометрических моделей: 1-ая модель соответствовала геометрическим размерам и схеме армирования конструкции без расслоений; 2-ая модель – усеченная модель с граничными условиями и более подробной геометрией; 3-ая модель – усеченная модель с граничными условиями, более подробной геометрией и зонами расслоений. Рассмотрен расчет эффективных упругих характеристик слоистых полимерных композиционных материалов.

В заключении сформулированы и изложены основные результаты диссертационной работы.

Автореферат отражает основные этапы и результаты диссертационной работы. По тематике диссертационной работы опубликовано 12 научных работ, 4 из которых в журналах, входящих в перечень ВАК РФ и базу данных Scopus.

Замечания по диссертационной работе.

1. В диссертационной работе содержатся отдельные неточности и опечатки: на стр. 6, 9, 10, 26, 28, 32, 62, 68, 93 диссертации и на стр. 14 автореферата; на страницах 4, 5, 16, 17, 19 вместо термина «арматура» желательнее применять термин «армирующий наполнитель» или «волокно» в зависимости от текста; на странице 11 автореферата «многопроцессорном программном комплексе».

2. Цель работы повторяет название без дополнительного уточнения, а также в задаче №3 заявлена разработка программного обеспечения, корректнее было бы указать о разработке программного кода для ANSYS.

3. Не совсем понятны результаты испытаний кольцевых образцов из органопластика, в частности, образец без дефекта тип 1, показал значения предела прочности меньше образцов тип 11 и 13 с внедренными дефектами, аналогично и с значениями модуля упругости, где образцы с дефектами 3, 4, 6, 8, 9, 11, 12 показали выше результат.

4. В таблице 3.1 значения модулей сдвига и коэффициентов Пуассона для ткани одинаковые, однако модули упругости различные, чем обусловлены принятые допущения.

5. По тексту диссертации не даны разъяснения учитывались ли тепловые нагрузки при расчете напряженно-деформированного состояния, кроме того адгезионное взаимодействие между волокном и матрицей при расчете эффективных упругих характеристик.

Сделанные замечания не снижают уровень работы, которая отвечает современным требованиям к диссертации на соискания ученой степени кандидата технических наук. Диссертационная работа Рогожниковой Е.Н. по содержанию и полноте изложенного материала соответствует паспорту специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов:

– п. 2 Характеристики тепловых, электроракетных двигателей летательных аппаратов и их энергетических установок, отдельных узлов и систем при различных условиях их использования.

– п. 6 Методы конструирования тепловых и электроракетных двигателей летательных аппаратов, их узлов и систем, включая методы автоматизированного проектирования двигателей с помощью ЭВМ.

– п. 7 Строительная механика тепловых двигателей летательных аппаратов. Методы оценки и характеристики статической и усталостной прочности систем двигателей с учетом пластичности и ползучести материалов.

– п. 12 Методы обеспечения надежности двигателей и энергетических установок летательных аппаратов, эффективности их использования.

– п. 13 Математическое моделирование рабочих процессов, характеристик, динамических процессов, рабочих состояний двигателей и энергетических установок, методы их проектирования и конструирования применительно к системам автоматизированного проектирования. Математическое моделирование стадий и этапов жизненного цикла (создания, производства и эксплуатации двигателей и установок).

– п. 19 Методы и средства диагностики технического состояния двигателей и энергетических установок летательных аппаратов. Эксплуатационная технологичность.

Заключение

В целом диссертационная работа выполнена на высоком уровне, получены новые и практически значимые результаты, которые внедрены на предприятие ракетно-космической промышленности. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 – п.14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакциях от 21.04.2016 № 335 и 12.10.2018 № 1168), а ее автор Рогожникова Елена Николаевна достойна присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности 2.5.15. Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов.

Официальный оппонент

кандидат технических наук (по специальности 05.07.02 – Проектирование, конструкция и производство летательных аппаратов), доцент кафедры «Ракетно-космические композитные конструкции» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

— _____ Михайловский Константин Валерьевич

«16» февраль 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»

105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.5, стр. 1

Тел.: 8-499-263-65-14, e-mail: mikhaylovskiy@bmstu.ru

Подпись и должность Михайловского Константина Валерьевича заверяю:



А. Г. МАТВЕЕВ
З. А. М. НАЧ УПРАВЛЕНИЯ КАДРОВ
ТЕЛ: 8499-263-67-69