

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Еголевой Екатерины Сергеевны
«Моделирование деформирования тонких пластин из композиционных материалов с высокотемпературными фазовыми превращениями»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела.

Актуальность работы обусловлена все более широким использованием композиционных материалов современной промышленностью. Особое место занимают тонкостенные композиционные материалы, способные сохранять рабочие характеристики при повышенных тепловых и силовых воздействиях. Высокие температуры рабочего цикла обсуждаемых композиционных материалов требуют использования специальных химических составляющих для волокон и матрицы. Используются материалы на основе неорганических связующих, способных выдерживать высокие температуры (фосфатных, алюмо-фосфатных, хромо-фосфатных, магний-фосфатных и др.). Агрессивные внешние воздействия приводят к необходимости учета многостадийных физико-химических превращений в компонентах композита при нагреве до высоких температур. Разработке методов расчета напряженно-деформированного состояния таких материалов и посвящена диссертация.

Целью исследований является разработка модифицированной асимптотической теории расчета тонких пластин и определяющих соотношений для композиционных материалов с высокотемпературными многостадийными фазовыми превращениями, основанная на микроскопическом анализе напряженно-деформированного состояния.

Диссертационная работа Еголевой Е. С. состоит из введения, 3 глав, выводов, заключения и списка литературы. Работа изложена на 118 страницах, содержит 40 иллюстраций и 1 таблицу. Библиография включает 70 наименований.

Во введении описана предметная область, сформулирована цель диссертационной работы, подтверждена актуальность работы, дана информация о публикациях автора и апробации работы.

Отдел документационного
обеспечения МАИ

« 9 » 11 20 20

В первой главе изложены основы моделирования свойств композиционных материалов с многостадийными фазовыми превращениями. Рассматривается класс тканевых композиционных материалов, для которого определяются четыре уровня моделирования. Первый уровень – ткань композита, второй – волокно, матрица, третий – двухфазное связующее, двухфазное волокно. На четвертом уровне – каждая из двух фаз «связующего» моделируется пятифазной средой. Каждый структурный уровень состоит из большого числа соответствующих ячеек периодичности. Фазовые превращения моделируются рассмотрением двух состояний волокна, условно названных «аморфным» и «кристаллическим», содержание которых меняется в рассматриваемом рабочем процессе. Для введенной многофазной системы, используя принцип сложения слоев, построены соотношения для эффективных модулей упругости и коэффициентов теплового расширения для ячейки периодичности на 4-м уровне и третьем уровне. На 1-м и 2-м уровнях для ячейки со стабильной геометрической структурой поиск эффективных характеристик осуществляется методом гомогенизации. Результатом первой главы является получение системы уравнений для объёмного содержания фаз, уравнения обобщённого закона, связывающего напряжения и деформации, а также уравнения обобщённого закона Фурье для теплового потока. При этом, упругие модули и коэффициенты теплопроводности являются функциями объёмного содержания фаз.

Во второй главе вводится система уравнений теории термоупругости тонких многослойных пластин с учетом фазовых превращений. Она состоит из уравнения теплопроводности, уравнений равновесия, граничных условий на боковых сторонах, а также на границах слоёв, включая лицевую и тыльную сторону пластины. Кроме этого, система включает уравнения изменения содержания фаз, от которого зависят упругие модули и коэффициенты теплопроводности. Отношение толщины пластины к характерному размеру считается малой величиной. Далее принимаются три предположения: число Фурье процесса нагрева имеет второй порядок малости; давление на верхней и нижней поверхностях пластины имеет третий порядок малости; изменения теплового потока и давления на расстояниях порядка толщины пластины

считаются малыми. Для описания изменения свойств пластины по её толщине используется локальная безразмерная координата – отношение нормальной декартовой координаты к малому параметру задачи. Решение искомым функций основной системы уравнений представляется в виде асимптотических разложений по малому параметру. Приравнивая члены одинакового порядка малости, автор получает рекуррентную последовательность локальных задач термоупругости для композиционного материала с фазовыми превращениями.

Для повышения точности теории рассматриваются 2-е приближение продольного перемещения и 3-е приближение для поперечного перемещения. В результате получаются осредненные уравнения равновесия пластин типа Тимошенко.

В третьей главе рассмотрены несколько конкретных задач. Построено аналитическое решение о прогибе многослойной пластины из композиционного материала под воздействием равномерно распределенного давления и внешнего равномерного температурного поля.

Построенное общее решение протестировано на примере нескольких конкретных задач: пластина из композиционного материала с ортотропными свойствами под действием постоянного давления. Приведены тестовые расчеты для трёхслойной ортотропной пластины, нагруженной равномерным давлением, в сравнении с трехмерным решением, полученным с помощью программного комплекса конечно-элементного анализа ANSYS. Концы пластины жестко зашпелены. Сравняются результаты 1-го порядка точности, повышенного порядка точности и трёхмерный расчет. Показано преимущество уравнений повышенного порядка точности. Сравнялись все основные характеристики прогиб, распределение перемещений и напряжений по толщине.

Приведено численное решение для пластины из композитного материала с фазовыми превращениями при неравномерном нагреве и изгибе. Полученное решение проиллюстрировано графиками распределения температуры, фазовых концентраций, упругих модулей по толщине и во времени. Проведенные расчеты позволили установить эффект влияния фазовых превращений на кинетику изменения напряженно-деформированного состояния пластины для различных моментов времени, в частности появление внутренних зон

упрочнения материала после предварительного нагрева до начала промежуточных стадий фазовых превращений, и, как следствие, повышение в этих зонах уровня изгибных напряжений.

Научная новизна работы состоит в построении модели многослойных пластин из композиционных материалов с возможностью учета фазовых превращений составляющих. Показано существенное влияние фактора фазовых превращений на прочностные характеристики.

Достоверность результатов обеспечивается точностью аналитических и численных методов, используемых при расчете задач. Результаты близки к опубликованным ранее решениям, полученным другими авторами.

Основные положения и научные результаты диссертации отражены в 10 научных работах, в том числе в 5 статьях в журналах, включенных в перечень ВАК РФ. Результаты исследований докладывались на международных и Российских конференциях.

По работе есть **замечания**.

Часть замечаний носит редакционный характер:

1. На стр. 28 в формуле для модуля сдвига вместо знака плюс стоит знак минус;
2. На стр. 37 пропущено слово «условий» после граничных
3. Несогласованность падежей на стр. 40 «позволяет получить постоянным напряжениям»;
4. На стр. 57 не очень понятна фраза «количество фаз в принятое в многоуровневой модели композиционного материала с фазовыми превращениями»
5. На стр. 57 непонятен переход от (2.6) к (2.7). Слово «тогда» - значит из (2.6) следует (2.7), но это не так. Нужны дополнительные пояснения.

Аналогичные ошибки редакционного характера есть и в автореферате.

6. Существенным замечанием является то, что принятые при выводе основных уравнений три предположения о порядке малости числа Фурье, давления, градиента давления и теплового потока никак не обосновываются и не обсуждаются. В тексте работы не показано, как эти предположения использованы в самой работе. Во всяком случае ссылок на эти предположения нет.

7. Содержание третьей главы в автореферате изложено достаточно сумбурно. В самой диссертации материал изложен более последовательно.

Замечания по работе не умаляют ее достоинств. Диссертация представляет законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на высоком научном уровне. Рассматриваемая модель достаточно сложна и трудоемка. Например, построенное автором в 3 главе аналитическое решение, даже при отсутствии промежуточных выкладок, потребовало десять страниц. Следует отметить, что выполненная в диссертации работа свидетельствует о высоком профессиональном уровне автора.

Автореферат и опубликованные работы в целом правильно отражают основное содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Еголевой Екатерины Сергеевны «Моделирование деформирования тонких пластин из композиционных материалов с высокотемпературными фазовыми превращениями» полностью соответствует «Положению о порядке присуждения ученых степеней» ВАК, а её автор Еголева Екатерина Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 «Механика деформируемого твёрдого тела».

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук, профессор
кафедры газовой и волновой динамики
механико-математического факультета
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
"Московский Государственный Университет
имени М. В. Ломоносова"

Звягин Александр Васильевич

Адрес: 119991, Москва,
Ленинские горы, д. 1
e-mail: zvsasha@rambler.ru
тел.: +79165059422



10.10.201

Дата подписания

Подпись доктора физико-математических наук, профессора Звягина А.В. удостоверяю.
Декан механико-математического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова



Мафаревиц А.И.