



**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

09 НОЯ 2023

№ 104-5917

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор – проректор по  
научно-исследовательской работе

Д.Т.Н., доцент



 А.Б. Прокофьев

« 9 » ноября 2023 года

### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу **Леонова Александра Андреевича**  
на тему «**Литейные магниевые сплавы системы Mg-P3Э-Zr с  
повышенной температурой воспламенения**», 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 являются самым легким конструкционным металлическим материалом, что обуславливает перспективность и необходимость их использования в конструкции изделий авиационной, ракетно-космической техники для повышения весовой эффективности. Дальнейшее развитие отечественной авиастроительной отрасли связано с повышением тактико-технических характеристик, таких как повышение дальности полета, полезной нагрузки, безопасности эксплуатации, добиться которого можно используя материалы пониженной плотности с повышенными прочностными, жаропрочными, коррозионными характеристиками, к которым можно отнести и магниевые сплавы. Данные характеристики являются структурно-зависимыми, поэтому разработка новых магниевых сплавов невозможна без изучения и понимания процессов, протекающих в них.

На основании вышеизложенного представленная в диссертационной работе Леонова Александра Андреевича задача по исследованию закономерностей формирования структуры, прочностных и жаропрочных свойств при



легировании редкоземельными элементами, к которым относятся иттрий, неодим и гадолиний, магниевых сплавов с повышенной температурой воспламенения в комплексе с термической обработкой 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, четырех глав, выводов, списка литературы, содержащего 134 источника, и приложения. Основной материал изложен на 125 страницах машинописного текста, включая 27 таблиц и 38 рисунков.

**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** кратко рассмотрены теоретические предпосылки к разработке жаропрочных литейных магниевых сплавов с повышенной температурой воспламенения; приведено влияние основных легирующих компонентов на магниевые сплавы; представлена классификация литейных магниевых сплавов и анализ мировых тенденций развития в области жаропрочных магниевых сплавов.

**Во второй главе** описаны исследуемые материалы (многокомпонентные композиции сплавов на основе магния, легированные цинком, цирконием, иттрием, неодимом и гадолинием) и методики экспериментальных исследований (металлографических исследований, исследований термических, физических, прочностных, жаропрочных и коррозионных характеристик, огневых испытаний) и моделирования фазовых превращений.

**В третьей главе** представлены результаты исследований закономерностей формирования структуры и свойств при комплексном легировании редкоземельными элементами магниевых сплавов системы Mg-P3Э-Zr с повышенной температурой воспламенения. Необходимо отметить, что результаты указанных исследований позволили разработать ряд новых магниевых сплавов, которые были запатентованы (Патенты РФ № 2562190, 2753660).

**В четвертой главе** определены паспортные характеристики сплавов ВМЛ26, ВМЛ25 и перспективы их применения. По результатам проведенной квалификации выпущены паспорта №1945 на жаропрочный литейный магниевый сплав марки ВМЛ25 и №2042 на пожаробезопасный высокопрочный литейный магниевый сплав марки ВМЛ26.



В конце диссертационного исследования приведены **выводы**, в которых 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. Научно обоснован выбор редкоземельных элементов в качестве легирующих компонентов, который основан на установлении зависимости их растворимости в магнии от металлохимических свойств, таких как размерный фактор, электроотрицательность, и представлен в виде построенных диаграмм зависимостей.

2. Исследовано влияние редкоземельных элементов, таких как иттрий, гадолиний, неодим, на свойства выбранной на основе теоретических предпосылок и анализа мировых тенденций экспериментальной композиции, результаты которых позволили установить оптимальное процентное соотношение легирующих компонентов, обеспечивающих максимальное упрочнение. Результаты исследования подтверждены полученными показателями прочностных, жаропрочных и огневых характеристик.

3. Исследовано влияние температурно-временных параметров закалки и старения на структуру и свойства литейного магниевых сплава Mg-Zn-Zr-Gd-Nd-Y. Исследования включали, в том числе, моделирование, а также анализ дифференциальной сканирующей калориметрией, что позволило установить максимально упрочняющие систему параметры термической обработки, которые в дальнейшем подтвердились повышенными прочностными и жаропрочными свойствами.

4. Проведенные металлографические исследования позволили установить ряд механизмов, позволяющих описать структурные особенности, обуславливающие достижение характеристик, превосходящих серийные и зарубежные магниевые сплавы.

Полученные результаты соответствуют пп. 1 «Изучение взаимосвязи химического и фазового составов (характеризуемых различными типами диаграмм, в том числе диаграммами состояния) с физическими, механиче-



скими, химическими и другими свойствами сплавов»; 2 «Теоретические и экспериментальные исследования фазовых и структурных превращений в металлах и сплавах, происходящих при различных внешних воздействиях, включая технологические воздействия, и влияние сварочного цикла на металл зоны термического влияния, их моделирование и прогнозирование»; 8 «Исследование работоспособности металлов и сплавов в различных условиях, выбор и рекомендация наиболее экономичных и надежных металлических материалов для конкретных технических назначений с целью сокращения металлоемкости, увеличения ресурса работы, повышения уровня заданных физических и химических характеристик деталей машин, механизмов, приборов и конструкций» паспорта специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

### **Практическая значимость**

Практическую значимость можно оценить несколькими критериями. Во-первых, разработанные на основании проведенных исследований пожаробезопасный и жаропрочный литейные магниевые сплавы обладают очевидными преимуществами перед серийными магниевыми сплавами МЛ10, МЛ19. Проведенная общая квалификация, выпущенные паспорта на материалы, без которых сплавы не могут эксплуатироваться в авиационной отрасли, выпущенная нормативная документация, содержащая режимы термической обработки и опробованная в опытно-промышленном производстве на предприятиях АО АК «Рубин» и АО «МКБ «Факел», являются основными показателями практической реализуемости разработок. Во-вторых, разработанные методики огневых испытаний позволяют повысить безопасность эксплуатации магниевых сплавов путем определения таких характеристик, как температура воспламенения, время остаточного горения. До настоящего времени аналогичные методики использовались только за рубежом. В-третьих, предложенные автором регрессионные математические модели прогнозирования двух основных характеристик, таких как временное сопротивление и предел текучести, позволят проводить предварительные работы по оптимизации состава с целью наиболее эффективного достижения свойств и снижения экономических и трудовых затрат на проводимые практические экспериментальные работы.

Приоритет разработанных технических решений подтвержден публикациями в рецензируемых изданиях, докладами на международных и российских конференциях, а также актом опытно-промышленной апробации в производственных условиях.



### **Обоснованность и степень достоверности полученных результатов**

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, подтверждается: последовательным решением логически взаимосвязанного комплекса задач, обеспечивающих достижение цели исследования; тщательным и глубоким исследованием теоретических и практических аспектов металловедения магниевых сплавов; результатами апробации предложенных автором сплавов; большим объемом экспериментального материала, полученного в лабораторных условиях с применением современных методик исследований, современных методов статистической обработки результатов; сопоставлением полученных результатов с данными других исследователей; эффективностью предложенных технических и технологических решений, подтвержденных результатами промышленных испытаний и внедрением в производство.

### **Подтверждение основных результатов диссертации в научной печати**

Основные результаты диссертационного исследования опубликованы в 10 научных работах, в том числе 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 2 патента РФ, и неоднократно обсуждались на российских 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 двигателестроения при проектировании и производстве деталей и узлов, эксплуатируемым при повышенных температурах, и где важна весовая эффективность.

Разработанный в работе комплекс теоретических, технических и технологических решений необходимо использовать при подготовке бакалавров



и магистров по направлениям 22.03.01 и 22.04.02 «Материаловедение и технологии материалов», а также аспирантов по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

### **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 практической значимости работы отмечено, что на основании проведенных исследований была разработана нормативная документация (ТР, ТИ) на плавку, литье разработанных сплавов и изготовление отливок из них, в которой содержатся как правило параметры плавки. При этом в самой работе какие-либо исследования, посвященные данному направлению, отсутствуют.

2. В работе не показаны показатели времени остаточного горения, методика определения которой автором разработана, описана и внесена в практическую значимость, также не описан характер изменений, происходящих с магниевым сплавом после огневых испытаний.

3. В разделе 3.1 на основании теоретических и экспериментальных исследований автором выбрана композиция №3 для проведения дальнейших исследований, содержащая в своем составе иттрий, неодим и гадолиний, а также добавку церия. В дальнейших исследованиях роль церия не отражена.

4. Отсутствует пояснение, почему выбрано только одно время закалки в условиях различных температур, приведенных в таблице 17 раздела 3.4.

5. Целью работы является разработка нового поколения литейных магниевых сплавов, при этом при проведении исследований автором рассматривается только структура и комплекс физико-механических и эксплуатационных свойств, технологические же параметры не изучаются. Оказывает ли рассмотренное автором влияние легирования редкоземельными элементами, например, на жидкотекучесть?

6. В описании структуры и объема диссертации в автореферате указано, что работа состоит из трех глав. На самом деле в диссертации четыре главы. Описания результатов четвертой главы в автореферате не приводится.

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 Леонова Александра Андреевича представляет собой законченную, самостоятельно выполненную, научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований решена актуальная научно-техническая задача, имеющая важное хозяйственное значение – разработаны новые магниевые сплавы, обладающие преимуществами перед серийными магниевыми сплавами.

Научная ценность работы определяется новизной результатов, полученных во время проведения теоретических и экспериментальных исследований закономерностей формирования структуры и свойств при комплексном легировании редкоземельными элементами магниевых сплавов – разработаны пожаробезопасный и жаропрочный литейные магниевые сплавы, выпущены паспорта и нормативная документация, содержащая режимы термической обработки.

Достоверность изложенных в диссертации результатов подтверждается использованием современных методик исследования, применением статистической обработки и опробованием в условиях действующего производства.

Количество и качество публикаций Леонова А.А. 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.

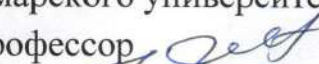
Все перечисленное дает основания считать, что представленная диссертационная работа Леонова А.А., несмотря на отдельные замечания не принципиального характера, соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 11.09.2021 г.). Автор диссертации, Леонов Александр Андреевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.


Отзыв на кандидатскую диссертацию Леонова Александра Андреевича на тему «Литейные магниевые сплавы системы Mg-PЗЭ-Zr с повышенной температурой воспламенения» подготовил профессор кафедры 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 №2 от 24.10.2023 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 Леонова А.А. и их дальнейшую обработку.

Заведующий кафедрой обработки  
металлов давлением Самарского университета,  
академик РАН, д.т.н., профессор  Гречников Федор Васильевич

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

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: gretch@ssau.ru