

Отзыв официального оппонента

доктора технических наук, профессора Сапожникова Сергей Борисовича 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 моделирования термовязкоупругого деформирования крупногабаритных намоточных изделий совместно с формообразующей оправкой несомненна и определяется высокой стоимостью и жёсткими требованиями к монолитности таких изделий. Крупногабаритные оболочки являются сложными объектами с точки зрения анализа напряженно-деформированного состояния (НДС), меняющегося во времени. После полимеризации матрицы появляются остаточные технологических напряжения, которые в ряде случаев приводят к нарушению прочности матрицы и образованию расслоений.

Анализ содержания диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и трёх приложений. Полный объем диссертации составляет 154 страницы с 82 рисунками и 10 таблицами. Список литературы содержит 148 наименований.

В первой главе рассмотрен технологический процесс изготовления оболочек методом непрерывной мокрой намотки с последующей термообработкой, представлен обзор работ, посвященных моделированию процесса деформирования изделий из полимерных композитных материалов (ПКМ). Рассмотрены модели упругого и вязкоупругого деформирования анизотропных композитных материалов, рассмотрены решения задач об определении остаточных напряжений. На основе обзора сформулирована цель и задачи диссертационного исследования.

Замечание №1. К сожалению, в обзорной части не отмечены проблемы, связанные с генерацией тепла при отверждении полимерной матрицы и миграции связующего при мокрой намотке с натяжением на оправке, что приводит к существенному изменению объёмной доли волокон в слоях по толщине изделия. А это, в свою очередь, ведёт к изменению упругих и теплофизических свойств слоёв, что определяет величину остаточных напряжений после полимеризации.

Во второй главе приводятся данные экспериментальных исследований реологических свойств материалов оправки (ППС) и оболочки (органопластик), а также предложена методика определения комплекса параметров в модели реономного деформирования для реализации в пакете ANSYS Mechanical APDL.

Замечание №2. При этом в работе исследования ведутся на уже отверждённых материалах, не рассматривая проблему полноты полимеризации связующего в заданное время при определённых температурах.

Замечание №3. Достаточно сложная процедура идентификации множества параметров реологических моделей должна быть экспериментально проверена на примере, допускающем простую интерпретацию результатов. Однако этого в работе, к сожалению, нет.

Третья глава нацелена на анализ методических приёмов упрощения (и ускорения) процедуры анализа НДС намотанной оболочки на оправке в виде сегмента цилиндрической части. Исследование проведено с использованием пакета ANSYS Mechanical APDL в трёхмерной постановке с послойным нанесением. Корректность рационализации трудоёмкой послойной модели проверена лишь путём сопоставления величин расчётных радиальных напряжений с моделью на основе представления об однородности свойств оболочки по толщине, что является лишь допущением. Экспериментов нет.

Замечание №4. На основе анализа графиков на рис.3.23 (с.89 диссертации или рис.4 автореферата) необоснованно делается вывод о важности учёта реологии материала оболочки.

В четвертой главе представлено решение сформулированной в главе 3 краевой задачи механики деформируемого твёрдого тела методом конечных

элементов в коммерческом пакете инженерного анализа ANSYS Mechanical APDL. Возможности пакета позволили организовать решение задачи в автоматизированном режиме, что позволило использовать разработанные алгоритмы для анализа напряженно-деформированного состояния частей конструкции в процессе изготовления крупногабаритных намоточных изделий при различных размерах, схемах армирования и параметрах технологического процесса.

Автор здесь проявил свою высокую квалификацию как программист.

При этом стоит критически рассмотреть процесс оценки теплового состояния конструкции оболочки на оправке (в одной точке поверхности), для которого рекомендовано использовать не один, а три конечных элемента по толщине оболочки. Это позволило уточнить максимальную температуру со 142,14 до 142,2 °С. *Эти усилия представляются мне неоправданными, учитывая точность измерения температуры на практике и её вариацию по поверхности оболочки.*

В пятой главе приведен пример решения задачи прогнозирования НДС с учетом температурных деформаций конкретной конструкции на трех этапах изготовления. Дана оценка температурных полей, эволюции НДС конструкции с учетом термовязкоупругого поведения формообразующей оправки и оболочки.

Показано, что допустимое на производстве изменение параметров технологии не приводит к существенному изменению НДС в конструкции после окончания процесса отверждения.

Заключение и выводы по работе вполне конкретные.

Научная новизна диссертационной работы, по мнению оппонента, состоит в следующем:

1. Предложена и реализована средствами ANSYS Mechanical APDL новая термовязкоупругая модель полимерного композитного материала, сочетающая анизотропное упругое поведение среды с одним независимым вязкоупругим оператором.

2. Создана параметризованная трехмерная численная модель системы «оправка – оболочка» и реализован алгоритм решения краевой задачи механики совместного деформирования на протяжении технологического процесса изготовления с учетом внешнего термосилового воздействия.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработанной методике анализа НДС комплекса «оболочка – оправка» с учётом термовязкоупругого поведения материалов, позволяющая на этапе проектирования предсказывать проблемные места конструкции, опасные с точки зрения нарушения монолитности. Этот факт подтверждён актом научно-технической комиссии об использовании результатов работы от ПАО НПО «Искра».

Достоверность научных результатов и обоснованность выводов вполне достаточная, с учётом сложности проведения экспериментов на крупногабаритных дорогостоящих изделиях.

Замечания приведены *курсивом* в разделе отзыва, посвященном анализу содержания диссертации. Они носят в большей степени редакционный характер и несущественно снижают ценность полученных результатов.

Соответствие диссертационной работы указанной специальности. Диссертационная работа Сахабутдиновой Л.Р. по содержанию и полноте изложенного материала соответствует паспорту специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела в разделах:

3. Задачи теории упругости, теории пластичности, теории вязкоупругости.

4. Механика композиционных материалов и конструкций, механика интеллектуальных материалов.

11. Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях.

12. Вычислительная механика деформируемого твёрдого тела.

13. Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов...

Заключение. Считаю, что диссертационная работа Сахабутдиновой Ляйсан Рамилевны «Термовязкоупругое поведение крупногабаритного намоточного изделия в процессе изготовления» представляет собой законченную

научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой решены современные научные задачи. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор, Сахабутдинова Ляйсан Рамилевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,

главный научный сотрудник кафедры технической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

доктор технических наук, профессор

Сергей Борисович Сапожников

«29» января 2024 г.

Я, Сапожников Сергей Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Сахабутдиновой Ляйсан Рамилевны, и их дальнейшую обработку.

Подпись Сапожникова С

веряю:

ВЕРНО
Начальник службы
делопроизводства
Н.Е. Цибулина

Сапожников Сергей Борисович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры технической механики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Адрес организации: ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)»

Телефон: +7(912)7957271

E-mail: sapozhnikovsb@susu.ru

Наименование научной специальности, по которой была защищена докторская диссертация: 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.