



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
автономное образовательное учреждение высшего
образования
«Пермский государственный национальный
исследовательский университет»
(ПГНИУ)

614068, Россия, Пермь, ул. Букирева, 15,
+7(342) 239 64 35; +7(342) 237 16 11 (факс)
info@psu.ru, www.psu.ru

ОКПО 02069071, ОГРН 1025900762150
ИНН/КПП 5903003330 / 590301001

26.02.2024 № 22-3/067

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе и
инновациям ФГАОУ ВО ПГНИУ,
кандидат физико-математических
наук

В.А. Ирха

«___» _____ 2024 г

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Сахабутдиновой Ляйсан Рамилевны
«Термовязкоупругое поведение крупногабаритного намоточного изделия в процессе
изготовления», представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы выполненного исследования.

Рассмотренная в работе крупногабаритная намоточная оболочка является малосерийным и дорогостоящим изделием, к которому предъявляются повышенные требования по монолитности и точности геометрической формы. На появление дефектов оболочки при изготовлении, в том числе оказывают влияние свойства и поведение оправки в процессе производства. Поэтому при проектировании изделий данного класса актуальной задачей является исследование совместного деформирования формообразующей оправки и наматываемой оболочки.

В работе методами вычислительной механики решается задача о напряженно-деформированном состоянии (НДС) конструкции «оправка–оболочка» в процессе изготовления. Получены решения для этапов намотки, термообработки и удаления оправки. Анализ изменения деформационных параметров, пространственных и временных распределений давления на поверхности формообразующей оправки позволил получить важные данные о поведении изделия на этапах технологического процесса.

Широкий обзор литературных источников, приведенных в тексте диссертационной работы и представленное многообразие задач, связанных с прогнозированием поведения слоистых композиционных материалов, свидетельствует о междисциплинарности данной научной работы и большом интересе к этой теме отечественных и зарубежных специалистов. Тема диссертации, ее цель, задачи и методические подходы к их решению продуманы, а актуальность не вызывает сомнения.

Научная новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Диссертационная работа Сахабутдиновой Л.Р. направлена на развитие расчетно-экспериментальных методик описания особенностей НДС систем «оправка – композиционная оболочка» в процессе изготовления оболочки с использованием современных подходов к конечно-элементному моделированию и математического аппарата теории линейной вязкоупругости. Предложена и реализована математическая модель термовязкоупругого поведения полимерного композита как анизотропного упругого материала с одним независимым вязкоупругим оператором. Разработана параметризованная трехмерная численная модель системы «оправка – оболочка» и реализован алгоритм решения краевой задачи механики для совместного деформирования в ходе технологического процесса изготовления с учетом особенностей взаимодействия оправки с технологической оснасткой при внешнем термосиловом воздействии. Разработанные модель и алгоритм решения задачи позволили получить данные о распределении давления на поверхности формообразующей оправки и провести численные эксперименты по оценке влияния на них основных технологических параметров.

Практическая и теоретическая значимость полученных автором диссертации результатов.

Теоретическая значимость работы состоит в развитии методологии решения прикладных задач технологической механики производства крупногабаритных оболочек из полимерных композиционных материалов (ПКМ), имеющих выраженную анизотропию термовязкоупругих характеристик.

Практическая значимость работы состоит в разработке расчетно-экспериментальной методики для оценки изменения нормального давления на внешней поверхности оправки в процессе изготовления для оценки ее прочности и прогнозирования возможных зон возникновения дефектов готовой оболочки.

Научная и практическая значимость подчеркивается тем, что диссертация была выполнена в рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований 16-48-590809, 16-01-00474 и 20-48-596009, договора № 2015/291 от 01.09.2015 г. с ПАО НПО «Искра».

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений.

Сформулированные в диссертационной работе положения и выводы обеспечиваются качественным и количественным соответствием полученных решений экспериментальным данным о релаксации материалов оправки и однонаправленного ПКМ, сходимостью полученных расчетных температурных полей с известными данными термометрии системы «оправка – оболочка», результатом сравнения общей длины конструкции на ключевых этапах процесса изготовления с полученным численным решением.

Оценка содержания диссертации и автореферата.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 154 страницах, содержит 82 иллюстрации и 10 таблиц. Список литературы включает 148 наименований.

Введение отражает современное состояние научной области исследования и актуальность темы работы, цель и задачи, научную новизну, практическую и теоретическую значимость, степень достоверности, выносимые на защиту положения, апробацию результатов и личный вклад автора в диссертационное исследование.

В первой главе автором проведен анализ литературных источников, посвященных описанию технологического процесса изготовления оболочек методом непрерывной мокрой намотки с последующей термообработкой. Сделан обзор подходов к проектированию и моделированию изделий из ПКМ, существующих подходов к исследованию отдельных этапов изготовления, выявлены их недостатки и обоснована актуальность диссертационного исследования.

Вторая глава посвящена прогнозированию термовязкоупругих характеристик материалов оболочки и оправки. Приведены результаты экспериментального исследования релаксации материалов оправки, образцов однонаправленного органопластика, образцов отвержденной эпоксидной смолы. Приведено описание методики обработки полученных экспериментальных данных, процедур адаптации вязкоупругих свойств рассмотренных материалов в прикладном комплексе программ ANSYS Mechanical APDL. В рамках исследования получены обобщенные функции релаксации и параметры аппроксимации для песчано-полимерной смеси, эпоксидной смолы и однонаправленного пластика.

Третья глава посвящена исследованию методических приемов упрощения численного аналога системы для снижения затрат вычислительных ресурсов при отыскании НДС намотанной оболочки и оправки на основе тестовой задачи в виде сегмента цилиндрической части. Исследование проведено с использованием современного пакета ANSYS Mechanical APDL в трёхмерной постановке, в том числе рассмотрен случай послойного наращивания толщины оболочки. Приведены математические постановки краевой задачи механики деформируемого твердого тела, нестационарной теплопроводности, а также системы граничных и начальных условий для рассмотренных задач. Исследованы четыре варианта описания анизотропного термовязкоупругого поведения материала оболочки, проведена оценка возможности использования модели, сочетающей анизотропное упругое поведение материала с одним независимым вязкоупругим оператором, проведено исследование влияния выбора оператора на компоненты тензора напряжений на поверхности оправки.

В четвертой главе описаны основные подходы к разработке конечно-элементного аналога конструкции. Приведены алгоритмы параметризации и автоматизации построения дискретного аналога, начальные и граничные условия задач нестационарной теплопроводности и краевой квазистатической задачи механики, которые позволили учесть особенности нагружения и работы конструкции в процессе изготовления. Проведена процедура оценки достоверности численного решения на основе данных об изменении длины конструкции на этапах производственного цикла.

В пятой главе представлены и интерпретированы результаты решения задачи нестационарной теплопроводности и квазистатической задачи механики деформируемого твердого тела. Проведен достаточно подробный анализ НДС оболочки для отдельных этапов процесса изготовления, построены интегральные

зависимости деформационных параметров от времени, приведены полученные пространственные и временные распределения радиальных напряжений на поверхности оправки. Показано, что допустимые на производстве изменения параметров технологического процесса не приводят к существенному изменению НДС конструкции вплоть до конечного этапа процесса изготовления.

В заключении представлены основные результаты работы.

В приложении приведены свидетельства на программы для ЭВМ и акт научно-технической комиссии об использовании результатов научной работы на предприятии ПАО НПО «Искра» (г. Пермь).

Содержание и структура диссертации соответствуют поставленным задачам исследования. Автореферат диссертации правильно и полно отражает ее содержание.

Основные научные результаты отражены в 16 работах, из них 5 статей опубликованы в изданиях, включенных в перечень рецензируемых научных изданий из списка ВАК и приравненных к ним, из них 2 – в изданиях, индексированных в международных базах цитирования Web of Science и Scopus, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Соответствие диссертационной работы паспорту специальности.

Диссертационная работа Сахабутдиновой Ляйсан Рамилевны по содержанию и полноте изложенного материала соответствует паспорту специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела: пункту № 1 – «Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых»; пункту № 3 – «Задачи теории упругости, теории пластичности, теории вязкоупругости»; пункту № 4 – «Механика композиционных материалов и конструкций, механика интеллектуальных материалов» и пункту № 12 – «Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела».

Замечания по содержанию и оформлению работы.

1. В первой главе не рассмотрены вопросы, связанные с неравномерностью отверждения полимерной матрицы и миграции связующего при мокрой намотке с предварительным натяжением, что приводит к существенному изменению объёмной доли волокон в слоях по толщине изделия и оказывает существенное влияние на поля остаточных напряжений в оболочке.

2. Во второй главе приведены результаты испытания образцов отвержденной смолы, в то время как большую часть времени при изготовлении связующее находится в не полимеризованном состоянии.

3. В третьей главе не представлены оценки сходимости численных процедур для ячейки периодичности и рассмотренных представительных объемов.

4. В разделе 3.4 вывод о важности учёта реологии материала оболочки при моделировании поведения системы не является обоснованным.

5. В разделе 5.3 кажется недостаточным набор рассмотренных параметров.

В целом указанные замечания не снижают общего положительного впечатления о проделанной соискателем работе.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Сахабутдиновой Ляйсан Рамилевны «Термовязкоупругое поведение крупногабаритного намоточного изделия в процессе изготовления» является научно-квалификационной работой, связанной с получением и анализом данных об эволюции напряжено-деформированного состояния крупногабаритного намоточного изделия в процессе изготовления с учетом сложного термомеханического нагружения и термовязкоупругого характера поведения материалов формообразующей оправки и композиционной оболочки.

Диссертационная работа Сахабутдиновой Л.Р. соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв рассмотрен и утвержден на заседании кафедры вычислительной и экспериментальной механики ФГАОУ ВО ПГНИУ, протокол № 5 от «25» 06/2024 г.

Отзыв составлен:

Заведующий кафедрой
фундаментальной математики,
профессор кафедры вычислительной и
экспериментальной механики,
д-р техн. наук, профессор

Валерий Нагимович Аптуков

Заведующий кафедрой
вычислительной и экспериментальной механики,
канд. техн. наук, доцент

Виктор Николаевич Терпугов

Подписи Аптукова В.Н., Терпугова В.Н. заверяю
Ученый секретарь



Е.П. Антропова