

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Рыбинский государственный авиационный
технический университет
имени П. А. Соловьева»
(РГАТУ имени П. А. Соловьева)

Пушкина ул., д. 53, Рыбинск,
Ярославская обл., 152934.
Тел. (4855) 28-04-70. Факс (4855) 21-39-64.
E-mail: root@rsatu.ru

31.05.2021 № 0806 / 1645

УТВЕРЖДАЮ
проректор по науке
и цифровой трансформации
канд. техн. наук, доцент



Сувыгин
Александр
Николаевич

« 31 » « май » 2021 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертационную работу Деменок Анны Олеговны
«Разработка и обоснование нового состава стержневой смеси для
изготовления отливок охлаждаемых лопаток ГТД»,
представленную к защите в диссертационный Совет Д.212.111.01,
созданный при ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет имени Г.И. Носова»
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.16.04 – "Литейное производство"

Актуальность темы диссертационной работы

Эксплуатационные характеристики и ресурс современных газотурбинных двигателей во многом определяются надежностью наиболее ответственных деталей – рабочих лопаток турбины, имеющих сложную геометрическую форму с внутренними полостями, которые при литье оформляются керамическими стержнями. Однако при производстве подобных отливок традиционно наблюдается высокий уровень брака, в том числе и по вине стержня. Поэтому настоящая работа, целью которой является разработка новой стержневой смеси для производства охлаждаемых лопаток ГТД, обладающей необходимой прочностью при высоких температурах и оптимальным коэффициентом термического расширения для обеспечения наименьшего брака по короблению стержней является актуальной и решает важную производственную и экономическую задачу в области литейного производства.

ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В ОТДЕЛЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»	
за № _____	Дата регистрации: <u>04.06.2021</u>
Фамилия регистрирующего _____	

Общая характеристика и анализ работы

Представленная диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 86 наименований, изложена на 158 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков и 18 таблиц. В приложениях приведена копия акта промышленного внедрения нового состава смеси в условиях действующего производства.

Автором были рассмотрены и проанализированы различные составы существующих стержневых смесей, выполнено глубокое информационно-аналитическое и экспериментальное исследование процессов, протекающих при изготовлении стержня и его поведении в литейной форме при заливке и затвердевании отливки. Это позволило сформулировать требования, предъявляемые к керамическим стержневым составам и показать, что для сложнопрофильных и тонкостенных лопаток ГТД, получаемых из жаропрочных никелевых сплавов, необходимы новые соотношения фракционного и компонентного состава стержневой смеси. Для обеспечения требуемых свойств смесей была решена задача составления плотной упаковки и геометрической размерной последовательности формирования фракционного состава порошков для стержневой смеси. Был определен оптимальный состав стержневой смеси с учетом плотности упаковки 0,6-0,65, подобран пластификатор, позволяющий использовать существующую автоматизированную установку для изготовления стержней. Анализ опытного определения седиментации показал, что расслоение и осаждение фракций разработанной стержневой смеси происходит более чем 30% медленнее чем для серийной смеси, что подтверждают теоретические расчеты седиментационной устойчивости смеси. Для управления процессом формирования стержня с требуемым уровнем свойств был разработан алгоритм и программное обеспечение для построения теоретических кривых седиментации стержневых смесей для оперативного сравнительного анализа. Все это позволило предложить новую стержневую смесь с улучшенными физико-химическими и механическими свойствами. Изгибная прочность которой составила 19 МПа при комнатной температуре и 24,7 МПа при 1200°C. Коэффициент термического расширения составил $7,8-8,0 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, что оптимально сочетается с КТР формы. Рентгенограмма стержневого состава показала наличие β -кристобалита в фазовом составе, что будет способствовать разупрочнению и лучшему удалению стержня из отливки. Линейная усадка составила 0,31%. На состав смеси для изготовления охлаждаемых лопаток ГТД был получен патент №2662514.

Научная новизна, достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов, рекомендаций.

В результате проведенных исследований автором вполне обосновано сформулирован и реализован комплексный подход к решению научной проблемы по повышению качества керамических стержней, включающий разработку нового состава смеси и уточнения технологических режимов приготовления смеси и изготовления стержня.

Установлены закономерности формирования структуры и свойств стержня в процессе его изготовления и затвердевания отливки в литейной форме, с использованием оригинальной методики определен оптимальный зерновой состав стержневой смеси, обеспечивающий наименьшее коробление стержней для получения охлаждаемых лопаток газотурбинных двигателей при их изготовлении, получены математические зависимости коэффициента термического расширения и предела прочности при изгибе от процентного содержания компонентов стержневой смеси, позволяющие определить оптимальный состав с КТР $7,8-8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, обеспечивающий уменьшение брака по короблению стержня на 20% для охлаждаемых лопаток ГТД при их изготовлении, путем решения уравнения Навье-Стокса получены аналитические зависимости седиментационной устойчивости стержневой смеси, позволяющие оценить ее применимость для изготовления стержней на автоматизированном оборудовании с помощью оригинальной программы для ЭВМ.

Достоверность полученных автором результатов обеспечена корректным использованием базовых положений теории литейных процессов, современных сертифицированных методик и оборудования при проведении экспериментальных исследований и подтверждается положительным результатом при экспериментальной проверке и практическом использовании разработок в условиях производства.

Значимость полученных результатов для развития науки не вызывает сомнений и заключается в выполнении комплекса теоретических и экспериментальных исследований, по результатам которых уточнены известные представления о механизмах формирования свойств керамических стержней для литья по выплавляемым моделям никелевых жаропрочных сплавов и предложен новый состав стержневой смеси.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Несомненным достоинством работы является тот факт, что основные научные результаты доведены до практического применения, в частности автором разработан оригинальный состав стержневой смеси, физико-

химические свойства которой превышают показатели базовой стержневой смеси, что позволило снизить брак по короблению стержней при изготовлении рабочих лопаток ГТД из никелевых жаропрочных сплавов на 20%. Предложено специальное программное обеспечение для построения теоретической кривой седиментации и оперативного сравнительного анализа. На базе ПАО «ОДК-УМПО» произведена апробация разработанной смеси для изготовления стержней в условиях серийного производства. Полученный стержневой состав внедрен в производственный процесс с использованием современного автоматизированного оборудования

Подтверждение опубликования основных результатов исследования.

Основные результаты диссертационного исследования достаточно полно представлены в публикациях в научных рецензируемых журналах, сборниках научных трудов и материалах конференций, в частности автором опубликовано 9 печатных работ, в том числе 3 работы в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ; получено 2 патента Российской Федерации на изобретение, одно свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на трех научно-технических конференциях.

Личный вклад автора состоит в научной постановке задач исследования, анализе литературных данных, проведении основных экспериментов, обработке результатов исследований, а также в разработке методики определения оптимального зернового состава стержневой смеси и определении зависимости коэффициента термического расширения и предела прочности при изгибе от процентного содержания компонентов стержневой смеси.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы. Оформление диссертационной работы отвечает установленным требованиям. Диссертация написана грамотным, доступным техническим языком, что подтверждает высокую эрудицию и квалификацию автора

Замечания по диссертации

1. Указанный в пункте диссертации 2.3 «Методика определения предела прочности и прогиба при изгибе» ГОСТ Р 50523-93 в настоящее время не действует, вместо него принят ГОСТ 31040-2002(ISO 5013:1985) «ИЗДЕЛИЯ ОГНЕУПОРНЫЕ Определение предела прочности при изгибе при повышенных температурах».
2. При решении задачи составления плотной упаковки и геометрической размерной последовательности формирования фракционного состава порошков для стержневой смеси автор принял допущение о шаровидной

форме частиц порошка, возможно, было бы целесообразным попробовать и другие варианты.

3. В диссертации отсутствует убедительное доказательство необходимости разработки нового состава стержневой смеси. В автореферате (стр.3 автор отмечает «внедрение пресс-автомата на ПАО «ОДК-УМПО» выявило проблему повышенного брака при изготовлении стержней с использованием серийной стержневой смеси». На основании этого, можно сделать вывод, что переход на новое автоматизированное оборудование (шприц-машина Cleveland СТМ-25) привёл к повышению брака стержней по короблению из серийной стержневой смеси по причине некачественного смесеприготовления в баке данной шприц-машины. При этом отсутствуют статистика и анализ причин повышения брака на данном оборудовании. Скорее всего, режимы работы и конструкция самой мешалки бака данной машины не позволяют поддерживать на должном уровне седиментационную устойчивость термопластифицированного шликера серийной стержневой смеси, что приводит к его расслаиванию. Поэтому проблему, возможно можно было решить отработкой режимов смесеприготовления, модернизацией конструкции мешалки или полным отказом от эксплуатации данного оборудования вместо замены серийной стержневой смеси на более дорогостоящую новую смесь.
4. Автором в ходе обработки экспериментальных данных (глава 3) получены регрессионные уравнения для предела прочности и КТР, однако не приведены данные по оценке их адекватности, кроме того на приведенных в четвертой главе графиках изменений указанных характеристиках не указаны доверительные интервалы.

Заключение


Несмотря на отмеченные недостатки, которые в целом не снижают качества проведенных исследований, представленная диссертация Деменок Анны Олеговны является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой изложены новые научно обоснованные разработки и технологии изготовления керамических стержней для литья по выплавляемым моделям, имеющие существенное значение для развития страны.

Таким образом, в диссертации решена важная научно-производственная задача, она соответствует требованиям, установленным пунктами. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 (в редакции

постановления Правительства Российской Федерации от 28.08.2017 г. №1024), а ее автор Деменок Анна Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.04 – Литейное производство.

Диссертация и подготовленный на нее отзыв были рассмотрены и обсуждены на заседании кафедры Материаловедения, литья, сварки ФГБОУ ВО Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева, протокол № 8 от 28 мая 2021 года.


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева
Кафедра Материаловедения, литья, сварки
Заместитель заведующего кафедрой
докт. техн. наук, по специальности 05.16.04
"Литейное производство" профессор


Изотов
Владимир
Анатольевич

E-mail: mls@rsatu.ru
Почтовый адрес 152934, Ярославская область
г.Рыбинск, ул. Пушкина, д.53

Подпись Изотова В.А. заверяю
Начальник управления кадров




Малышева Ирина
Сергеевна