

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

«Тихоокеанский государственный
университет»
(ФГБОУ ВО «ТОГУ»)



ул. Тихоокеанская, 136
Хабаровск, 680035
тел. (4212) 97-97-00,
e-mail: mail@pnu.edu.ru
сайт: <http://pnu.edu.ru>

04.10.2024 № 119/046
На _____ № _____

УТВЕРЖДАЮ
Ректор Тихоокеанского
государственного университета

Д.Т.Н.

Марфин Ю.С.

2024

« 04 »

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования

«Тихоокеанский государственный университет»

на диссертационную работу Колтыгина Андрея Вадимовича по теме:
«Развитие основ совершенствования существующих и разработки новых
сплавов на основе магния и инновационных технологий получения из них
отливок ответственного назначения литьём в песчаные формы»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по
специальности 2.6.3 – Литейное производство.

На отзыв представлены:

-диссертационная работа объемом 401 страниц, содержащая 39 таблиц,
172 рисунка и состоящая из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из
317 источников и приложения

-автореферат диссертации на 45 страницах, включающий список из 45
основных публикаций, из которых 21 статей в журналах входящих в перечень
изданий, рекомендованных ВАК РФ, а также в изданиях, индексируемых в
базах данных Web of Science и Scopus, 7 патентов.

Диссертационная работа выполнена на кафедре ЛПиХОМ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС).

Текст диссертационной работы оформлен стилистически грамотно и в соответствии с требованиями, терминология используется по существу и назначению. Автореферат соответствует содержанию диссертации и достаточно полно его раскрывает. Содержание автореферата в полной мере отражает структуру, научные результаты и выводы диссертации.

В целом по объему и структуре диссертационная работа Колтыгина А. В. соответствует установленным требованиям ВАК РФ к докторской диссертации по заявленной специальности 2.6.3 – Литейное производство (технические науки).

Актуальность темы исследования

Литейные магниевые сплавы, используемые в отечественной промышленности (ГОСТ 2856-79), были разработаны несколько десятков лет назад, что предопределяет насущную необходимость разработки новых материалов на основе магния. Большие перспективы здесь имеют новые сплавы, содержащие в качестве легирующих компонентов редкоземельные металлы (РЗМ), в частности, тяжелые. Плавка таких сплавов сопряжена с рядом сложностей, нетипичных для традиционных промышленных магниевых сплавов.

В условиях удорожания энергоносителей и ужесточения требований к безопасности окружающей среды, производство качественного литья является первостепенной задачей литейного производства. Для производства конкурентоспособных отливок необходимо создание эффективной технологической цепочки, обеспечивающей получение отливки, удовлетворяющей требованиям заказчика в кратчайшее время.

В связи с вышеизложенным, тема диссертационной работы Колтыгина Андрея Вадимовича «Развитие основ совершенствования существующих и разработки новых сплавов на основе магния и инновационных технологий получения из них отливок ответственного назначения литьём в песчаные формы», направленная на разработку основ получения требуемых эксплуатационных свойств отливок из существующих магниевых сплавов в ХТС формах и разработку новых экспериментальных сплавов, обладающих повышенным уровнем свойств, соответствующим современным требованиям промышленности и ориентированных на условия бесфлюсовой плавки является актуальной.

Оценка содержания диссертации

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, описана методология и методы исследования, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации работы, отражен личный вклад соискателя и соответствие паспорту научной специальности.

В первой главе проведен анализ современных тенденций в развитии магниевых литейных сплавов и технологий получения отливок. Показано, что технологии производства магниевого литья в мире и в России различна. Основным потребителем магниевого литья в России остается аэрокосмическая отрасль. В последние годы отечественная промышленность снижала потребление магния для производства отливок для гражданского авиастроения, в оборонном же секторе наблюдалась обратная тенденция. Показано, что наиболее перспективными материалами для легирования магния с целью создания сплавов с требуемыми свойствами, например, высокопрочных сплавов, сплавов стойких к возгоранию, герметичных сплавов, являются РЗМ. Применение РЗМ требует некоторой адаптации к новым условиям производства, ориентированным на использование технологии бесфлюсовой плавки и литья в формы из ХТС.

Во второй главе рассматриваются вопросы оптимизации составов промышленных магниевых сплавов для получения отливок при литье в формы из ХТС на примере сплавов МЛ10 и МЛ19. Из-за снижения скорости охлаждения металла при затвердевании, качество металла, полученного в фазовые формы, сильнее зависит от состава сплава, чем в случае кокильного литья, поэтому переход на ХТС формы сопряжен с некоторыми трудностями. Использовались как методы компьютерного моделирования диаграмм состояния и литейных процессов, так и традиционные методы исследования структуры и свойств сплава. Методики экспериментов также были описаны.

В третьей главе рассматриваются особенности формирования герметичности в магниевых литейных сплавах, акцентируясь на системах Mg-РЗМ-Zn-Zr. Для корпусов, работающих под давлением, традиционно используется сплав МЛ10, однако его отливки не всегда надежны. Проведены сравнительные исследования сплавов, таких как Elektron 21, ZE41A, ZE63A и EZ33A, для выявления лучших характеристик герметичности и причин возникновения пористости. Выяснено, что негерметичность связана с просачиванием через микроскопические поры, и что сплавы с узким

температурным интервалом кристаллизации имеют меньшую пористость. Результаты показывают, что сплав ZE63A обладает максимальной удельной теплотой кристаллизации и интервалом кристаллизации, что благоприятно сказывается на его свойствах. Также установлено, что сплавы EZ33A и Elektron 21 имеют минимальную пористость, в то время как МЛ10 показывает наибольшую. Установлено, что сочетание узкого интервала кристаллизации и значительного тепловыделения приводит к образованию глубоких усадочных раковин, что влияет на герметичность отливок.

В четвертой главе исследуется влияние смесей защитных газов на окисление магниевого расплава, где защитная атмосфера обычно состоит из инертного газа и активного газа, повышающего защитные свойства оксидной пленки. Изучены различные составы газов, перспективными признаны смеси с SF₆ или HFC-R134a в роли активного газа и CO₂ с азотом или сушеным воздухом в роли носителя. Специальная установка позволила исследовать интеракции магниевого расплава в этих атмосферах при 780 °С. Установлено, что использование газовых смесей не приводит к значительному угару компонентов. Образование оксидной пленки на поверхности магниевых слитков включает магния, иттрия, циркония и фторид магния. При использовании 10 % SF₆ содержание фтора в пленке достигает 25 % мас. В зависимости от газовой атмосферы наблюдается различное содержание циркония, возможно в виде нитрида.

В пятой главе обсуждаются основы разработки новых магниевых сплавов с улучшенными характеристиками. Сплавы по ГОСТ 2856-79 не удовлетворяют современным требованиям, и необходим контроль микроструктуры для достижения желаемых свойств. Основные аспекты контроля включают управление границами зерен, упрочнение твердого раствора и образование наноразмерных выделений. Рассматриваются редкоземельные металлы (РЗМ) как перспективные легирующие компоненты.

Сплав EWZ43 содержит комбинацию иттрия и неодима с контролируемым содержанием цинка (до 0,6 мас. %). Иттрий нужен для защиты от возгорания, и его содержание установлено между 3-4 мас. %. Неодим должен находиться в диапазоне 3-4,5 мас. % для обеспечения нужного фазового состава. Микроструктура сплава была изучена, и влияние цинка не оказало заметного отрицательного воздействия на свойства сплавов.

Упрочнение в процессе старения оценивалось по твердости и электропроводности. Максимальная твердость была достигнута при 200 °С, где

сплавы достигали 100 НВ. Старение при 250 °С показало более быстрое упрочнение, но добавка Zn не влияло на твердость.

В шестой главе представлены результаты промышленного применения результатов исследований, выполняемых в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 9 апреля 2010 года № 218. В рамках проекта по созданию технологии производства магниевых отливок для газотурбинных двигателей и станций перекачки газа, инициированного ПАО «ОДК-Кузнецов» и НИТУ МИСИС, разработаны передовые технологические процессы, включающие изготовление форм из холоднотвердеющей смеси, бесфлюсовую плавку сплава МЛ19 и производство крупных магниевых отливок, таких как «Корпус промежуточной опоры» и «Крышка промежуточной опоры». Выплавка происходила в электрической печи, созданной в НИТУ МИСИС, с использованием газа CO_2 и SF_6 . Второй проект с ПАО АК «Рубин» сосредоточился на уникальных литых деталях из сплава МЛ10 с применением аддитивных технологий и бесфлюсовой плавки. Созданные формы из ХТС обеспечили высокое качество отливок, что способствует повышению конкурентоспособности российского авиастроения.

Автором рассмотрена необходимость адаптации магниевых сплавов к условиям литья в разовые песчаные формы, что было продемонстрировано на примере сплавов МЛ10 и МЛ19, где успешное использование компьютерного моделирования подтвердило результаты. Изучены факторы, влияющие на герметичность отливок, установлено, что ширина температурного интервала кристаллизации и содержание эвтектической фазы существенно влияют на свойства. Презентован новый сплав NiLa , показывающий высокую герметичность и подходящие механические характеристики. Также исследованы особенности бесфлюсовой плавки; предложены оптимальные составы защитной газовой атмосферы и оригинальный состав с хладоном ФК 5-1-12 для плавки сплавов МЛ5 и МЛ10. В заключение, описаны возможности создания новых экспериментальных магниевых сплавов с улучшенными литейными свойствами, акцентируя внимание на подходах к разработке новых сплавов с редкоземельными металлами.

Новизна исследований и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

По результатам исследований диссертантом сформулированы следующие положения, обладающие научной новизной:

- Раскрыт и описан механизм формирования герметичности в отливках, предназначенных для изготовления деталей, работающих под

давлением гидравлических жидкостей. Показано, что доля усадочной междендритной пористости, формируемой в отливке в процессе затвердевания не напрямую связана с их герметичностью. Гораздо большее влияние, чем общая доля пористости, оказывает форма и расположение микропор в структуре отливки и наличие достаточного количества эвтектической фазы в ее структуре.

- Научно обоснованы и апробированы на практике требования, предъявляемые к системам легирования сплавов для герметичных отливок и предложен экспериментальный сплав для получения герметичных отливок «Корпус». Показано существенное влияние количества и распределение эвтектической фазы в структуре сплавов на формирование герметичности в отливках.

- Обоснованы теоретические принципы разработки новых литейных магниевых сплавов системы Mg-PЗМ-Zn-Zr двух типов: с однофазной и многофазной структурой после термообработки. Показано, что сплавы с наличием второй фазы в структуре имеют высокие механические свойства, но уступают промышленным магниевым сплавам в коррозионной стойкости. Разработан экспериментальный магниевый сплав на базе такой системы (Mg-NdY-Zn-Zr), обеспечивающий высокие механические свойства и устойчивость сплава к возгоранию на воздухе вплоть до полного расплавления литых деталей, и научно обоснован механизм формирования устойчивости к возгоранию в магниевых сплавах.

Практическая ценность диссертационной работы и рекомендации по использованию и внедрению ее результатов.

- Разработан новый, стойкий к возгоранию на воздухе сплав системы Mg-Nd-Y-Zn-Zr для получения отливок ответственного назначения.

- Разработан новый высокопрочный экспериментальный сплав Mg-GdY-Zn-Zr для получения отливок ответственного назначения.

- Рассмотрены различные газовые среды для реализации технологии бесфлюсовой плавки конкретных магниевых сплавов. Предложены составы защитных газовых смесей и технологии их применения, опробованные в промышленных условиях и позволяющие получить качественные отливки.

- Предложена новая смесь газов для защиты магниевых расплава и новый способ ее приготовления, основанный на испарении жидкого хладагента ФК 5-1-12 в газе-носителе (аргон).

- Предложенный технологический процесс бесфлюсовой плавки и литья магниевых сплавов в формы из ХТС внедрен на ПАО «ОДК-Кузнецов» (г. Самара) и ПАО АК «Рубин» (г. Балашиха)

Степень опубликования материалов, в которых излагаются основные научные результаты диссертации. Автором в полной мере выполнено требование «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 об опубликовании результатов исследований. Результаты диссертационной работы апробированы на научно-технических конференциях Российского и Международного уровня.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Представленные в диссертационной работе положения, выводы и рекомендации вполне обоснованы и согласуются с существующими положениями теории литейных процессов.

Достоверность результатов работы подтверждается корректностью методов решения литейных задач, гидродинамических процессов; использованием классических методов экспериментального исследования; применением современного аналитического оборудования.

Соответствие содержания диссертационной работы указанной специальности.

По названию, объекту исследования, методам проведения исследования и содержанию материалов диссертационная работа Колтыгина Андрея Вадимовича «Развитие основ совершенствования существующих и разработки новых сплавов на основе магния и инновационных технологий получения из них отливок ответственного назначения литьём в песчаные формы» соответствует направлениям исследований паспорта научной специальности 2.6.3 – «Литейное производство» по пп. 1, 2, 3, 15 и 17.

1. Исследование физических, химических, физико-химических, теплофизических, технологических, механических и эксплуатационных свойств материалов, как объектов и средств реализации литейных технологий;

2. Исследование тепло- и массопереноса, напряженного состояния, гидродинамических, реологических и других процессов, происходящих в расплавах, отливках, литейных формах и окружающих их средах;

3. Исследование процессов формирования структуры и свойств литых заготовок, литейных сплавов и материалов, формовочных и стержневых смесей;

15. Применение цифровых технологий в литейных процессах;

17. Разработка и освоение новых литейных сплавов, формовочных и стержневых материалов.

По диссертационной работе Колтыгина Андрея Вадимовича имеются следующие замечания:

1. В чем заключаются разработанные основы получения требуемых эксплуатационных свойств литых магниевых сплавов? Данная формулировка указана в цели диссертационного исследования, в заключении отсутствуют выводы по разработке теоретических и практических основ управления эксплуатационными свойствами литых магниевых сплавов.

2. В п.3 основных задач исследований указано, что будет описан механизм формирования пористости и герметичности в отливках. Изложите кратко механизм.

3. Из п. 2.1 диссертации не ясно в чем заключалась оптимизация состава промышленного сплава МЛ10. Приведите параметры оптимизации.

4. Чем обосновывается выбор для исследований сплавы МЛ10 с 0,3 и 0,6 мас. %? На стр. 65 диссертации рекомендуется сплав с содержанием циркония 0,7 мас. %, проводились экспериментальные исследования сплава с таким содержанием циркония?

5. По п. 2.6.4 объясните механизм модифицирующего воздействия БО лигатуры на структуру при термической обработке Т6.

6. Гл. 3, по каким методикам определялись герметичность и пористость экспериментальных образцов?

7. Гл. 5, проводилось промышленное апробирование экспериментальных сплавов?

Заключение

Представленная к защите докторская диссертация Колтыгина Андрея Вадимовича «Развитие основ совершенствования существующих и разработки новых сплавов на основе магния и инновационных технологий получения из них отливок ответственного назначения литьём в песчаные формы» является завершённой научно - квалификационной работой, в которой содержится решение научно - технической проблемы, имеющей существенное значение для современного машиностроения.

Диссертационная работа «Развитие основ совершенствования существующих и разработки новых сплавов на основе магния и инновационных технологий получения из них отливок ответственного назначения литьём в песчаные формы» по актуальности, научной новизне, практическому значению и объёму полученных результатов соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» Постановления Правительства РФ от 24.09.2013

№ 842 в отношении докторских диссертаций, а ее автор - Колтыгин Андрей Вадимович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.3 – Литейное производство.

Отзыв и диссертационная работа обсуждены и утверждены на расширенном научном семинаре Высшей школы промышленной инженерии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тихоокеанский государственный университет», ТОГУ, г. Хабаровск (протокол № 1 от 6 сентября 2024 г.)

Руководитель Высшей школы промышленной инженерии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тихоокеанский государственный университет», д.т.н., профессор, специальность 05.16.04 «Литейное производство»

Ри Эрнст Хосенович

Подпись Ри Эрнста Хосеновича заверяю.

Ученый секретарь университета

О.А. Филатова



Данные об организации:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тихоокеанский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ТОГУ»)

Адрес: Россия, 680035, Хабаровский край, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136

Тел.: (4212) 97-97-00, email: mail@pnu.edu.ru