

## О Т З Ы В

Официального оппонента на диссертацию **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

Диссертационная работа изложена на 96 страницах (в том числе 4 страницы 2-х приложений) машинописного текста, содержит 29 рисунков и состоит из введения, пяти глав, заключения, список литературы из 101 наименования.

#### **1. Актуальность темы диссертационной работы**

Актуальность темы диссертационного исследования в литейном производстве тесно связана с методом литья по выплавляемым моделям в монослойные и многослойные оболочковые формы (ОФ). Получение высокоточных геометрически точных литьих металлоизделий для различных отраслей промышленности является многосложным технологическим процессом, а совмещение разных по физико-механическим характеристикам материалов и всевозможных физических воздействий (в том числе, температурных) формируют сложные деформационные процессы при реализации метода литья по выплавляемым моделям. Однако, при таком методе литья возникает повышенный брак отливок из-за разрушения (частичного или полного) керамических (кварцевых) ОФ. Главной причиной последнего является образование микро и макротрешин в ОФ из-за неравномерности их нагрева при заливке жидким металлом и начальной стадии затвердевания отливки и, соответственно, возникновение предельного термоупругого напряженно-деформированного состояния (НДС).

Анализ НДС ОФ в литейных ВМ позволил перейти из констатации трещинообразования в оболочковых формах на уровень научного (теоретического) исследования как на стадии проектирования формообразования ОФ для конкретной индивидуальной или серийной отливки, так и предсказания поведения ОФ на всех этапах изготовления.

Тема рассматриваемой диссертационной работы предусматривает глубокое научное и практическое исследование деформационных процессов при использовании в литейном производстве керамических многослойных ОФ. Отметим также недостаточность исследований, связанных с проблемами

оптимизации важнейших свойств материалов и макроструктур многослойных ОФ и обоснования выбора температуры опорного наполнителя. Численное моделирование таких задач и задачи по снижению НДС ОФ несомненно является актуальной темой диссертационного исследования.

## **2. Научная значимость и новизна диссертационной работы**

Научная значимость и новизна диссертационной работы определяются следующими положениями:

- в рамках линейной теории упругости, уравнения теплопроводности получена математическая модель стойкости многослойной ОФ с особой макроструктурой, позволяющая выявить главные физические свойства материалов оболочки и технологически обосновать ее морфологическое строение, необходимые для снижения уровня термомеханических напряжений в рассматриваемых деформационных и тепловых процессах;
- разработана математическая модель оптимизации влияния физико-механических свойств материалов многослойной ОФ и ее макроструктуры, внешних физических факторов на термостойкость ОФ и разрушение при заливке ее жидким металлом;
- установлен оптимальный температурный режим подогрева опорного наполнителя при заливке жидкого металла в холодную литейную оболочковую форму.

## **3. Степень обоснованности научных положений, достоверность научных результатов и выводов диссертационной работы**

Основные научные положения и результаты, представленные в диссертационной работе, заключаются в следующем:

- разработаны многочисленные математические модели расчета основных параметров НДС ОФ при ее заливке жидким металлом и охлаждении в ней отливки с учетом разработанных опытных структур многослойных ОФ;
- получены на основе результатов численного моделирования два новых вида макроструктуры ОФ, обеспечивающие снижение термомеханических напряжений в оболочках;
- разработанные алгоритмы оптимизации позволили обосновать выбор материалов и макроструктуры литейной многослойной ОФ, а также установить оптимальную температуру опорного наполнителя при заливке ее сталью;
- разработан эффективный программный комплекс математического моделирования различных задач оптимизации физико-механических свойств

материалов и структур ОФ по выплавляемым моделям с целью повышения ее трещиностойкости при охлаждении в ней отливки.

Достоверность научных результатов и выводов основаны на использовании известных фундаментальных уравнений линейной теории упругости, уравнения теплопроводности, апробированных разностных схем и численных методов, удовлетворительной сходимостью численных результатов.

Таким образом, в целом работа выполнена на хорошем теоретическом уровне. Основные результаты имеют высокую степень обоснованности и достоверности, подтвержденные корректными методиками расчета и апробированными математическими моделями, а также строгостью математической постановки рассматриваемых задач и использованием современных методов механики сплошных сред и эффективных численных методов.

#### **4. Практическая значимость результатов диссертационной работы**

На основе проведенных важных теоретических исследований разработаны:

- математические модели, численные алгоритмы и вычислительные программы, которые могут быть использованы при разработке новых опытных структур литейных многослойных структур по выплавляемым моделям для моделирования протекающих в них тепловых и деформационных процессов;
- новые опытные макроструктуры ОФ, технологическая новизна которых подтверждена полученными патентами на изобретение;
- вычислительная программа математического моделирования оптимизации выбора температуры опорного наполнителя, физико-механических свойств материалов и макроструктуры ОФ по выплавляемым моделям для повышения ее трещиностойкости при охлаждении в ней отливки;
- предложения по отработке и внедрению новых технологий изготовления ОФ с целью снижения брака оболочек по разрушению.

#### **5. Замечания по диссертационной работе**

1. Разработанные математические модели заливки жидкого металла в ОФ и затвердевания отливки применялись лишь для осимметричных тел вращения, материал которых по слоям рассматривается изотропным, а деформации предполагались малыми.

2. Некоторые размерности физико-механических свойств материала ( $\gamma$  -удельный вес,  $G$  - модуль сдвига и т.д.) приведены не в системе СИ.

## **6. Общая оценка диссертационной работы**

Считаю, что несмотря на отмеченные замечания, диссертационная работа Иванковой Е.П. «Моделирование стойкости оболочковой формы по выплавляемым моделям к трещинообразованию при охлаждении в ней отливки» написана на актуальную тему, является завершенной научно-квалификационной работой и ее можно квалифицировать как решение научно-технической задачи, связанной с исследованием НДС в системе «отливка – форма – наполнитель» и определением способов снижения критического уровня напряженного состояния при образовании трещин в ОФ из-за внешнего нестационарного теплового воздействия.

Качество и полнота изложения диссертационного исследования полностью соответствуют Положению ВАК.

Автореферат и опубликованные труды в количестве 13 научных работ, в том числе 2 статьи в журнале из списка ВАК, 6 статей, индексируемых в международных базах WoS и Scopus, 2 патента и одно свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

На основании изложенного в отзыве считаю, что по актуальности, научной новизне и значимости рецензируемая диссертация соответствует всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, - **Иванкова Евгения Павловна**, - заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент,  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой высшей математики  
Санкт-Петербургского горного университета

А.П. Господариков

24 января 2022 года



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».  
199106, город Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., дом 2.  
тел.: 8(921)3941118  
e-mail: gospodarikov\_ap@pers.spmi.ru.