

СВЕДЕНИЯ О РЕЗУЛЬТАТАХ ПУБЛИЧНОЙ ЗАЩИТЫ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационный совет: Д 212.125.05

Соискатель: Еголева Екатерина Сергеевна

Тема диссертации: Моделирование деформирования тонких пластин из композиционных материалов с высокотемпературными фазовыми превращениями

Специальность: 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела

Решение диссертационного совета по результатам защиты диссертации: на заседании 25 ноября 2020 года, протокол 3, диссертационный совет пришел к заключению о том, что диссертационное исследование Еголевой Е.С. является законченной научно-квалификационной работой, имеет важное прикладное значение и содержит элементы фундаментального исследования. Достоверность полученных результатов обоснована и сомнений не вызывает.

Диссертация Еголевой Е.С. отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденным постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842. На заседании 25 ноября 2020 года, протокол 3, диссертационный совет принял решение присудить Еголевой Е.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

Присутствовали: председатель диссертационного совета Тарлаковский Д.В., заместитель председателя диссертационного совета Фирсанов В.В., ученый секретарь диссертационного совета Федотенков Г.В.

Члены диссертационного совета: Антуфьев Б.А., Бирюков В.И., Вестяк В.А., Гришанина Т.В., Дмитриев В.Г., Дудченко А.А., Зверьев Е.М., Кузнецов Е.Б., Лурье С.А., Медведский А.Л., Меркурьев И.В., Мовчан А.А., Нерубайло Б.В., Рабинский Л.Н., Рыбаков Л.С., Сидоренко А.С., Солдатенков И.А., Туркин И.К., Тютюнников Н.П.

Председатель

диссертационного совета Д 212.125.05

д.ф.-м.н., профессор

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.125.05

к.ф.-м.н., доцент


Тарлаковский Д.В.

Начальник отдела УДС МАИ
Т.А. Аникина
Федотенков Г.В.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.125.05
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 «25» ноября 2020 г. № 3

О присуждении Еголевой Екатерине Сергеевне, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Моделирование деформирования тонких пластин из композиционных материалов с высокотемпературными фазовыми превращениями» по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите «09» сентября 2020 г., протокол заседания № 2 диссертационным советом Д 212.125.05 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4, А-80, ГСП-3, приказ о создании диссертационного совета Д 212.125.05 – № 105/нк от «11» апреля 2012 г.

Соискатель Еголева Екатерина Сергеевна, 1990 года рождения, в 2013 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный

исследовательский университет)» по специальности «Прикладная математика», в 2017 окончила заочную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

С 2013 года по настоящее время Еголева Е.С. работает в научно-исследовательском отделении тепловибропрочности акционерного общества «Военно-промышленная корпорация «Научно-производственное объединение машиностроения» в должности инженера 2 категории. Ведомственная принадлежность – Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре ФН-11 «Вычислительная математика и математическая физика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, **Димитриенко Юрий Иванович**, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная математика и математическая физика (ФН-11)» МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Официальные оппоненты:

Звягин Александр Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры газовой и волновой динамики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва

Волков-Богородский Дмитрий Борисович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного

учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН)», г. Москва,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация **Акционерное Общество «Композит»** (АО «Композит»), Московская область, г. Королев, в своем положительном заключении, подписанном доктором технических наук, начальником отделения 0110 АО «Композит» Логачевой Аллой Игоревной, кандидатом технических наук, начальником отделения 0220 АО «Композит» Тащиловым Сергеем Васильевичем, кандидатом физико-математических наук, начальником отдела 0222 АО «Композит» Вагиным Вячеславом Петровичем, утвержденным кандидатом физико-математических наук, заместителем генерального директора АО «Композит» Дворецким Александром Эргардовичем отметила, что проведение расчетов НДС тонких пластин с приемлемой точностью в общей трехмерной постановке для многослойных конструкций сложной формы требует больших затрат с точки зрения моделирования, а также мощных вычислительных ресурсов, поэтому не пропадает интерес к разработке модифицированных теорий. В представленной диссертационной работе предложен новый модифицированный вариант асимптотической теории расчета тонких пластин из композиционных материалов с фазовыми превращениями. При этом, для учета фазовых превращений в материале, особое внимание было уделено иерархическому моделированию микроструктуры тканевого композита на неорганическом связующем при нагреве и построению определяющих соотношений для материалов данного класса. Диссертация представляет собой завершенное научное исследование, посвященное решению актуальной проблемы, достоверность, новизна и практическая значимость результатов сомнений не вызывает.

Соискатель имеет 10 опубликованных печатных работ по теме диссертации, из которых 5 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Димитриенко Ю.И., Сборщиков С.В., Еголева Е.С., Матвеева А.А. Моделирование термоупругих характеристик композитов на основе алюмохромфосфатных связующих // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2013. № 11. с. 497-518.

Разработана многоуровневая модель по определению термоупругих характеристик, учитывающая физико-химические превращения, протекающие в стеклянных волокнах и фосфатном связующем. Проведено сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными, показано, что разработанная многоуровневая модель для расчета термоупругих характеристик композиционного материала позволяет прогнозировать сложный, нелинейный характер изменения упругих свойств неорганических композитов при нагреве.

2. Димитриенко Ю.И., Сборщиков С.В., Губарева Е.А., Еголева Е.С., Мальцева А.А. Многомасштабное моделирование высокотемпературных упруго-прочностных свойств композиционных материалов на неорганической матрице // *Математическое моделирование*. 2015. Т. 27. № 11. с. 3-20.

На основе разработанной многомасштабной математической модели тканевых композитов получены аналитические соотношения, описывающие изменение модуля упругости и пределов прочности связующего и стекловолокон при высоких температурах. Применены методы многомасштабной гомогенизации и конечно-элементного моделирования микронапряжений на ячейках периодичности. Создан программный модуль, реализующий разработанные математические модели.

3. Димитриенко Ю.И., Сборщиков С.В., Еголева Е.С. Моделирование термо-механических и теплофизических характеристик деструктурирующих теплозащитных композитов на основе конечно-элементного микроструктурного анализа // *Тепловые процессы в технике*, 2016, № 12, с. 564-573. http://www.nait.ru/journals/number.php?p_number_id=2544.

Предложен метод расчета эффективных термомеханических и теплофизических характеристик деструктурирующих теплозащитных композитов, основанный на решении локальных задач методом конечного элемента. Приведен пример численного моделирования для композита на основе керамических волокон и полимерной матрицы при высоких температурах.

4. Yu I Dimitrienko, S V Sborschikov, E S Egoleva, D O Yakovlev Modeling of thermal stresses in inorganic matrix composite plates based on the asymptotic theory // *Journal of Physics. IOP Conference Series: Material Science and Engineering*, 2019. volume 683 № 012010 doi:10.1088/1757-899X/683/1/012010 pp.1-6.

Предложен модифицированный вариант асимптотической теории тонких композитных пластин с многостадийными высокотемпературными фазовыми превращениями, основанный на асимптотическом анализе трехмерных уравнений механики композитов. Приведено численно-аналитическое решение, распределения прогиба по длине пластины, распределения касательного напряжения по толщине тонкой пластины в зависимости от времени прогрева.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

от **научного руководителя, ведущей организации и официальных оппонентов**, отзывы положительные;

от **Каледина Владимира Олеговича**, кандидата технических наук, заместителя главного конструктора по прочности Акционерного общества «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» (АО «ЦНИИСМ»), заверенный секретарем научно-технического совета АО «ЦНИИСМ» Красновой Г.В., отзыв положительный;

от **Власова Александра Николаевича**, доктора технических наук по специальности 01.02.04, директора Федерального государственного

бюджетного учреждения науки «Институт прикладной механики Российской академии наук (ИПРИМ РАН)», заведующего отделом механики структурированной и гетерогенной среды ИПРИМ РАН, заверенный ученым секретарем ИПРИМ РАН Карнет Ю.Н., отзыв положительный.

В поступивших отзывах отмечена актуальность темы диссертационного исследования, дан краткий обзор работы по главам, отмечены актуальность, новизна, достоверность полученных автором результатов и их практическая и фундаментальная ценность.

В поступивших отзывах от официальных оппонентов и ведущей организации имеются следующие основные критические замечания:

1. Принятые три предположения о порядке малости числа Фурье, давления, градиента давления и теплового потока никак не обосновываются. Не показано, как эти предположения использованы в самой работе.

2. Разработанная модель содержит большое количество констант, методика определения которых, в явном виде в работе не отражена. Вопрос о корректном определении констант в моделях такого класса представляет собой достаточно сложную задачу, требующую пояснений.

3. В работе не представлены принципы выбора количества фаз и число фазовых превращений, поэтому остается неясным, ограничены ли эти параметры физическими, или иными соображениями.

В отзывах на автореферат следует отметить такое критическое замечание:

- в автореферате не указано, почему выбран именно метод сложения слоев для расчета эффективных характеристик на нижних уровнях модели и почему не был использован асимптотический метод, как для всего композита.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными

специалистами в данной области и имеют публикации, связанные с направлением исследований диссертации.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что в ведущей организации проводятся разработка, исследования и производство композиционных материалов, в ней работают специалисты, достижения которых широко известны, в том числе и в области науки, соответствующей тематике диссертации. Статус АО «Композит», как головной научно-исследовательской организации Госкорпорации «Роскосмос» по созданию и использованию материалов, покрытий и технологий их производства подтвержден приказом Госкорпорации №168 от 23 августа 2016 года.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан новый метод вывода уравнений теории термоупругости для тонких пластин из композитов с многостадийными фазовыми превращениями, основанный на асимптотическом анализе общих трехмерных уравнений теории термоупругости, учитывающий конечные сдвиговые характеристики специальным образом;

предложен новый подход к построению определяющих соотношений для композиционных материалов с многостадийными фазовыми превращениями, основанный на разработанной многоуровневой модели тканевого композиционного материала при высоких температурах;

предложены новые подходы к учету физико-химических превращений в композите при моделировании процессов деформирования тонких пластин из высокотемпературных композитов при механическом и тепловом воздействии;

доказана перспективность применимости разработанной методики и алгоритмов для аналитических и численных расчетов напряженно-деформированного состояния тонкой пластины из композиционных материалов с высокотемпературными фазовыми превращениями;

НОВЫЕ ПОНЯТИЯ не вводились.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- доказана** эффективность применения разработанного модифицированного подхода для численного расчета изменения напряженно-деформированного состояния тонкой пластины, что вносит существенный вклад в развитие методов анализа деформированного состояния элементов конструкций из композиционных материалов с высокотемпературными фазовыми превращениями;
- применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использован** комплекс существующих базовых положений механики деформируемого твердого тела, общие подходы механики сплошной среды и асимптотических методов, а также современные пакеты математического моделирования;
- изложены** этапы поиска объемных концентраций и упругих характеристик связующего, матрицы и волокна для класса тканевых композитов на неорганическом связующем;
- раскрыты** особенности моделирования эффективных характеристик матрицы и волокна в композите при высоких температурах в зависимости от времени;
- изучены** зависимости компонент тензора модулей упругости для пластины из высокотемпературного композита и сдвиговых напряжений в пластине от поперечной координаты и времени нагрева;
- проведена модернизация** подхода по расчету компонент тензора напряжений в пластине из композиционного материала с фазовыми превращениями при воздействии давления и температурного поля.

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

разработаны новые подходы к моделированию и эффективному расчету процессов деформирования тонких многослойных пластин, позволяющие

находить напряжения межслойного сдвига в задаче об изгибе тонкой пластины из композитов с фазовыми превращениями;

определены практически важные эффекты влияния фазовых превращений на кинетику изменения напряженно-деформированного состояния пластины, приводящие к появлению внутренних зон упрочнения материала и увеличению уровней изгибных напряжений;

создан новый расчетный подход к применению принципа сложения слоев для поиска эффективных характеристик при представлении выделенных фаз в связующем и волокнах в виде системы вложенных геометрических кубов;

представлены аналитические формулы и результаты вычислений, в виде распределений прогиба по длине пластины, распределений напряжений по толщине пластины в различные моменты времени, изменение концентраций фаз по толщине пластины, изменение модуля упругости матрицы и волокна, изменение компонент тензора модулей упругости в различные моменты времени;

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

теория построена на известных положениях механики деформируемого твердого тела и апробированной ранее многоуровневой модели тканевого композиционного материала с фазовыми превращениями;

идея базируется на построении аналитических решений путем применения метода асимптотического осреднения к уравнениям трехмерной теории термоупругости с учетом рассмотрения поперечного перемещений до третьего приближения;

использованы сравнения результатов численного расчета прогиба и напряжений с результатами, полученными по известным теориям, а также с результатами расчета в программном комплексе конечно-элементного анализа задачи о прогибе пластины при механическом воздействии;

установлено качественное и количественное соответствие полученных численных решений задач с трехмерным решением для частных примеров

расчета, результаты диссертационного исследования согласуются с известными результатами других авторов;

использованы современные программные комплексы конечно-элементного моделирования, современные программы технических вычислений.

Личный вклад соискателя состоит в следующем.

В разработке математической многоуровневой модели для расчета тепловых и упругих характеристик тканевых композиционных материалов с многостадийными фазовыми превращениями и получении аналитических определяющих соотношений для данного класса материалов, в разработке модифицированного подхода для расчета термоупругости пластин с фазовыми превращениями, учитывающего конечные значения сдвиговых характеристик композита, а также в верификации разработанных моделей, путем проведения вычислительных экспериментов, их анализе и сравнении с результатами, полученными прямым конечно-элементным решением.

Приведенные положения позволяют заключить, что представленная диссертация является законченным научно-квалификационным исследованием, которое содержит решение задачи с элементами научной новизны, имеющей важное прикладное и фундаментальное значение для развития механики композиционных материалов и механики деформируемого твердого тела. В ней представлены новые, научно обоснованные теоретические решения и разработки, что соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842.

На заседании 25 ноября 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Еголевой Е.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 9 докторов физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела», участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 22, против 0, недействительных бюллетеней нет.

Председатель

Диссертационного совета Д 212.125.05

д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Ученый секретарь

Диссертационного совета Д 212.125.05

к.ф.-м.н., доцент

Федотенков Г.В.

25.11.2022

Начальник отдела УДС МАИ

Т.А. Анищенко

