

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Козлова Владимира Анатольевича на диссертационную работу Иванковой Евгении Павловны "Моделирование стойкости оболочковой формы по выплавляемым моделям к трещинообразованию при охлаждении в ней отливки", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

### **Актуальность темы диссертации**

В работе рассматривается вопрос оптимизации наиболее значимых физических свойств материалов и макроструктур многослойных оболочковых форм, температурного режима опорного наполнителя с целью увеличения стойкости этих форм к трещинообразованию и разрушению при заливке раскаленным металлом. В авиа и машиностроении, других отраслях промышленности высокоточные геометрически сложные детали получают методом литья по выплавляемым моделям в оболочковые формы. При этом основной причиной некачественных отливок при литье является низкая трещиностойкость оболочковой формы, связанная с неравномерным термоупругим напряжённо-деформированном состоянием в ней при заливке металла и на начальной стадии его твердения. В связи с этим задачи оптимизации выбора физических свойств материалов и структуры многослойных оболочковых форм, изучения влияния внешнего теплового воздействия на распределение напряжений в форме являются **актуальными** и отвечают 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 математических методов и моделей, которые используется в практике исследования напряженного состояния

оболочковых форм по выплавляемым моделям в литейном производстве, рассмотрены типы структур и параметры оболочковых форм. Обоснована необходимость разработки методологии создания оптимальной многослойной оболочковой формы с запрограммированными свойствами.

Во второй главе построена математическая модель напряженно-деформированного состояния литейной многослойной оболочковой формы при заливке и охлаждении в ней отливки, позволяющая решать технологические задачи, которые рассматриваются в последующих трех главах. При численном решении разрешающей системы дифференциальных уравнений автор применяет подход, не усложняющий алгоритм решения задачи при изменении свойств среды, который предложен профессором Одиноковым В. И. Кроме того, данный метод позволяет построить рекуррентные соотношения, позволяющие уменьшить количество неизвестных в 6 – 10 раз. Ограниченнность его применения определяется тем, что он работает в областях, описанных системами ортогональных поверхностей.

В третьей главе с помощью построенной математической модели решена задача нахождения оптимальных физических свойств оболочковой формы, которые обеспечивают наибольшую сопротивляемость к трещинообразованию при заливке жидкого металла. Автором выбраны несколько физических параметров, которые характеризуют свойства формовочных материалов, из которых изготавливается оболочковая форма. Эти параметры являются управляемыми переменными при построении целевой функции, которая минимизирует величину определяющих нормальных напряжений в слоях формы. На основе проведенных численных расчетов наиболее значимым параметром, определяющим стойкость оболочковой формы к разрушению при заливке металлом, является коэффициент линейного расширения.

В четвертой главе с помощью построенной математической модели решена задача по разработке и выбору технологически оптимальной макроструктуры многослойной оболочковой формы. Анализ полученных результатов позволил автору разработать два новых вида макроструктур оболочковой формы, обеспечивающих снижение термомеханических напряжений в ней. Правильность выбора материала и морфологии

оболочковой формы, технологическая новизна разработанных макроструктур подтверждены полученными патентами.

В пятой главе с помощью построенной математической модели решена задача по определению оптимальной температуры опорного наполнителя при заливке жидкого металла в холодную литейную оболочковую форму, получено конкретное значение предпочтительной температуры нагрева опорного наполнителя  $500^{\circ}\text{C}$ .

### **Новизна проведенных исследований и полученных результатов**

Новизна диссертационной работы заключается в разработке математической модели, определяющей напряженно-деформированное состояние литейной многослойной оболочковой формы при заливке и охлаждении в ней отливки, с помощью которой автором решены следующие практически важные технологические задачи:

- 1) определение оптимальных физических свойств материала оболочковой формы, влияющих на её трещиностойкость ;
- 2) выбор оптимального морфологического строения многослойной оболочковой формы;
- 3) нахождение оптимального значения температуры нагрева опорного наполнителя при заливке металла в холодную оболочковую форму.

В отличие от известных работ, исследования автора позволяют не только спрогнозировать вероятность трещинообразования в оболочковой форме, но и моделировать сценарии и критерии, по которым можно выбрать материал для изготовления формы и её оптимальное структурно-морфологическое строение. Полученные автором результаты позволяют со стадии пассивного процесса описания и регистрации трещинообразования в литейной оболочковой форме перейти на более высокий уровень прогноза и управления свойствами материалов, из которых изготавливают эти формы, с возможностью выбора желаемой их макро и микроструктуры.

Необходимо отметить возможность единого подхода к различным классам задач, простоту формализации для программирования, независимость постановки и алгоритма решения задачи от использования различных моделей физического состояния исследуемой среды.

## **Значимость для науки и практики полученных автором результатов**

Научная значимость полученных автором результатов заключается в развитии методов и подходов, позволяющих выявить определяющие физические характеристики материалов оболочковой формы и технологически обоснованные морфологические строения, обеспечивающие снижение термических напряжений вследствие внешнего нестационарного теплового воздействия.

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

Разработаны и зарегистрированы в Роспатенте РФ на уровне изобретений два вида литьевых многослойных оболочковых форм с новыми функциональными технологическими структурами промежуточных слоев. Получено свидетельство о государственной регистрации на программный продукт, позволяющий определять оптимальный набор физических свойств материала и структуры оболочковой формы по выплавляемым моделям, температуру опорного наполнителя для повышения её трещиностойкости в процессе охлаждения отливки.

## **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы при разработке и внедрении новых составов оболочковых форм с целью снижения брака при их разрушении в процессе изготовления отливок.

Результаты диссертации могут быть использованы в учебном процессе при проведении практических и лабораторных работ дисциплин «Математическое моделирование» при подготовке магистров по направлению 09.04.03 «Прикладная информатика» и «Численные методы» при подготовке бакалавров по направлению 01.03.04 «Прикладная математика», а также аспирантов, обучающихся по профилю 1.1.8 - Механика деформируемого твердого тела.

## **Соответствие содержания диссертации паспорту специальности**

Диссертация Иванковой Евгении Павловны 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.

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

## **Замечания по диссертационной работе**

1. В первой главе на стр. 13 указано, что «исследованию НДС оболочковых форм по выплавляемым моделям посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ». Но сравнения полученных численных результатов с экспериментальными данными и численными исследованиями других авторов в диссертационной работе не приводятся.
2. Выводы по второй главе изложены очень кратко (три строки), в них не отражены преимущества и недостатки построенной автором математической модели, разработанного алгоритма решения в сравнении с другими научными исследованиями в рассматриваемой области.
3. В диссертационной работе все численные результаты представлены лишь для одной конфигурации литейной оболочковой формы – полусфера, сопряженная с цилиндром. В практике реального проектирования формы для отливки весьма разнообразны. Для сравнения можно было рассмотреть распределение напряжений в оболочковой форме другой конфигурации (например, полностью сферической).
4. С целью верификации представленных в работе численных решений следовало получить аналогичные результаты с помощью другого апробированного численного подхода (например, методом конечных элементов или конечных разностей).

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

## Заключение

В целом диссертация Ивановой Евгении Павловны, представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи снижения интенсивности напряженного состояния в литейных многослойных оболочковых формах при оптимизации определяющих физических параметров исходных материалов и макроструктуры этих форм, а также температуры опорного наполнителя, имеющей существенное значение для механики деформируемого твердого тела.

Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли достаточную апробацию на 7-ми конференциях и семинарах различного уровня и опубликованы в 13 научных трудах соискателя, включая авторское свидетельство о регистрации программ и 2-х 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», а ее автор Иванкова Евгения Павловна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент, Козлов Владимир Анатольевич, заведующий кафедрой строительной механики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (г. Воронеж), доктор физико-математических наук, доцент

*24.01.22, б/з*

В. А. Козлов

«Подпись Козлова Владимира Анатольевича заверяю»

И. о. первого проректора. Проректор по науке ВГТУ

доктор технических наук, профессор

*И. Г. Дроздов*



Контактный адрес:

394006 г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», кафедра строительной механики.

Контактный телефон: 8 (960) 125-59-87 E-mail: vakozlov@vgsu.vrn.ru