

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.324.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА», МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 17.06.2025 г, № 11

О присуждении Степановой Татьяне Викторовне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Литейная форма из керамических стержней для стальных отливок нефтегазового комплекса» по специальности 2.6.3. Литейное производство принята к защите 16.04.2025 г. (протокол заседания № 7) диссертационным советом 24.2.324.01, созданном на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000 г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ № 714/нк от 02.11.2012 г.

Соискатель Степанова Татьяна Викторовна, 5 сентября 1984 года рождения.

В 2007 году с отличием окончила государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет», присуждена квалификация «Инженер» по специальности «Литейное производство черных и цветных металлов». В 2024 году с отличием окончила аспирантуру федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» по направлению подготовки 22.06.01 Технология материалов.

Работает заместителем главного технолога в обществе с ограниченной ответственностью ООО «БВК» промышленной группы «КОНАР», г. Челябинск.

Диссертация выполнена на кафедре пирометаллургических и литейных технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, Знаменский Леонид Геннадьевич, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», кафедра «Пирометаллургические и литейные технологии», профессор.

Официальные оппоненты:

Сулицин Андрей Владимирович, доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», кафедра «Литейное производство и упрочняющие технологии», заведующий кафедрой,

Грачев Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», кафедра «Металлургические технологии и оборудование», доцент,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», г. Уфа, в своем положительном отзыве, подписанном Медведевым Александром Юрьевичем, доктором технических наук, профессором, исполняющим обязанности заведующего кафедрой «Сварочные, литейные и аддитивные технологии», Деменок Анной Олеговной, кандидатом технических наук, доцентом кафедры «Сварочные, литейные и аддитивные технологии», указали, что диссертация Степановой Татьяны Викторовны ... «является самостоятельной, законченной научной квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой изложены новые научно обоснованные разработки и технологии изготовления крупногабаритных керамических стержней для отливок нефтегазового комплекса, имеющие существенное значение для развития страны. По своим це-

лям, задачам, содержанию, методам исследования и научной новизне диссертационная работа отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденных Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор, Степанова Татьяна Викторовна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.3. Литейное производство».

Соискатель имеет 4 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 4 научных статьи, из них 2 в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России, и 2 в наукометрической базе данных Scopus. Получено 2 патента РФ на изобретения. Материалы диссертации полно представлены в работах, опубликованных соискателем. Сведения об опубликованных работах достоверны. Авторский вклад соискателя объемом 0,9 п.л. в опубликованных работах общим объемом 1,8 п.л. Авторский вклад соискателя состоит в формулировании цели и задач исследования, организации и проведении лабораторных и промышленных экспериментов, анализе и интерпретации результатов исследования, разработке технологического процесса изготовления керамических стержней и форм из огеливаемых суспензий по постоянным моделям, формулировке основных положений и выводов.

К наиболее значимым научным публикациям относятся:

1. Znamenskiy, L.G. Manufacture of Ceramic Molds and Core from Inorganic Materials Using Permanent / L.G. Znamenskiy, O.V. Ivochkina, T.V. Stepanova // International Russian Conference on Materials Science and Metallurgical Technology. – 2020. – V. 969, № 1. – P. 1–5.

2. Точное литье в муллитизированные керамические формы / Л.Г. Знаменский, О.В. Ивочкина, Т.В. Степанова, Д.С. Пыхов // Литейщик России. – 2022. – №7. – С. 23–29.

3. Знаменский, Л.Г. Точные отливки для нефтегазового машиностроения / Л.Г. Знаменский, Т.В. Степанова, Н.А. Захаров // Литейщик России. – 2024. – №4. – С. 13–20.

4. Stepanova, T.V. Investment casting for oil and gas complex / T.V. Stepanova, L.G. Znamenskiy, O.V. Ivochkina // Materials science forum. – 2022. – Vol. 1052. – P. 326–331.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все отзывы положительные):

1. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (СФУ), г. Красноярск, профессор кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов имени В.С. Биронта», д.х.н. Жереб В.П., доцент кафедры «Литейное производство», к.т.н. Лесив Е.М.

2. ПАО «ЧКПЗ», г. Челябинск, главный металлург ПАО ЧКПЗ Чугунов В.С.

3. ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК», г. Челябинск, начальник цеха ЦТЛ ПДД ООО «ЧТЗ-УРАЛТРАК» Попов Е.В.

4. ООО «НТЦ», г. Челябинск, исполнительный директор ООО «НТЦ», к.т.н. Полухин Д.С.

5. АО «ЭКГСервис», г. Челябинск, руководитель направления производства литья АО «ЭКГСервис», к.т.н. Кожевников Ю.А.

6. АО Корпорация Тактическое ракетное вооружение, г. Королев, заместитель главного металлурга АО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение», к.т.н. Верцюх С.С.

7. ФГБОУ ВО СамГТУ, г. Самара, доцент кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии» ФГБОУ ВО «СамГТУ», к.т.н. Дьячков В.Н.

8. ФГБОУ ВО КНАГУ, г. Комсомольск-на-Амуре, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор-консультант федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», д.т.н. Евстигнеев А.И.

9. ФГБОУ ВО ВолгГТУ, г. Волгоград, заведующий кафедрой «Машины и технология литейного производства», профессор, д.т.н. Кидалов Н.А.

10. ФГБОУ ВО РГАТУ имени П.А. Соловьева, г. Рыбинск, доцент кафедры материаловедения, литья и сварки, к.т.н. Акутин А.А.

11. ООО «ИНКО», г. Челябинск, главный металлург, Сеницын Е.А.

12. ФГБОУ ВО Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, руководитель высшей школы промышленной инженерии, профессор, д.т.н Ри Э.Х.

В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:

1. Возможно ли применение отливок, полученных по данной технологии, в других отраслях промышленности?

2. Как оценивали (по какому ГОСТ, ТУ или методике) с помощью баллов склонность керамики к образованию трещин и качество поверхности образцов?

3. За счет чего у вас сократились прямые затраты на 63,2 % при изготовлении литейной формы?

4. Отсутствует комплексная оценка качества и технологических характеристик получаемых керамических стержней (газотворность, газопроницаемость, выбиваемость).

5. Исследовался ли брак отливок в динамике в процессе внедрения разработанной технологии (газовые раковины, засоры, трещины)?

6. В исследовании использован ограниченный перечень огнеупорных наполнителей, нет данных по применению традиционных наполнителей керамических суспензий. Почему не рассматривается кварцевый песок?

7. В представленных материалах не приведено обоснование выбора растворителя и катализатора для гидролиза этилсиликата.

8. В автореферате отсутствует информация о методе и оборудовании, применявшихся для определения шероховатости литых поверхностей.

9. Отсутствие в работе анализа возможности применения предложенных решений для других сплавов или, как минимум, других марок стали.

10. Из содержания автореферата невыясненным остается каким образом в рамках работ исследовано изменение остаточной прочности форм (выбиваемость) после заливки и охлаждения литых заготовок, а также влияние повышенной прочности форм относительно базовой технологии на трещинообразование в

отливках (с учетом применения для изготовления отливок из марганцовистых сталей, склонных к образованию трещин).

11. Требуется уточнение, на какой выборке отливок проводились промышленные испытания разработанной технологии, а также внедрена ли данная технология в серийное производство.

12. В работе в качестве ключевых факторов для выбора рационального состава суспензии рассматриваются условное содержание SiO_2 , содержание мелкой фракции и объем жидкой фазы. Не могли бы Вы подробнее пояснить, почему именно эти три фактора были выбраны в качестве определяющих при моделировании параметров керамических форм?

13. В разделе, посвященном применению муллитизированного наполнителя, указано, что при содержании мелкой фракции выше 55 % наблюдается снижение прочности. С чем именно связано это явление? Можно ли считать причиной этого рост усадочных напряжений в форме?

14. Пункт научной новизны «...методами рентгенофазового анализа, дериватографии, дилатометрии и растровой электронной микроскопии установлены закономерности формирования структуры керамических стержней с мелкой сеткой трещин для повышения их физико-механических свойств и определения рациональной температуры прокаливания керамических стержней; ...» сформулирован формально, в чем заключаются данные закономерности? За счет чего достигается формирование заданных структуры и свойств керамических стержней?

15. В тексте автореферата отсутствуют сведения о влиянии фракционного состава огнеупорного наполнителя, в том числе соотношения между пылевидной и зернистой составляющей, на газопроницаемость керамических стержней.

16. За счет чего «формирование мелкой сетки трещин» обеспечивает блокирование развития «крупных трещин» в структуре керамических стержней, изготовленных с пеногасителем марки «Пента-462 А» и чем, объясняется выбор конкретно этой марки пеногасителя?

17. В автореферате на рисунке 3 представлена оценка (в баллах) склонности керамики к образованию трещин в зависимости от содержания мелкой

фракции в огнеупорном наполнителе, а также на рисунке 4 представлена оценка (тоже в баллах) качества поверхности керамики от содержания мелкой фракции в огнеупорном наполнителе, но в тексте автореферата отсутствует описание методик таких оценок. Неясно, что используется в качестве критериев оценки для разработанных баллов, и каким может быть максимальный балл. На шкале графиков, помимо целых, представлены дробные значения баллов, но, при этом, нет ни одной экспериментальной точки, которая бы соответствовала им.

18. На странице 10 и таблице 4 автореферата указано в качестве одного из факторов варьирования в исследованиях – количество жидкой фазы суспензии в массовых процентах. Неясно, входит ли в это количество, помимо гидролизованного раствора этилсиликата, ещё и водный раствор аммиака, а также пеногаситель. Если не входят, (а на это косвенно указывают целые значения фактора – 20, 24 и 30 процентов), то почему он имеет такое название, а не просто - количество гидролизованного раствора этилсиликата?

19. В автореферате представлены результаты исследования о том, как влияет количество мелкой фракции муллитизированного наполнителя на свойства суспензии и керамических образцов, и определено, что её количество должно находиться в интервале от 52 до 55 %. Но не представлено исследований по влиянию соотношения количества средней и крупной фракций наполнителя на эти свойства. И поэтому неясно, как определено, что в рациональном составе суспензии, помимо 54 % мелкой фракции муллитизированного наполнителя, должно быть средней фракции этого наполнителя именно 4,5 %, а крупной – 17,5 %.

20. В автореферате диссертационной работы отсутствует обоснование выбора этилсиликатного связующего и экологических аспектов, связанных с его применением.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известными систематическими исследованиями и научными работами, опубликованными в высокорейтинговых рецензируемых журналах по проблемам диссертационного исследования в области теории и практики литейного произ-

водства, в том числе при производстве отливок сложной конфигурации ответственного назначения и изготовления литейных форм и стержней различными методами; изучению проблематики повышения прочности литейных стержней и форм, изготавливаемых из жидкоподвижных смесей, а также исследования в области специальных способов литья, касающихся разработки прогрессивных формовочных смесей и процессов формообразования.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана научная концепция, включающая оценку влияния на процесс гелеобразования параметров подготовки этилсиликатного связующего (отношение молей воды и этоксильных групп, условное содержание SiO_2 в гидролизованном растворе этилсиликата и содержание катализатора), которая обосновывает разработанные рациональные составы, обеспечивающие заданное время гелеобразования, необходимое для эффективного изготовления литейной формы;

предложен комплексный, эффективно действующий подход к вопросу повышения геометрической точности и качества поверхности сложнопрофильных стальных отливок ответственного назначения, выражающийся в обширном экспериментальном исследовании влияния состава гидролизованного этилсиликата, фракционного и фазового состава огнеупорных наполнителей и качества керамических форм и стержней на свойства получаемых отливок;

доказана перспективность использования в практике работы литейных заводов в процессе изготовления литейных форм из наливных смесей на основе отечественных муллитизированных наполнителей и технологической добавки пеногасителя, за счет применения, которых достигается существенное снижение прямых затрат на изготовление формы на 63,2 % и улучшение качества керамических стержней (увеличение прочности на разрыв, снижение склонности к образованию трещин и повышение качества поверхности). На отливках типа «Колесо рабочее» достигнуто уменьшение преобладающих отклонений геометрии по отношению к аналогичным отливкам, произведенным по базовой технологии с ± 2 до ± 1 мм, а максимальных отклонений с 4,2 до 2,2 мм. Шероховатость по-

верхности отливок улучшилась до Rz40, при показателях этого параметра по базовой технологии на уровне Rz80;

введены новые представления о кинетике процесса гелеобразования в процессе точного формообразования из огеливаемых суспензий.

Установлено, что применение гидролизованного раствора с соотношением $N=H_2O/OC_2H_5$ более 0,5 не представляется целесообразным для приготовления керамической суспензии, предназначенной для изготовления литейной формы из керамических стержней, поскольку наблюдается неравномерное огеливание, неконтролируемое локальное выпадение геля.

По регрессионным зависимостям определено, что прямое влияние на время огеливания и гелеобразования оказывает условное содержание SiO_2 в гидролизованном растворе этилсиликата. Два оставшихся фактора варьирования (соотношение молей воды и этоксильных групп $N=H_2O/OC_2H_5$; содержание катализатора) в эксперименте имеют только совместное влияние. С повышением условного содержания SiO_2 время огеливания и гелеобразования увеличиваются.

Теоретическая значимость исследований обоснована тем, что:

доказаны взаимосвязи между параметрами кинетики процесса гелеобразования и экспериментальными факторами (отношение молей воды и этоксильных групп, условное содержание SiO_2 в гидролизованном растворе этилсиликата и количество катализатора) при подготовке этилсиликатного связующего для литейной формы из керамических стержней при помощи двух уравнений регрессии;

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) **использованы:** статистический анализ, методы планирования эксперимента с получением результатов, обладающих новизной, а также физико-химические методы исследований, такие как количественный рентгенофазовый анализ, дилатометрия и дериватография, растровая электронная микроскопия;

изложены доказательства эффективности применения в качестве огнеупорного наполнителя муллитизированного материала, который обеспечивает

наилучшее сочетание прочности, геометрической точности, высокого качества поверхности и минимальной склонности к образованию трещин получаемых литейных керамических стержней. Рациональное содержание мелкой фракции этого материала составляет 52 – 55 мас. %.

Рентгенофазовым анализом определено, что применяемый наполнитель состоит из 72 % муллита и 28 % кристобалита, а фазовый состав керамических стержней представлен 71,8 % муллита, 20,9 % кристобалита, 6,1 % кварца и 1,2 % силлиманита. Наличие в составе фазы муллита, не имеющего полиморфных превращений в процессе прокаливания керамических стержней, обеспечило низкий КТЛР $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ по отношению к базовому, что и привело к повышению геометрической точности отливок;

раскрыты и выявлены проблемы, связанные с процессом пенообразования при изготовлении керамической суспензии для литейной формы, этот процесс приводит к выделению на поверхности керамического стержня сыпи в виде схлопнувшихся пузырьков, а это, в свою очередь, приводит к ухудшению качества поверхности получаемых отливок. Изучено влияние технологической добавки пеногасителя «Пента 462А» на структуру и свойства керамических стержней. Определен рациональный момент введения пеногасителя в суспензию (после добавления огнеупорного наполнителя и до введения катализатора). Установлено необходимое количество пеногасителя марки «Пента 462А» в количестве 0,8 – 1,0 % от объема керамической суспензии для эффективного подавления процесса пенообразования;

изучены причинно-следственные связи во влиянии фракционного и фазового состава огнеупорного наполнителя на качество литейных керамических стержней. Установлены рациональные параметры приготовления керамической суспензии: условное содержание SiO_2 – 24 – 25 мас. %; количество жидкой фазы в керамической суспензии – 24 – 28 мас. %; количество мелкой фракции в керамической суспензии – 52 – 55 мас. %. К мелкой фракции отнесен размер 0,00 – 0,16 мм. Методом растровой электронной микроскопии установлено, что округлая форма частиц, исследуемых муллитизированных материалов в соотно-

шении между зернистой и пылевидной составляющих 1 к 2,4, а также соотношение между связующим и наполнителем 1 к 3 обеспечивает формирование структуры керамических стержней с мелкой сеткой трещин. Такая структура является определяющей для повышения прочности и требуемую газопроницаемость литейных форм из керамических стержней;

Проведена модернизация алгоритмов расчета зависимостей технологических свойств литейных керамических стержней от параметров подготовки этилсиликатного связующего и суспензии с применением отечественных муллитизированных материалов и нового класса пеногасителя в точном литье в керамические формы по постоянным моделям.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработана и внедрена на сталелитейном заводе ООО «БВК» г. Челябинск технология изготовления литейных форм из керамических стержней для сложнопрофильных стальных отливок для нефтегазового комплекса (колеса рабочие, диффузоры). По результатам контроля механических и металлографических свойств, а также по данным неразрушающего контроля партия опытных отливок типа «Колесо рабочее» из стали 20ГЛ, изготовленных в литейных формах из керамических стержней, признана годной и по всем параметрам соответствует требованиям ТИ КН-25210-14001. За счет применения отечественных муллитизированных материалов и разработанной технологии достигается снижение прямых затрат на изготовление литейной формы на 63,2 % и полной цеховой себестоимости на 14,0 %;

определены научные и технологические основы влияния параметров подготовки этилсиликатного связующего и керамической суспензии на характеристики стальных отливок сложной конфигурации с высокими требованиями к качеству поверхности и геометрической точности.

Разработан рациональный состав гидролизованного раствора этилсиликатного связующего. Установлены следующие параметры: условное содержание SiO_2 составляет 24 – 25 %, соотношение $\text{H}_2\text{O}/\text{OC}_2\text{H}_5$ составляет 0,4 – 0,45, со-

держание катализатора составляет 2,2 – 2,4 % от объема гидролизованного раствора этилсиликата. Разработанный состав позволяет обеспечить время огеливания (перехода в студень) – 3,5 мин и время гелеобразования (полное затвердевание) – 7 мин. Длительное пластичное состояние стержня обеспечивает качественное извлечение оснастки из стержня (формы) без разрушения;

созданы научные и технологические основы разработки рациональных составов и режимов изготовления литейных форм из керамических стержней;

представлены рекомендации по совершенствованию технологии производства керамических литейных форм из керамических стержней, в том числе обосновано изменение рекомендуемых режимов прокаливания керамических стержней при температуре 800 – 850 °С в течение 3 – 4 часов.

Созданные научные основы процесса гелеобразования, приготовления керамической суспензии и изготовления литейных форм могут быть использованы другими отечественными предприятиями, применяющими метод литья в наливные керамические формы по постоянным моделям.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

эксперименты проведены в аттестованной лаборатории формовочных смесей ООО «БВК», анализ качества полученных отливок опытно-промышленной партии проведен на поверенном оборудовании, в том числе, исследование свойств сплава проводилось при помощи оптического эмиссионного спектрометра с автоматическим анализатором OBLF модели GS1000-II. Металлографические испытания проведены на инвертированном металлографическом микроскопе Olympus GX-51. Испытания механических свойств проведены с применением машины универсальной WDW-100, копра маятниковой модификации JB-W300 и твердомера цифрового LV-700. В работе широко применяются современные физико-химические методы исследований, а именно, исследование фазового состава проведено с помощью порошкового рентгеновского дифрактометра RigakuUltimaIV на излучении $\text{CuK}\alpha$, исследование микроструктуры керамических стержней выполнено на растровом электронном микроскопе JEOL-JSM-6460 LV, дилатометрия и дериватография исследуемых материалов прове-

дены на дериватографе с дилатометрической приставкой Q-1500D, для анализа геометрии был использован ручной 3D-сканер Creaform HandySCAN 700;

теория базируется на фундаментальных положениях теории и практики специальных способов литья, описанных в трудах (С.И. Репях, Я.И. Шкленник, В.А. Озеров), исследованиях в области наполнительных огнеупорных материалов для изготовления керамики (Ю.Е. Пивинский, М.И. Роговой, И.Я. Гузман, Г.Д. Чукин), изучении процессов изготовления наливных керамических форм и стержней по постоянным моделям (А.А. Стрюченко, Э.В. Захарченко, А.С. Лакеев и др.), и не противоречат результатам, представленным в независимых источниках;

идеи базируются на анализе и обобщении передового опыта и современных достижений в области применения керамических форм и стержней для получения высококачественных отливок, изучении процессов формообразования из огеливаемых суспензий по постоянным моделям;

использованы сравнения, полученных автором данных с результатами исследований из независимых научных источников, выявленными по результатам сделанного литературного обзора;

установлен высокий уровень сходимости результатов моделирования и промышленных испытаний на современном сталелитейном заводе ООО «БВК».

При анализе регрессионной зависимости по пределу прочности на разрыв после прокаливания получен коэффициент корреляции $R=0,955$, множественный коэффициент детерминации $R^2=0,912$, что говорит о высокой адекватности полученного уравнения, следовательно, его можно использовать в технологических расчетах. Так, применение разработанной технологии привело к повышению прочности керамических стержней на разрыв в прокаленном состоянии до $28,4 \text{ Н/см}^2$, а расчетное значение этой величины составило $27,9 \text{ Н/см}^2$;

использованы современные методики сбора и обработки исходной информации компьютерным способом с применением современного программного обеспечения (MS Excel), пакеты прикладных программ (CREO PARAMETRIC, MAGMASoft, GOMInspect).

Личный вклад соискателя состоит в формулировании цели и задач исследования, организации и проведении лабораторных и промышленных экспериментов и личном участии в них, непосредственном самостоятельном анализе и интерпретации результатов исследования, разработке математических зависимостей параметров процесса огеливания и гелеобразования, установлении математических зависимостей, характеризующих взаимосвязь в системе «структура – свойства – составы» применительно к процессу точного формообразования из огеливаемых суспензий для определения рационального состава керамической суспензии, выполненных автором лично, а также, формулировке основных положений и выводов, подготовке основных публикаций по выполненной работе с непосредственным участием автора.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания и вопросы:

В отзыве ведущей организации:

1. Будет ли влиять на свойства связующего и отливок смена пеногасителя?
2. Возможно ли использование разработанной технологии для отливок других типов?
3. Будет ли корректироваться технология изготовления при изменении марки стали?
4. Недостаточно внимания уделено вопросам взаимодействия расплава с материалом керамических стержней.

В отзыве официального оппонента Сулицина А.В.:

1. Требуется пояснить, на основании чего выбирали опытные рецептуры огнеупорных наполнителей по количеству мелкой, средней и крупной фракции (таблица 3.14)?
2. Как повлияет замена части мелкой фракции КДСП на мелкую фракцию плавящего кварца или муллитизированного материала на свойства стержней?
3. Неясно, с какой целью в диссертации приводятся снимки зерен муллитизированного материала ШК-42 (рис. 3.13)?

4. Неясно, по какому принципу выбирали значения варьируемых факторов в экспериментах по изучению влияния муллитизированного материала на свойства суспензии и керамических стержней (табл. 3.18)?

5. Как повлияет изменение распределения размеров зерен муллитизированного наполнителя в мелкой, средней и крупной фракции на свойства огнеупорной суспензии и керамических стержней?

6. Проводилось ли исследование склонности керамики к образованию трещин и качества поверхности образцов с разными вариантами ввода пеногасителя в суспензию?

7. Проводилось ли сравнение коэффициента термического линейного расширения керамических образцов с отечественным муллитсодержащим наполнителем и с наполнителем Kerfalite?

В отзыве официального оппонента Грачева А.Н.:

1. Отсутствует упоминание об объекте и предмете диссертационного исследования.

2. В тексте автореферата отсутствуют ссылки на рисунки 6 – 8.

3. По какой причине не рассматривался вариант применения готового связующего вместо гидролизованного раствора этилсиликата? На многих предприятиях, изготавливающих отливки литьем по выплавляемым моделям, ушли от длительной технологии гидролиза с применением опасных химических веществ.

4. Гидролиз с применением изопропилового спирта известен и применяется, в частности, в производстве готовых связующих типа ГС-20. Что нового автором внесено в этот процесс?

5. Что значит термин «специфическая трещиноватость керамики»? За счет чего она обеспечивает стержням улучшенные физико-механические характеристики и блокирует образование крупных трещин, ухудшающих качество их поверхности?

6. На каком основании сделан вывод о достаточности количества использованных в работе литературных источников – 85, из которых 8 – зарубежных?

7. В тексте автореферата не указаны дальнейшие перспективы развития темы диссертационного исследования.

От членов диссертационного совета:

1. Вы применяете термины огеливание и гелеобразование, чем они отличаются и как найти границы?

2. Вы использовали разные наполнители, по прочности лучшие показатели по плавленому кварцу, а поверхность плохая. Чем это вызвано? Гранулометрический состав вы делали кварца плавленого?

3. Чем вы объясняете потерю прочности в пиковых значениях?

4. Сколько раз повторялись эксперименты, для получения экспериментальных точек?

5. Скажите, у вас графики описаны ломаными кривыми. Они бы описывали кусочно-непрерывные функции? Или какую функцию использовать для получения таких требований?

6. В выводах пункт 8 вы утверждаете, что требуется выдерживать стержни в течение 3 – 4 часов, но ведь у вас стержни могут быть с различной толщиной стенки? Либо с развитой поверхностью, либо они могут быть какие-то толстостенные. Откуда взят параметр 3 – 4 часа? Материал очень низкой теплопроводности, каким-то стержням может не хватить? Откуда и на основании чего взят этот параметр? Тепловой расчет какой-то делали?

7. В калькуляции есть никель, причем приличный расход, а в 20ГЛ по этой марке никель не требуется? Меня интересует химический состав.

8. Почему не применялись отечественные материалы и пески?

9. На слайде 4 показаны нелинейные зависимости, каким образом был поставлен и каким образом проводился эксперимент для получения этих данных? Не использовалась ли какая-то методика планирования эксперимента или это был просто процесс наблюдения при разных априорно смешиваемых компонентов?

10. На слайде 6, здесь у вас представлены линейные зависимости. Получается, что противоречие между графиками и уравнениями с помощью которых вы

хотите эти графики отобразить. Откуда такое вот несоответствие?

11. Уравнение принято подтверждать какими-то статистическими оценками надежности и достоверности. Какие у вас оценки надежности и достоверности этих уравнений?

12. Какие количественные параметры структуры Вы исследовали и какие факторы влияют на формирование количественных параметров этой структуры?

13. У вас линейное уравнение, какой смысл в решении оптимальности?

14. Количество мелкой фракции. А какая мелкая фракция для вас?

15. На слайде 5 у вас химический состав формовочного материала – это же оксидная форма. Почему кислород не разнесен по элементам? Магний, например, в чистом виде находится в вашем формовочном материале или в оксидной форме?

16. Как выбирали значения факторов в эксперименте на слайде 6?

17. Вы получили четыре уравнения, как на их основании вы получили пределы целевых функций?

18. Опишите закономерности, о которых вы пишете во втором пункте научной новизны.

Соискатель Степанова Татьяна Викторовна ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

Существует большое количество различных технологических добавок для предотвращения образования пены. Пеногаситель на силиконовой основе выбран, поскольку именно этот тип обладает высокой термостойкостью и химической инертностью и может работать в агрессивных средах.

Применение разработанной технологии возможно для отливок любой отрасли, но целесообразно только для сложнопрофильных отливок с высокими требованиями к геометрической точности и качеству литых поверхностей.

Огнеупорность материалов существенно превышает температуру заливки любых марок сталей и составляет 1810 – 1830 °С, на отливках не зафиксированы

дефекты поверхности, связанные с взаимодействием расплава с материалом формы из керамических стержней.

В работе проводилось планирование экспериментов (полный факторный эксперимент), факторы варьирования выбирались исходя из анализа литературных данных и производственного опыта. Условное содержание SiO_2 в гидролизованном растворе этилсиликата во многом определяет прочность керамических стержней. Содержание мелкой фракции наполнителя и объем жидкой фазы в суспензии существенно влияют на процесс трещинообразования керамических стержней и также оказывает воздействие на их прочность, которая является целевой функцией. Поэтому эти 3 фактора выбраны наиболее влияющими на целевую функцию – прочность керамических стержней. Значения факторов варьирования выбирались исходя из литературных источников и предшествующих опытов.

Материал ШК-42 имеет полукруглую форму зерен, что косвенно объясняет увеличение прочности по сравнению с базовым материалом, который по данным литературных источников имеет остроугольную форму. А также дает потенциальную возможность к снижению расхода связующего и увеличению прочности. Базовый огнеупорный наполнитель (Kerfalite) представляет собой андалузит с анизотропными свойствами и КТЛР от $6,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ до $10,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, кварцевый песок имеет высокий КТЛР – $13,7 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, применяемый в работе муллит имеет низкий КТЛР – $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$, что обеспечивает высокую геометрическую точность керамики в процессе прокали и заливки форм.

При производстве стержней целесообразно преднамеренное создание высокой пористости и объемной сетки мелких трещин для облегчения выбиваемости и увеличения газопроницаемости формы. Кроме того, корректировка процесса таким образом, чтобы в процессе испарения растворителя и гелеобразования обеспечить формирование равномерной сетки мелких трещин вместо образования крупных трещин или полного их отсутствия способствует предотвращению в дальнейшем формирования термических трещин в процессе прокали. Та-

ким образом, керамика представляет собой ячеистую структуру, которая нивелирует (ведет к релаксации) термических напряжений в объеме стержня, что также подтверждается в работах других исследователей, например, в источнике Е.М. Дятлова и Ю.А. Климош «Химическая технология керамических огнеупоров». Для обеспечения высокой трещиностойкости керамики формообразующая система должна быть полифракционной. В работе к мелкой фракции относятся зерна с размером от 0 до 0,16 мм, средняя фракция 0,2 – 0,4 мм, крупная 0,63 мм и выше. В плавленном кварце очень мало пылевидной фракции, поэтому качество поверхности низкое.

Имеющиеся современные источники в основном направлены на разработку технологии литья по выплавляемым моделям, в которой применяются аналогичные материалы, но не учитываются особенности наливной формовки по постоянным моделям. Некоторые источники по тематике были исключены из библиографического списка, поскольку носят исключительно рекламно-ознакомительный характер и не содержат фундаментальной, содержательной или технологической информации.

Выявленные закономерности формирования структуры керамических стержней с мелкой сеткой трещин для повышения их физико-механических свойств и определения рациональной температуры прокаливания керамических стержней сформулированы в основных выводах пункты 6 – 8.

Поскольку в литературе нет общепринятых терминов, были введены понятия «огеливание» и «гелеобразование». Огеливание – это момент, когда суспензия переходит в вязкое состояние, когда уже невозможно качественное заполнение литейной оснастки. Гелеобразование – это момент, когда суспензия перешла в твердое состояние. После этого момента извлечь сложнопрофильные отъемные части невозможно. В данной работе для огеливания задавалось 3,5 минуты, для гелеобразования – 7 минут как целевые значения. Сами значения были определены опытным путем.

Отливки производятся по техническим условиям, для обеспечения высоких требований к сочетанию прочностных характеристик и ударной вязкости в химическом составе есть отклонения от ГОСТ (до 1,5 % никеля, до 0,3 % молибдена, ванадия и меди, сера и фосфор до 0,02 %).

Оценка достоверности регрессионных уравнений применялись коэффициент корреляции, коэффициент детерминации и проверка значимости по критерию Фишера. Оценка значимости коэффициентов уравнений регрессии проводилась по критерию Стьюдента.

На заседании 17.06.2025 г. диссертационный совет принял решение за разработку новых научно обоснованных технологических решений, направленных на повышение качества стальных сложнопрофильных отливок, получаемых литьем в наливные керамические формы по постоянным моделям, за счет использования рациональных параметров подготовки гидролизованного раствора этилсиликата и разработки оптимального состава керамической суспензии, имеющих существенное значение для развития страны и решения стратегических задач по импортозамещению и обеспечению технологического лидерства литейной отрасли России, присудить Степановой Татьяне Викторовне ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по специальности 2.6.3. Литейное производство, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 16, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель
диссертационного совета

Колокольцев Валерий Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета

Мезин Игорь Юрьевич

17.06.2025 г

