

## СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ

**Диссертационный совет:** 24.2.327.04 (Д 212.125.15)

**Соискатель:** Шаталин Александр Андреевич

**Тема диссертации:** «Экспериментальная оценка и численное моделирование межслоевой трещиностойкости тонкослойных слоистых стекло- и углекомполитов из вакуум-формуемых клеевых препрегов при индивидуальном и комбинированном растяжении и сдвиге» выполнена на кафедре 1103 «Технология композиционных материалов, конструкций и микросистем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

**Специальность:** 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки).

**Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации:** на заседании 19 декабря 2024 года, протокол № 258/24, диссертационный совет пришел к выводу, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, по научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению она удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, и принял решение присудить Шаталину Александру Андреевичу ученую степень кандидата технических наук

### Присутствовали:

Мамонов А.М. – председатель диссертационного совета;

Скворцова С.В. – ученый секретарь диссертационного совета;

Члены диссертационного совета:

д.т.н. Абраимов Н.В., д.т.н. Андрианова Н.Н., д.т.н. Бабаевский П.Г., д.т.н. Бухаров С.В., д.т.н. Гусев Д.Е., д.т.н. Егорова Ю.Б., д.т.н. Иванов Д.А., д.т.н. Коллеров М.Ю., д.т.н. Крит Б.Л., д.т.н. Лозован А.А., д.т.н. Никитина Е.В., д.т.н. Серов М.М., д.т.н. Слепцов В.В., д.т.н. Терентьева В.С., д.т.н. Чекалова Е.А., д.т.н. Шляпин С.Д.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



С.В. Скворцова

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.327.04 (Д 212.125.15)  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК**

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 19 декабря 2024 года № 258/24

О присуждении Шаталину Александру Андреевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Экспериментальная оценка и численное моделирование межслоевой трещиностойкости тонкослойных слоистых стекло- и углекомполитов из вакуум-формуемых клеевых препрегов при индивидуальном и комбинированном растяжении и сдвиге» по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки) принята к защите 10 октября 2024 г., протокол №240/24 диссертационным советом 24.2.327.04 (Д 212.125.15), созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, приказ о создании совета № 129/нк от 22.02.2017 г. и приказ о внесении изменений в состав совета № 692/нк от 18.11.2020 г.

Соискатель Шаталин Александр Андреевич, 14 февраля 1995 года рождения, в 2019 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», в 2023 г. окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», работает ведущим инженером-технологом в публичном акционерном обществе «Объединенная авиастроительная корпорация» «Опытно-конструкторское бюро Сухого» государственной корпорации «Ростех».



Диссертация выполнена на кафедре 1103 «Технология композиционных материалов, конструкций и микросистем» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель:

доктор технических наук Бабаевский Петр Гордеевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра 1103 «Технология композиционных материалов, конструкций и микросистем», и.о. заведующего кафедрой.

Официальные оппоненты:

Кондрашов Станислав Владимирович, доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», региональный учебно-научный центр «Безопасность», лаборатория маскирующих материалов, ведущий научный сотрудник;

Солодилов Виталий Игоревич, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, отдел полимеров и композиционных материалов, лаборатория армированных пластиков, старший научный сотрудник

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Акционерное общество «Обнинское научно-производственное предприятие «Технология» им. А.Г. Ромашина», г. Обнинск, в своем положительном отзыве, подписанном Русаковым Д.Ю., старшим научным сотрудником испытательной и научно-исследовательской лаборатории разработки методов и средств определения физико-механических свойств и неразрушающего контроля изделий из полимерных композиционных материалов, кандидатом технических наук и Поповым А.Г., начальником испытательной и научно-исследовательской лаборатории разработки методов и

средств определения физико-механических свойств и неразрушающего контроля изделий из полимерных композиционных материалов, кандидатом технических наук, и утвержденном Опариным А.И., первым заместителем генерального директора, указала, что диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки).

Соискатель имеет 30 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 12 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 2 работы.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Babaevsky, P. G. Evaluating the local strength and crack resistance of an glass fiber epoxy composite in the interlayer tension and shear using a finite-element model and experimentally determined parameters of the cohesive zone / Babaevsky P.G., Salienco N.V. and Shatalin A.A. // *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 59, No. 4, September, 2023 pp. 713-724.

2. Бабаевский, П.Г. Экспериментальная оценка адекватности численного моделирования межслоевой трещиностойкости слоистого стеклоэпоксикомпозита при комбинированной моде нагружения I/II / Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В., Шаталин А.А. // *Журнал «Перспективные материалы»* 2024 № 1, г. Москва, С. 77-84.

3. Бабаевский, П.Г. Экспериментальное и численное определение параметров межслоевой трещиностойкости слоистых стекло-эпоксикомпозитов при комбинированном нагружении / Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В., Шаталин А.А. // *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред. Материалы XXIX Международного симпозиума им. А.Г. Горшкова*. Москва, 2023. С. 28-30.

4. Бабаевский, П.Г. Экспериментальная и численная оценка трещиностойкости слоистых полимерных композитов при нагружении индивидуальными и комбинированными модами / Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В., Шаталин А.А. // *22-я Международная конференция «Авиация и космонавтика»*. Тезисы. Москва, 2023. С. 310-311.

5. Бабаевский, П.Г. Экспериментальное определение локальной прочности при сдвиге слоистых полимерных композиционных материалов для оптимизации численной оценки их трещиностойкости методом когезионной зоны при нагружении по моде II / Бабаевский П.Г., Салиенко Н.В., Шаталин А.А. // II-я Международная конференция «Композитные материалы и конструкции». Тезисы. Москва, 2021. С. 93-94.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных Шаталиным А.А. работах.

На автореферат поступило 8 отзывов: от НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ за подписью заместителя начальника лаборатории, к.т.н. Евдокимова А.А.; от АО «НИИграфит» за подписью главного научного сотрудника, профессора, д.т.н. Самойлова В.М.; от ФГБУ «ВИМС» за подписью заместителя заведующего аналитическим отделом Бусыгиной Н.С.; от АО ММЗ «Вперед» за подписью руководителя направления по новым материалам и технологиям, доцента, к.т.н. Мырина В.Н.; от АО «Туполев» за подписью директора комплексного производства, к.т.н. Новикова Г.В.; от ФГУП «ЦНИИХМ» за подписью начальника лаборатории Рубцова И.А.; от АО МНПК «Авионика» за подписью начальника лаборатории, к.т.н. Князевой В.Р.; от АО «РКС» за подписью начальника центральной заводской лаборатории, к.т.н. Агафонова Р.Ю.

Все отзывы положительные, в них отражена научная новизна, актуальность и практическая значимость работы, некоторые отзывы содержат замечания, например:

- В главе 2 описана технология изготовления образцов ПКМ методом вакуумной инфузии. Указано, что уровень вакуума составлял не менее  $0,8 \text{ кгс/см}^2$  при изготовлении плит толщиной 4 и 5,6 мм для стеклопластика и углепластика соответственно (по 40 слоев). При этом не упомянуто о проведенных результатах оценки пористости полученных плит каким-либо методом.
- В главе 1 автореферата не представлен сравнительный анализ методов формования композиционных материалов, их преимуществ и недостатков. Почему в данной работе выбор сделан в пользу метода вакуумного формования?
- Не в полном объеме представлены экспериментально и численно полученные зависимости увеличения длины трещины от прогиба объектов исследования.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетентностью в области данной диссертационной работы, подтвержденной наличием у них соответствующих публикаций, а также их согласием.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана комплексная методология экспериментальной и численной оценки межслоевой трещиностойкости армированных слоистых полимерных композиционных материалов (ПКМ) на примере стекло- и углекомполитов (СК и УК) из вакуум-формуемых клеевых препрегов КМКС и КМКУ при нагружении по комбинированной (смешанной) моде I/II с использованием простых образцов с заданной индивидуальной модой и сочетанием мод, параметров локальной межслоевой прочности и критериального уравнения Бензегга-Кенана;

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана эффективность применения экспериментально определенных параметров локальной межслоевой прочности при нормальном отрыве и чистом сдвиге и рассчитанных параметров когезионной зоны для численного моделирования и достоверных расчетов критического роста межслоевых трещин в слоистых армированных стекло- и углекомполитах при индивидуальном и комбинированном нагружении по модам I и II методами когезионной зоны и виртуального закрытия трещины, имплантированными в метод конечных элементов.

Применительно к проблематике диссертации результативно использованы существующие базовые методы исследования состава, структуры и поверхности разрушения слоистых полимерных композиционных материалов, в том числе сканирующая электронная микроскопия, а также существующие и специально разработанные экспериментальные методы оценки трещиностойкости и параметров локальной межслоевой прочности при растяжении и сдвиге в сочетании с современными методами численного моделирования,

изложены результаты экспериментальных исследований по определению параметров межслоевой трещиностойкости при индивидуальном и комбинированном нагружении по модам I и II и межслоевой локальной прочности слоистых ПКМ на основе принципиально отличных армирующих волокнистых

компонентов (стеклотканей и углеродных лент) при одинаковом клеевом связующем (матрице);

изучено влияние размеров интерфейсных когезионных элементов и расстояния между узлами твердотельных элементов, располагающихся по длине траектории роста трещины, на точность численного прогнозирования зарождения и развития межслоевых трещин в слоистых ПКМ.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана оригинальная методика определения локальной межслоевой прочности слоистых полимерных композиционных материалов при чистом сдвиге, определен показатель степени критериального уравнения Бензегга-Кеннана (параметр  $\eta$ ) для оценки условий инициирования и роста межслоевых трещин в вакуум-формуемых из клеевых препрегов слоистых стекло- и углекомполитов при комбинированном нагружении растяжением и сдвигом,

представлены методические рекомендации по использованию полученных экспериментальных и расчетных данных о межслоевой трещиностойкости и локальной прочности исследованных типов слоистых армированных ПКМ на простых образцах и моделях при разработке методов численных расчетов устойчивости к зарождению и инициированию роста трещин конструктивно-подобных элементов и моделей более сложной геометрии с достаточно высокой точностью при допустимом объеме вычислений.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что:

экспериментальные результаты получены на сертифицированном оборудовании с применением современных аналитических и численных методов исследования, верификация которых показала допустимые расхождения полученных результатов с экспериментальными данными;

основные идеи работы базируются на анализе и обобщении практики и опыта использования аналитических и экспериментальных методов линейной упругой механики разрушения с применением макро- и микромеханических моделей и конечно-элементного численного моделирования в рамках ЛУМР для оценки трещиностойкости слоистых ПКМ;

использованы современные методики сбора и обработки исходной

информации.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном и активном участии в формировании цели и задач исследования, в проведении теоретических и экспериментальных исследований, анализе и обработке полученных результатов, их обобщении, формулировке рекомендаций и выводов по диссертации, в подготовке основных публикаций по теме диссертации.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

- Чем вы можете объяснить различие в прочности в зависимости от того, что является наполнителем, при том, что связующее одно и то же, для стеклокомпозита и углекомпозита разница большая получается в прочности, то есть углекомпозит прочнее?

- Уточните пожалуйста, какая роль фторопластовой пленки? Имеет ли значение толщина фторопластовой пленки и какую форму имеет край, отрезанный пленки, какой край у отверстия во фторопласте, чем делали отверстие?

- Поясните пожалуйста, в программном комплексе Ansys, в вашей методике расчета учитывался ли тип материала?

Соискатель Шаталин А.А. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

- Различия в межслоевой трещиностойкости стекло- и углекомпозитов обусловлено влиянием армирующего наполнителя. Параметр межслоевой трещиностойкости углекомпозита больше, чем стеклокомпозита из-за «мостикового эффекта» наполнителя ввиду сложного характера разрушения. Разрушение происходит не только по матрице, но и локально разрушаются также армирующие волокна. Так как прочностные характеристики углеродных волокон выше, чем стеклянных, соответственно, параметр трещиностойкости углекомпозита выше, чем стеклокомпозита.

- Фторопластовая пленка обеспечивает заданием начальных трещин и зон локального межслоевого контакта в случае применения нестандартных методов определения локальной межслоевой прочности. Мною была применена фторопластовая пленка толщиной 10 мкм, применение более толстых фторопластовых пленок может вызывать дополнительные неконтролируемые



дефекты при формовании. Отверстия выполнялись пробойником, пленка и отверстия имеют ровные края.

- Тип материала, конечно, учитывался. Перед началом моделирования мною задавались не только прочностные параметры, такие как параметры когезионной зоны в случае моделирования индивидуального нагружения и параметры трещиностойкости и константа материала в случае комбинированного нагружения, но и упругие характеристики, такие как модуль Юнга, модуль сдвига и коэффициент Пуассона, соответствующие моделируемому материалу.

На заседании 19 декабря 2024 года диссертационный совет принял решение за научно-обоснованную разработку и применение комплексных методов экспериментальной и численной оценки межслоевой трещиностойкости современных слоистых ПКМ при комбинированном нагружении, сочетающих макро- и микромеханический анализ, экспериментальные исследования и численное моделирование, имеющих существенное значение для развития страны, присудить Шаталину Александру Андреевичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки).

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 19 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.6.17. «Материаловедение» (технические науки), участвовавших в заседании; из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 19, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель  
диссертационного совета

Мамонов Андрей Михайлович

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Скворцова Светлана Владимировна

19 декабря 2024 года

Проректор по научной работе



Иванов Андрей Владимирович