



САМАРСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
SAMARA UNIVERSITY

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева»

ул. Московское шоссе, д. 34, г. Самара, 443086
Тел.: +7 (846) 335-18-26, факс: +7 (846) 335-18-36
Сайт: www.ssau.ru, e-mail: ssau@ssau.ru
ОКПО 02068410, ОГРН 1026301168310,
ИНН 6316000632, КПП 631601001

10 МАР 2025

№ 104-1240

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

Д.Э.Н., профессор

В. Д. Богатырев

«__» 10 МАР 2025 2025 года

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Акининой Марии Владимировны
на тему «Разработка и исследование деформируемого магниевого сплава
системы Mg-Zn-Zr-PЗЭ (Y, Nd, La) с повышенным уровнем
прочностных и жаропрочных характеристик», представленную
на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка
металлов и сплавов

Актуальность темы диссертации

Магниевые сплавы относятся к конструкционным материалам, имеющим большое практическое значение для изделий авиационной и космической отрасли, а также для других областей современной техники. Одним из основных преимуществ магневых сплавов, повышающих их конкурентоспособность как конструкционного материала для изделий авиакосмической промышленности, служит их значительно меньшая плотность по сравнению с применяемыми сплавами на основе других цветных металлов, в первую очередь, алюминия и титана.

Следует также отметить, что деформируемые магниевые сплавы, относящиеся к группе высокопрочных и жаропрочных сплавов, являются практически единственной альтернативой в ряду металлических материалов по отношению к конструкционным полимерным композиционным материалам не

только по своим весовым характеристикам, но и по целому ряду других существенных преимуществ – хорошей технологичности, высокой демпфирующей способности, благоприятному уровню характеристик выносливости.

Для успешного внедрения магниевых деформируемых сплавов в конструкции современных летательных аппаратов необходимо изыскивать новые композиции сплавов, осваивать применительно к ним современные технологии. Это позволит улучшить технологические и эксплуатационные характеристики материалов, что, в свою очередь, даст возможность расширить области их применения.

На основании вышеизложенного представленная в диссертационной работе Акининой Марии Владимировны задача создания нового деформируемого высокопрочного жаропрочного магниевого сплава, легированного редкоземельными элементами (РЗЭ), является актуальной.

Структура и содержание работы

Содержание и структура диссертации находятся в логическом единстве и соответствуют поставленной цели исследования, критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана исследования. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы, содержащего 174 источника. Основной материал изложен на 164 страницах машинописного текста, включая 64 рисунка и 20 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цель и научно-практические задачи, сформулированы научная новизна исследования, теоретическая и практическая значимость результатов диссертационной работы, дана справка об апробации.

В первой главе приведены теоретические основы создания высокопрочных и жаропрочных деформируемых магниевых сплавов, представлен обзор серийных высокопрочных и жаропрочных деформируемых магниевых сплавов. Рассмотрены закономерности строения двойных и многокомпонентных диаграмм состояния магния с различными легирующими элементами. Проанализировано влияние различных элементов, включая РЗЭ, на структуру и свойства магния, показана целесообразность использования системы Mg-Zn-Zr в качестве исходной системы легирования.

Во второй главе описаны исследуемые материалы (прессованные прутки из сплавов экспериментальных составов, слитки, прессованные прутки и полосы из разработанного деформируемого высокопрочного жаропроч-

ного магниевого сплава марки ВМД16) и методы проводимых исследований (химический анализ, оптическая, растровая и просвечивающая микроскопия, рентгеноструктурный анализ, механические и технологические испытания).

В третьей главе представлены результаты исследования влияния легирующих элементов на основные механические свойства магниевых сплавов экспериментальных составов. На основании полученных результатов разработан химический состав нового деформируемого высокопрочного жаропрочного магниевого сплава марки ВМД16, который защищен патентом RU 2554269.

В четвертой главе представлены результаты исследования влияния технологических параметров изготовления на структуру, фазовый состав и механические свойства слитков сплава ВМД16. По результатам проведенных исследований разработана технология бесфлюсовой плавки и в промышленных условиях получены крупногабаритные слитки сплава ВМД16. Также, с целью получения более однородной структуры, предотвращения трещинообразования и повышения технологической пластичности сплава при дальнейшей деформации разработан режим гомогенизационного отжига слитков сплава ВМД16.

В пятой главе представлены результаты исследования влияния технологических параметров изготовления прессованных полуфабрикатов на структуру, фазовый состав и механические свойства сплава ВМД16. На основании полученных результатов исследований разработана технология изготовления прессованных полуфабрикатов (пруток, полоса) из сплава ВМД16. В промышленных условиях получены качественные прессованные прутки и полосы из сплава ВМД16, обладающие высоким уровнем механических свойств. На прессованные полуфабрикаты из сплава ВМД16 выпущены технические условия.

В шестой главе представлены результаты испытаний свойств сплава ВМД16 при повышенных температурах. По результатам проведенных исследований установлено, что сплав ВМД16 обладает комплексом высоких прочностных свойств не только при нормальной, но и при повышенных температурах. Детали, изготовленные из прессованных полуфабрикатов из сплава ВМД16, рекомендуются к длительной эксплуатации при температурах до 200°C, кратковременно – до 300°C.

В седьмой главе определены паспортные характеристики сплава ВМД16. По результатам проведенной общей квалификации выпущен пас-

порт на деформируемый высокопрочный жаропрочный магниевый сплав марки ВМД16.

В конце диссертационного исследования приведено **закключение**, в котором сформулированы результаты работы. Основные научные результаты, полученные автором, их последовательность и содержание, отражают структуру работы, соответствуют поставленным задачам и свидетельствуют о полноте их решения.

В целом, работа изложена технически грамотным языком. Каждая глава содержит важные результаты научных исследований автора. Общее оформление работы соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Научная новизна

В ходе выполнения научных исследований автором диссертации получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Практически подтверждена возможность реализации синергетического эффекта от совместного легирования магния элементами иттриевой и цериевой подгрупп РЗЭ в установленных пределах на примере разработанного деформируемого магниевового сплава системы Mg-Zn-Zr-РЗЭ (Y, Nd, La), что выразилось в достижении высокого уровня прочностных и жаропрочных характеристик за счет формирования новых интерметаллидных фаз сложного состава.

2. Выявлены и изучены особенности влияния бесфлюсовой плавки на структуру и свойства деформируемого магниевового сплава системы Mg-Zn-Zr-РЗЭ (Y, Nd, La) в литом состоянии. Установлено, что использование защитной газовой атмосферы в процессе проведения бесфлюсовой плавки приводит к снижению содержания примесей в слитках (в 1,3-5 раз) и как следствие, к улучшению коррозионной стойкости сплава (практически в 5 раз), а также способствует формированию высокодисперсных интерметаллидов – цирконидов цинка и вызывает повышение прочностных свойств сплава в литом состоянии на 9-15%.

3. Доказан факт зарождения самоорганизующихся упорядоченных длиннопериодных фаз (long period stacking ordered phases) – LPSO-фаз в литом состоянии и дальнейшее их сохранение в гомогенизированном и деформированном состояниях деформируемого магниевового сплава системы Mg-Zn-Zr-РЗЭ (Y, Nd, La).

4. Установлено, что расположение LPSO-фаз как в объёме зерен, так и в виде блоков в многослойных фрагментах эвтектической составляющей, и равномерное распределение высокодисперсных интерметаллидных включений размером (70-100 нм), в том числе, частиц цирконидов цинка, в объеме зерен сплава системы Mg-Zn-Zr-PЗЭ (Y, Nd, La) в совокупности способствуют достижению повышенного уровня прочностных свойств прессованных полуфабрикатов в исходном состоянии в широком интервале температур ($\sigma_B \geq 320$ МПа, $\sigma_{0,2} \geq 230$ МПа, $\delta_5 \geq 12,0$ %, $\sigma_B^{-70} \geq 375$ МПа, $\sigma_{100}^{200} = 167$ МПа, $\sigma_{0,2/100}^{200} \geq 98$ МПа).

Полученные результаты соответствуют п. 1 «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм, в том числе диаграммами состояния) с физическими, механическими и другими свойствами сплавов»; п. 2 «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия и влияния сварочного воздействия на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование»; п. 3 «Теоретические и экспериментальные исследования влияния структуры на физические, химические, механические, технологические и эксплуатационные свойства металлов и сплавов, их моделирование и прогнозирование» паспорта научной специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Практическая значимость

Практически значимыми результатами работы следует считать:

1. Разработку и оформление патента на состав высокопрочного жаропрочного магниевового сплава, легированного РЗЭ (Y, Nd, La), который обеспечивает высокий уровень прочности в широком интервале температур, а при нормальной температуре сохраняет необходимый запас пластичности прессованных полуфабрикатов ($\sigma_B^{300} \geq 165$ МПа, $\sigma_B \geq 320$ МПа, $\delta_5 \geq 12,0$ %).
2. Разработку технологии изготовления и режима термической обработки (гомогенизационного отжига) слитков сплава ВМД16.
3. Разработку технологии изготовления прессованных полуфабрикатов (прутки, полосы) из сплава ВМД16.

4. Проведение всесторонних исследований свойств деформируемого высокопрочного жаропрочного магниевого сплава системы Mg-Zn-Zr-PЗЭ (Y, Nd, La) и выпуск паспорта на сплав марки ВМД16.

Приоритет разработанных технических решений подтвержден публикациями в рецензируемых изданиях, докладами на международных и российских конференциях, а также апробацией в производственных условиях.

Обоснованность и степень достоверности полученных результатов

Обсуждаемая работа выполнена на высоком научном уровне, использованы современные методы исследования. Достоверность экспериментальных данных, полученных при проведении исследований прессованных полуфабрикатов с использованием лабораторного оборудования, подтверждена результатами соответствующих испытаний промышленных партий полуфабрикатов. Обоснованность научных выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается решением поставленных задач, обеспечивающих достижение цели исследования.

Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 8 научных работах, в том числе 3 статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в издании, индексируемом базами Web of Science и Scopus, 1 патент на изобретение, и неоднократно обсуждались на научно-практических конференциях.

Анализ содержания диссертации, опубликованных работ, в том числе работ, опубликованных в соавторстве, показал, что все научные положения, выносимые на защиту, выводы и рекомендации принадлежат диссертанту.

Оценка содержания диссертации

Объем и содержание диссертационной работы по степени научной новизны и практической значимости удовлетворяет требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Анализ содержания диссертационной работы убеждает в ее завершенности. Содержание диссертации изложено грамотно, в логической последовательности, а принятая терминология и стиль изложения соответствует общепринятым нормам.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Полученные в работе научные и практические результаты следует рекомендовать к использованию на предприятиях авиакосмической отрасли при проектировании и производстве элементов конструкций, подвергающихся эксплуатационному нагреву, деталей внутреннего набора планера, а также в изделиях, где важна весовая эффективность.

Замечания по диссертационной работе

В диссертации успешно решена сложная в научном и практическом плане задача, однако при этом нельзя не отметить ряд замечаний:

1. В литературном обзоре уделено внимание способам повышения прочности деформированных полуфабрикатов из магниевых сплавов путем проведения упрочняющих видов термической обработки таких как закалка и искусственное старение. Однако в работе не проводилось исследований влияния закалки и искусственного старения на прессованные полуфабрикаты из сплава ВМД16.

2. В главе 4, посвященной изготовлению слитков сплава ВМД16, не указаны очередность и температура введения легирующих элементов в магниевый расплав.

3. В главе 5, посвященной изготовлению прессованных полуфабрикатов из сплава ВМД16, не указан такой значимый технологический параметр как скорость прессования литых заготовок.

4. В работе приведены данные по общей коррозионной стойкости сплава ВМД16, но не указано проводились ли натурные климатические испытания. Учитывая, что одним из недостатков магниевых сплавов является их относительно невысокая коррозионная стойкость, результаты натурных испытаний коррозионных свойств позволили бы оценить устойчивость разработанного сплава в реальных условиях эксплуатации.

Указанные замечания не снижают ценность и общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные научные и практические результаты и не затрагивают основных положений, вынесенных соискателем на защиту.

Заключение

Диссертационная работа Акининой Марии Владимировны представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на осно-

вании выполненных исследований решена актуальная научно-техническая задача по созданию нового деформируемого высокопрочного жаропрочного магниевого сплава, легированного редкоземельными элементами, обладающего преимуществами перед серийными деформируемыми магниевыми сплавами.

Научная ценность работы подтверждена новизной результатов, полученных во время проведения исследований влияния легирующих элементов на основные механические свойства магниевого сплава и технологических параметров изготовления на структуру, фазовый состав и механические свойства слитков и прессованных полуфабрикатов из магниевого сплава ВМД16.

Достоверность изложенных в диссертации научных результатов подтверждается использованием современных методов исследований, технических средств и программ. Изготовление слитков и прессованных полуфабрикатов из сплава ВМД16 проведено не только в лабораторных условиях, но и на серийном промышленном оборудовании.

Количество и качество публикаций Акининой М.В. отвечает п. 11, 13 Положения о присуждении ученых степеней. Автореферат диссертации достаточно полно отражает ее содержание и соответствует требованиям п. 25 Положения о присуждении ученых степеней.

Поставленная цель, задачи исследования, и, соответственно, содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Все перечисленное дает основания считать, что представленная диссертационная работа Акининой М.В., несмотря на отдельные замечания не принципиального характера, соответствует критериям, установленным п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025). Автор диссертации, Акинина Мария Владимировна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Отзыв на кандидатскую диссертацию Акининой Марии Владимировны на тему «Разработка и исследование деформируемого магниевого сплава системы Mg-Zn-Zr-PЗЭ (Y, Nd, La) с повышенным уровнем прочностных и жа-

ропрочных характеристик» подготовил заведующий кафедрой обработки металлов давлением, д.т.н., доцент Ерисов Ярослав Александрович.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры обработки металлов давлением и кафедры технологии металлов и авиационного материаловедения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет) протокол № 6 от 25.02.2025 г. на котором присутствовало 17 научно-педагогических работников, проголосовавших единогласно за утверждение данного отзыва.

Лица, подписавшие отзыв, выражают согласие на включение своих персональных данных в аттестационное дело соискателя Акининой М.В. и их дальнейшую обработку.

Заведующий кафедрой обработки
металлов давлением Самарского университета,
д.т.н., доцент



Ерисов Ярослав Александрович

Заведующий кафедрой технологий
металлов и авиационного материаловедения
Самарского университета,
д.т.н., доцент



Носова Екатерина Александровна

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет)

Адрес: 443086, г. Самара, ул. Московское шоссе, д. 34

Тел.: +7(846) 334-09-04

E-mail: erisov@ssau.ru