

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук,  
профессора Илларионова Ильи Егоровича  
на диссертационную работу Деменок Анны Олеговны «Разработка и обоснование нового  
состава стержневой смеси для изготовления отливок охлаждаемых лопаток ГТД»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.16.04 – Литейное производство

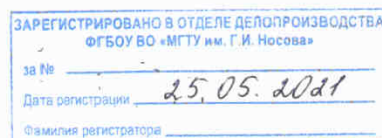
### Актуальность диссертационной работы

Размерная точность полости жаропрочных охлаждаемых лопаток ГТД зависит от точности геометрических размеров стержня, комплекса его термомеханических характеристик (коэффициента термического расширения (КТР), линейного расширения, прочности). Свойства керамических стержней определяются их химико-минералогическим и фракционным составами. Стержни для охлаждаемых лопаток ГТД должны обладать высокой механической прочностью (15–30 МПа при изгибе); стойкостью к термическим ударам; химической инертностью по отношению к жаропрочным сплавам; малым КТР ( $7,8-8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ); высокой точностью геометрических размеров. Стержень должен легко удаляться из полости отливки и процесс удаления должен быть экологичным. В связи с введением на ПАО «ОДК-УМПО» автоматизированного оборудования, возникла проблема повышенного брака при изготовлении стержней из серийной стержневой смеси. Диссертационная работа Деменок А.О., посвящена разработке и исследованию новой стержневой смеси, отвечающей современным способам изготовления стержней на автоматизированном оборудовании, при литье охлаждаемых лопаток ГТД. Целью работы является разработка 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.

### Научная новизна работы

1. На основании разработанной методики определен оптимальный зерновой состав стержневой смеси, обеспечивающий наименьшее коробление стержней для получения охлаждаемых лопаток газотурбинных двигателей при их изготовлении.

2. 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 на 20% по короблению стержней для охлаждаемых лопаток ГТД при их изготовлении.



3. На основании использования уравнений Навье-Стокса получены аналитические зависимости седиментационной устойчивости стержневой смеси, позволяющие оценить ее применимость для изготовления стержней на автоматизированном оборудовании с помощью разработанной программы для ЭВМ.

#### **Практическая значимость работы**

1. Разработан состав стержневой смеси, физико-химические свойства которой превышают показатели базовой стержневой смеси, что позволило снизить брак по короблению стержней на 20%.

2. Разработано программное обеспечение ЭВМ для построения теоретической кривой седиментации и оперативного сравнительного анализа.

3. 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 автоматизированного оборудования.

#### **Степень достоверности и апробация результатов**

Подтверждается сходимость полученных теоретических и прикладных результатов исследований. В ходе промышленных испытаний на ПАО «ОДК-УМПО» подтверждены требуемые свойства разработанной стержневой смеси при получении стержней на автоматизированном оборудовании.

Основные положения и результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на конференциях: Фундаментальные и прикладные исследования в области создания литейных жаропрочных никелевых и интерметаллидных сплавов и высокоэффективных технологий изготовления деталей ГТД: Всероссийская научно-техническая конференция, ФГУП ВИАМ, Москва, 2017 г.; Инновации в машиностроении. IX Международная научно-практическая конференция, ФГБОУ ВО АлтГТУ, г. Барнаул, 2018 г.; Мавлютовские чтения: XIII Всероссийская молодежная научная конференция, ФГБОУ ВО УГАТУ, г. Уфа, 2019.

Материалы диссертации опубликованы в 9 научных трудах, в том числе в 3 работах в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, в 2 патентах РФ на изобретение и в 1 свидетельстве о регистрации программы для ЭВМ.

**Диссертационная работа** состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 86 наименований и 4 приложений, изложена на 158 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 18 таблиц.

Содержание диссертации достаточно полно отражено в тексте автореферата.

**В первой главе** сформулированы требования, предъявляемые к стержневым смесям, а также компонентные составы стержневых смесей, которые представляют интерес для авиационной и аэрокосмической отрасли. Проведен анализ влияния компонентов смеси на

основные свойства получаемых стержней. Проведен литературный обзор методов упаковки полидисперсных частиц.

*Во второй главе* приведены методики исследований, используемых при проведении лабораторных и промышленных экспериментов. Подробно описаны методики определения гранулометрического состава, определения седиментационных характеристик, физико-механических свойств, коэффициентов термического расширения, удельной теплоемкости. Приведена методика математической обработки результатов эксперимента. Эксперименты проводились на высокоточном современном оборудовании.

Применены современные физико-химические методы: энергодисперсионный микрохиманализ, фазовый анализ, электронная растровая микроскопия, оптический dilatометрический анализ и колориметрия.

*В третьей главе* описывается решение задачи составления плотной упаковки и геометрической размерной последовательности формирования фракционного состава порошков для стержневой смеси. Проведена оптимизация гранулометрического состава выбранных фракций и составлена матрица планирования  $2^{4+1}$ . Получены зависимости КТР и прочности при изгибе от компонентного состава стержневой смеси. Показано, что данный фракционный состав должен обеспечить устойчивость конструкции стержня и обеспечить необходимую шероховатость поверхности стержня. Оптимизация компонентного состава стержневой смеси обеспечивает требуемый КТР  $7,8-8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

*В четвертой главе* представлены результаты сравнительных испытаний разработанной и серийной стержневых смесей. Показано, что образцы из опытной стержневой смеси отвечают необходимым параметрам (15-30 МПа), показатели высокотемпературной прочности выше, чем у серийной стержневой смеси за счет оптимизированного распределения фракций в гранулометрическом составе смеси. За счет добавления в разработанный состав плавленного кварца достигается понижение прочности при комнатной температуре, относительно серийной стержневой смеси, что положительно сказывается на удалении стержня из полости лопатки. Показано, что в оптимизированном составе опытной стержневой смеси КТР достигает требуемых значений  $7,8-8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  за счет введения плавленного кварца, данное значение согласуется с КТР керамической формы и позволяет уменьшить коробление стержня во время заливки расплавом. Также подтвержден теоретический расчет оптимизированной плотной упаковки в 0,6-0,65, так как пористость образцов из разработанной стержневой смеси составила 40%, что также улучшило шероховатость поверхности на 30% за счет введения мелких фракций.

*В пятой главе* представлены результаты опытно-промышленных испытаний керамических стержней, используемых для изготовления охлаждаемых лопаток ГТД.

Показано, что использование разработанной стержневой смеси на пресс-автомате снизило брак по стержням до 6%, тогда как брак с использованием серийной стержневой смеси достиг 30%. При прохождении полного цикла производственной технологии получено, что брак по короблению для лопаток, изготовленных со стержнями из разработанной стержневой смеси снизился на 20%.

**Замечания.** При общей положительной оценке можно сделать ряд замечаний.

1. Нет ссылок на опубликованные работы официальных оппонентов Р.К. Мысик и И.Е. Илларионова.

2. Мало литературных источников, опубликованных после 2000 г. (около 35 %), в том числе приведены старые ГОСТы, например, пески формовочные (ГОСТ 2138-51), может быть это опечатка вместо ГОСТ 2138-91?

3. Нет расшифровки формулы 1.1 на стр. 33.

4. Каким образом достигали температуру нагрева образцов смесей до 1500 °С?

5. В чем отличие в получении образцов стержней до и после предложенных Вами технологий?

6. На странице 97 приведен химический состав стержневых смесей (таблица 4.5) в которых присутствуют элементы К, Na и Fe, которые не вводились как исходные элементы. Приведено пояснение, что данные элементы присутствовали в исходном  $Al_2O_3$ , но не раскрыта природа их появления.

7. В методике расчета седиментации приведены уравнения для осаждения стержневой смеси при атмосферном давлении и не учитывается перемешивание в баке пресс-автомата.

8. В работе присутствуют стилистические ошибки

9. В тексте диссертации недостаточно полно отражена информация о проведении дробного факторного эксперимента.

10. При опытной апробации на пресс-автомате было выявлено, что брак стержней из серийной смеси составил 30%, а из опытной смеси 6% (Таблица 5.1, стр. 120). Не приведено теоретического обоснования, за счет чего получен данный эффект.

11. Недостаточно полно раскрыт вопрос выбора пластификатора для стержневой смеси. Так, например, свойства керамических стержней определяются не только химико-минералогическим и фракционными составами, но и во многом зависят от применяемых связующих материалов, пластификаторов, продолжительностью и температурой их обработки, интенсивностью перемешивания и другими факторами.

12. В обзоре приведено несколько схем расчета плотной упаковки сыпучих материалов. Чем обоснована необходимость выполнения геометрического расчета плотности упаковки в данной работе?

Сделанные замечания не снижают ценности выполненной диссертационной работы, и она заслуживает положительной оценки. Работа оформлена в соответствии с действующими стандартами. Полученные результаты имеют научную и практическую значимость и согласуются с литературными данными.

**Заключение.** По объему научных исследований, научной новизне, уровню основных результатов и другим квалификационным признакам диссертационная работа на тему «Разработка и обоснование нового состава стержневой смеси для изготовления отливок охлаждаемых лопаток ГТД» отвечает требованиям ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, определенным п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 по специальности 05.16.04 – Литейное производство, а ее автор Деменок Анна Олеговна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

**Официальный оппонент:**

Заведующий кафедрой «Материаловедение и металлургические процессы»,  
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,  
доктор технических наук по специальности  
05.16.04 – Литейное производство,

Заслуженный деятель науки и техники

Российской Федерации и заслуженный деятель  
науки Чувашской Республики, профессор

428015, г. Чебоксары, Московский пр. 10

Тел.: +7(952)027-24-57

Email: [tmilp@rambler.ru](mailto:tmilp@rambler.ru)



*Илларионов Илья Егорович*  
14.05.21 ✓

Я, Илларионов Илья Егорович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Деменок Анны Олеговны, и их дальнейшую обработку *Илларионов Илья Егорович* 14.05.21 ✓

Подпись руки	<i>Илларионов И.Е.</i>
заверяю	
Начальник отдела делопроизводства ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»	
И.А. Гордеева	
14	05
20 21 г.	