

ОТЗЫВ

официального оппонента Козлова Владимира Анатольевича на диссертационную работу Чернышовой Дарьи Витальевны "Моделирование деформирования цилиндрической и сферической керамических оболочковых форм при затвердевании в них стальной отливки", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела (технические науки).

Актуальность темы диссертации

В работе рассматривается вопрос математического моделирования эволюции напряженно-деформированных состояний (НДС) в оболочковых керамических формах в процессах заполнения их жидким металлом с определением критических условий в уровне возникающих температурных напряжений, приводящих к разрушению этих форм. В авиа- и машиностроении, других отраслях промышленности высокоточные геометрически сложные детали получают методом литья по выплавляемым моделям в керамические оболочковые формы. При этом основной причиной некачественных отливок при литье является низкая трещиностойкость оболочковой формы, связанная с неравномерным термоупругим напряжённо-деформированным состоянием в ней при заливке металла и на начальной стадии его твердения. В связи с этим проблема влияния ряда внутренних и внешних факторов на стойкость керамических оболочковых форм к их трещинообразованию и моделирование при этом процессов снижения уровня НДС является **актуальной** и отвечает запросам развития современного производства.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные научные положения, выводы и рекомендации изложены в разделах диссертации.

Во введении обосновывается актуальность работы, сформулирована цель работы, перечислены задачи и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен анализ особенностей НДС оболочковой формы в системе «отливка - оболочковая форма - наполнитель», проведён обзор методов упрочнения многослойных оболочковых форм, анализируются их основные достоинства и недостатки. Приведено описание качественных и количественных видов исследуемых структур оболочковых форм, внешних и внутренних факторов по силовому и тепловому воздействию на их

напряжённое состояние. Приводится инженерная постановка задачи – геометрическое и техническое описание формы исследуемых процессов.

Во второй главе построена математическая модель по расчету НДС многослойной керамической оболочковой формы с учетом особенностей влияния ряда внешних и внутренних факторов на трещиностойкость при охлаждении в этой форме затвердевающей стальной отливки, включающая постановку задачи, численную схему решения, алгоритм решения задачи и программное обеспечение. При этом в многослойных оболочечных структурах учитывается влияние межслойного трения на стойкость оболочковой формы к трещинообразованию и возможному её разрушению при затвердевании стальной отливки.

В третьей главе с помощью построенной математической модели решена задача по моделированию процесса развития НДС оболочковой формы при изменении межслойных свойств при охлаждении в ней стальной отливки с учётом или без трения между внутренними слоями в форме. Полученные расчетные результаты и их анализ позволил разработать новые технологические решения по структуре многослойной керамической оболочки, новизна которых подтверждена патентами на изобретение.

В четвертой главе решена задача по оптимизации процессов влияния межслойного трения в оболочковой форме на её напряженное состояние при заливке и охлаждении в ней отливки. В результате проведенного теоретического исследования показано, что отсутствие трения между слоями оболочковой формы ведет к её разрушению; наличие даже небольшой величины трения между слоями положительно влияет на трещиностойкость многослойной оболочковой формы. Предложено новое технологическое решение по снижению силового воздействия опорного наполнителя на оболочковую форму при прокаливании, новизна которого подтверждена патентом на изобретение.

В пятой главе представлено решение двух задач. Первая задача – определение величины параметра трения между оболочковой формой и опорным наполнителем, при котором будет обеспечиваться максимальная стойкость ОФ к трещинообразованию при охлаждении затвердевающей стальной отливки. Вторая задача – определение влияния эффекта скольжения без трения слоев относительно соседнего контактирующего слоя на НДС многослойной керамической оболочковой формы. Доказано, что отсутствие трения между внутренними слоями оболочковой форм ведет к образованию в ней сквозных трещин и гарантированному её разрушению в процессе охлаждения стальной отливки; с увеличением трения между внутренними слоями оболочковая форма более устойчива к трещинообразованию.

В шестой главе решается задача определения влияния геометрии отливки в виде сферы на напряженное состояние оболочковой формы при заливке и охлаждении в ней стальной отливки, а также определения влияния величины охвата сферической оболочковой формы опорным наполнителем на ее стойкость в процессе охлаждения в ней затвердевающей стальной отливки.

Новизна проведенных исследований и полученных результатов

Новизна диссертационной работы заключается в постановке и решении краевых задач теории температурных напряжений в цилиндрических и сферических оболочковых формах при температурных и силовых воздействиях, моделирующие процессы затвердевания и остывания в них стальных отливок, учитывающие особенности механических свойств материалов деформируемых оболочек, их макро и микроструктуры, геометрию отливок. Автором разработаны алгоритмы и программы расчетов изменяющихся температурных напряжений в цилиндрических и сферических оболочковых формах в процессе консолидации металла и остывания отливок, с помощью которых решены следующие практически важные технологические задачи:

- 1) определение оптимального силового воздействия на оболочковую форму со стороны опорного наполнителя при заливке её жидким металлом и охлаждении стальной отливки; найдено оптимальное значение параметра трения;
- 2) установление особенностей влияния внешнего силового воздействия на НДС оболочковой формы со стороны сыпучего опорного наполнителя в виде монолитного тела, а именно определение оптимального сцепления между ними при заливке сталью оболочковой формы стандартной морфологической структуры и охлаждении затвердевающей отливки;
- 3) исследование стойкости оболочковой формы при её заливке сталью и охлаждении затвердевающей отливки, когда какой-то из слоев скользит без трения относительно соседнего слоя.

В отличие от известных работ, исследования автора позволяют не только спрогнозировать вероятность трещинообразования в оболочковой форме, но и моделировать сценарии и критерии по формообразованию цилиндрических и сферических оболочковых форм, позволяющие понизить уровень возникающих в них температурных напряжений. Полученные автором результаты позволяют со стадии пассивного процесса описания и регистрирования трещинообразования в литейной оболочковой форме

перейти на более высокий уровень прогноза и управления процессом трещинообразования в керамических оболочковых формах.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Научная значимость полученных автором результатов заключается в развитии методов и подходов, позволяющих выявить виды напряжений в оболочковых формах, оказывающих решающее влияние на их трещиностойкость при формировании в них цилиндрических и сферических стальных отливок; в определении взаимосвязи напряженных состояний оболочковых форм с внешним воздействием на них опорных наполнителей.

Математические модели и численные алгоритмы могут быть использованы при разработке новых опытных структур литейных многослойных оболочковых форм по выплавляемым моделям для моделирования протекающих в них тепловых и деформационных процессов.

Разработаны и зарегистрированы в Роспатенте РФ шесть патентов по литейным многослойным оболочковым формам. Получено свидетельство о государственной регистрации на программный продукт, позволяющий моделировать процесс силового воздействия опорного наполнителя на стойкость керамической оболочковой формы при затвердевании в ней стальной отливки.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы при разработке, отработке и внедрении новых технологий изготовления керамических оболочковых форм с целью снижения их брака по трещинообразованию и разрушению.

Результаты диссертации могут быть использованы в учебном процессе при проведении лекционных занятий, практических и лабораторных работ курсов дисциплин «Математическое моделирование», «Механика сплошных сред», при подготовке магистров на кафедре «Прикладная математика», а также аспирантов, обучающихся по профилю 1.1.8 - Механика деформируемого твердого тела.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности

Диссертация Чернышовой Дарьи Витальевны соответствует области исследования паспорта специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела: п. 8 – Математические модели и численные методы анализа применительно к задачам, не допускающим прямого аналитического исследования; п. 11 – Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых,

электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях

Диссертационная работа имеет преимущественно прикладное направление, поэтому относится к области технических наук.

Замечания и вопросы по диссертационной работе

1. Во введении на стр. 8 указано, что «Цель работы состоит в создании методов расчета НДС керамических цилиндрических и сферических форм ...». Но в процессе научного исследования автор не создаёт новых методов расчёта, а совершенствует имеющиеся подходы к решению соответствующих задач.
2. В чём состоит отличие (или уточнение) предложенной автором математической модели (глава 2 диссертации) от известных, разработанных другими авторами?
3. В диссертационной работе на стр. 41 вводятся понятия: ψ – параметр, характеризующий условия трения между формой и опорным наполнителем, и ψ^* – параметр трения на границе слоя «t». Имеют ли они физический смысл, чем отличаются и почему их значения в вычислениях варьируются от 0,002 до 80?
4. В выводах главы 4 (стр. 71 диссертации), в п. 2 отмечено, что «найден оптимальное значение параметра трения $\psi = 10$ ». Как получить такое значение этого параметра на практике при изготовлении керамической оболочковой формы?
5. Замечание по оформлению диссертационной работы и автореферата: в различных формульных выражениях автором использовался шрифт разного размера.

Приведенные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации и автореферата, который правильно отражает содержание диссертации.

Заключение

В целом диссертация Чернышовой Дарьи Витальевны, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи расчета напряженно-деформированных состояний керамических цилиндрических и сферических оболочковых форм под действием внешних и внутренних температурных и силовых воздействий в условиях затвердевания и охлаждения стальных отливок.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 16-ти конференциях и семинарах различного

уровня и опубликованы в 27 научных трудах соискателя, включая авторское свидетельство о регистрации программ и 6-ти патентов РФ.

Учитывая актуальность выполненных исследований, научную новизну и практическую значимость полученных результатов считаю, что представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842), а ее автор Чернышова Дарья Витальевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела (технические науки).

Я, Козлов Владимир Анатольевич, подтверждаю свое согласие на включение моих персональных данных в аттестационные документы, связанные с защитой Чернышовой Дарьи Витальевны, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент:

Доктор физико-математических наук

(спец. 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела),

доцент

Козлов Владимир Анатольевич

02.12.2025 г.

Должность: заведующий кафедрой

Организация: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»

Структурное подразделение: кафедра строительной механики

Адрес: 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ФГБОУ ВО «ВГТУ»

Телефон: +7 (960) 125-59-87

E-mail: v.a.kozlov1@yandex.ru

«Подпись Козлова Владимира Анатольевича заверяю»

Проректор по науке и инновациям

доктор технических наук, доцент

А. В. Башкиров

