

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 31.1.002.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИТАРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ»
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА «КУРЧАТОВСКИЙ
ИНСТИТУТ (НИЦ «КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ» - ВИАМ), РОССИЙСКАЯ
ФЕДЕРАЦИЯ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «25» апреля 2025 г. №5

О присуждении Акининой Марии Владимировне, гражданке Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка и исследование деформируемого магниевового сплава системы Mg-Zn-Zr-PЗЭ (Y, Nd, La) с повышенным уровнем прочностных и жаропрочных характеристик» по научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов принята к защите «21» марта 2025 г. (протокол заседания № 3) диссертационным советом 31.1.002.01, созданным на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация, 105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17, приказ Минобрнауки России от 24.10.2022 г. № 1363/нк «О выдаче разрешения на создание совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт».

Соискатель Акинина Мария Владимировна, «07» марта 1989 года рождения.

В 2011 году соискатель окончила федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по специальности «Литейное производство черных и цветных металлов», в 2024 году окончила аспирантуру федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» по научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов (технические науки). . Акинина М.В. работает начальником сектора лаборатории № 624 «Магниево- и литейные алюминиевые сплавы» в НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ. Российская Федерация.

Диссертация выполнена в лаборатории № 624 «Магниево- и литейные алюминиевые сплавы» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Волкова Екатерина Федоровна, главный научный сотрудник лаборатории № 624 «Магниево- и литейные алюминиевые сплавы» федерального государственного унитарного предприятия «Всероссийский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Российская Федерация.

Официальные оппоненты:

Овчинников Виктор Васильевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Московский Политехнический университет», заведующий кафедрой «Материаловедение»;

Ашмарин Артём Александрович, кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук, ведущий научный сотрудник лаборатории новых технологий металлических и керамических материалов

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет, г. Самара) в своем положительном отзыве, подписанном Ерисовым Ярославом Александровичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой обработки металлов давлением, Носовой Екатериной Александровной, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой технологий металлов и авиационного материаловедения и утвержденном Владимиром Дмитриевичем Богатыревым, доктором экономических наук, профессором, ректором Самарского университета указала, что в работе Акининой Марии Владимировны 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.

Представленная диссертационная работа соответствует критериям, установленным п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2025), а ее автор, Акинина Мария Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата

технических наук по специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Соискатель имеет 36 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 8 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 4 работы и 1 патент Российской Федерации.

В опубликованных работах содержатся основные научные и практические результаты, изложенные в диссертационной работе соискателя.

Все работы выполнены в соавторстве, личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в постановке задач, проведении экспериментальных исследований, сборе и интерпретации данных, разработке научно-технической документации.

Наиболее значительные работы:

1. Акинина М.В., Мостяев И.В., Волкова Е.Ф., Алиханян А.А. Сравнительные исследования структуры, особенностей фазового состава и механических свойств деформированных полуфабрикатов из магниевого сплава ВМД16 // Авиационные материалы и технологии, электрон. науч.-технич. журн. 2022. № 4 (69). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-36-50.

2. Карачевцев Ф.Н., Ерошкин С.Г., Мостяев И.В., Акинина М.В., Славин А.В. Разработка стандартных образцов состава магниевых сплавов марок ВМЛ20 и ВМД16 // Труды ВИАМ, электрон. науч.-технич. журн. 2021. № 5 (99). Ст. 04. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI:10.18577/2307-6046- 2021-0-5-39-47.

3. Волкова Е.Ф., Дуюнова В.А., Мостяев И.В., Акинина М.В. Закономерности формирования и особенности влияния тонкой структуры на свойства магниевого сплава нового поколения // Вестник концерна ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ». 2020. № 1 (32). С. 55-63.

Публикации, индексируемые базами Web of Science и Scopus:

4. Volkova E.F., Mostyaev I.V., Akinina M.V., Alikhanyan A.A. Special features of the effect of flux-free melting on the structure and properties of magnesium alloy VMD16 in cast condition // Metal science and heat treatment. 2021. Vol. 63. № 7-8. P. 419-425.

В ходе выполнения диссертационной работы получен патент на изобретение:

Патент 2554269 Российская Федерация, МПК:C22C 23/04 Сплав на основе магния и изделие, выполненное из него / Каблов Е.Н., Антипов В.В., Волкова Е.Ф., Чекалин О.М., Акинина М.В.; заявитель и правообладатель ФГУП «ВИАМ» 2014107964/02 заявл. 03.03.2014; опубл. 27.06.15, бюл. № 18.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. Отзыв на диссертацию ведущей организации – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет). Отзыв подписан Ерисовым Ярославом Александровичем, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой обработки металлов давлением, Носовой Екатериной Александровной, доктором технических наук, доцентом, заведующим кафедрой технологий металлов и авиационного материаловедения и утвержден Владимиром Дмитриевичем Богатыревым, доктором экономических наук, профессором, ректором Самарского университета.

Отзыв обсужден и утвержден на расширенном заседании кафедры обработки металлов давлением и кафедры технологий 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. Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- 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.

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

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

- 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.

2. Отзыв на диссертацию официального оппонента – Овчинникова Виктора Васильевича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой «Материаловедение» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский Политехнический университет». Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- В п. 4.1 не приведены данные по технологическим параметрам выплавки, такие как температура и очередность введения легирующих элементов в расплав, также не указан расход защитной газовой смеси при проведении плавки по бесфлюсовой технологии.

- В п. 5.2 отсутствуют значения времени выдержки литых заготовок при нагреве под деформацию и скорости прессования.

- В работе не представлены значения механических свойств в поперечном направлении и не указана величина анизотропии прочностных свойств прутков Ø 60 мм и полос сечением 16×65 мм.

- В работе не указано подвергались ли прессованные полуфабрикаты из сплава ВМД16, изготовленные в лабораторных и промышленных условиях, правке. Если подвергались, то каким способом?

- В работе не даны пояснения за счет чего происходит изменение количества слоев и содержания цинка и иттрия в пластинах LPSO-фаз.

Сделанные замечания не снижают положительную оценку диссертационной работы Акининой М.В. и не умаляют её научной и практической ценности, работа представляет собой законченное исследование с обоснованными научными положениями и выводами.

3. Отзыв на диссертацию официального оппонента – Ашмарина Артёма Александровича, кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории новых технологий металлических и керамических материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук (ИМЕТ РАН). Отзыв положительный.

Имеются замечания:

- Известно, что большинству магниевых сплавов в деформированном состоянии присуща анизотропия свойств. Значительный разброс механических свойств в зависимости от направления испытания для конструкционных материалов является серьезным недостатком, препятствующим их дальнейшему внедрению. В диссертационной работе не рассмотрено влияние структуры и фазового состава на величину анизотропии механических свойств прессованных полуфабрикатов из сплава ВМД16.

- В работе были использованы два травителя на основе азотной кислоты с этиленгликолем и без, вызывает интерес особенности их воздействия на исследованный материал.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости диссертационной работы Акининой М.В., которая отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям по техническим наукам.

Отзывы на автореферат:

1. Публичное акционерное общество «Каменск-Уральский металлургический завод», подписан ученым секретарем научно-технического центра, кандидатом технических наук Овсянниковым Борисом Владимировичем.

Имеются замечания:

- В автореферате нигде не приводится полный химический состав сплава марки ВМД16, рекомендованного для промышленного использования;

- Вызывает сомнение связь способа защиты с содержанием железа и никеля в сплаве, т.к. защитные флюсы не являются источником железа и никеля;

- В работе приводится сравнение свойств сплава ВМД16 в горячепрессованном состоянии со свойствами других магниевых сплавов, как в горячепрессованном, так и в термообработанном (состаренном) состояниях. В тоже время не приводятся свойства сплава ВМД16 после старения.

2. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», подписан доцентом кафедры «Материаловедение и технология обработки материалов», кандидатом технических наук Лукиной Еленой Александровной.

Имеется замечание:

- В автореферате отсутствуют сведения о рекомендуемых способах защиты (покрытия для длительного хранения) прессованных полуфабрикатов из магниевого сплава ВМД16.

3. Публичное акционерное общество «Авиационный комплекс им. С.В. Ильюшина», подписан заместителем Главного конструктора ПАО «Ил» по технологичности Куликовым Владимиром Вячеславовичем.

Имеются замечания:

- Необходимо шире исследовать механические свойства сплава, в частности, предел текучести при сжатии, чувствительность к надрезу, сопротивление срезу для практической оценки работоспособности деталей;

- В работе не дано объяснений, почему жаропрочность сплава ВМД16 выше, чем у серийного жаропрочного магниевого сплава МА12.

4. Закрытое акционерное общество «Интехмаш», подписан генеральным директором, лауреатом государственной премии, доктором технических наук Панаётовым Василием Григорьевичем.

Имеются замечания:

- В автореферате не приведено сравнения характеристик разработанного сплава ВМД16 с характеристиками зарубежных аналогов;

- В автореферате при описании режимов прессования сплава ВМД16 не приведены значения времени выдержки литых заготовок при нагреве под прессование, а также скорость прессования литых заготовок.

5. Акционерное общество «Московский машиностроительный завод «Авангард», подписан начальником отдела лабораторных исследований филиала № 1, кандидатом технических наук Моисеевым Кириллом Викторовичем.

Имеются замечания:

- В автореферате указано, что химический состав крупногабаритных слитков ($\varnothing$ 365 мм, массой 135 кг) сплава ВМД16, отлитых в производственных условиях, достаточно однороден, однако не приведены данные химического анализа, которые могли бы это подтвердить;

- В автореферате не указано проводилось ли исследование макроструктуры и изломов прессованных прутка $\varnothing$ 161 мм и полосы сечением 40×310 мм, изготовленных в промышленных условиях.

6. Акционерное общество «Машиностроительное конструкторское бюро «Факел» имени академика П.Д. Грушина», подписан заместителем главного инженера – главным технологом Даниловым Сергеем Александровичем.

Имеются замечания:

- В автореферате не приведено развернутое обоснование выбора легирующих элементов, входящих в состав разработанного сплава;

- В автореферате приведены результаты определения свойств сплава ВМД16 при повышенных температурах, в частности результаты сравнительных испытаний на жаропрочность (определение длительной прочности и ползучести, соответственно) с серийным сплавом МА12, но не указано за счет чего достигается такое повышение прочностных свойств сплава ВМД16 в широком интервале температур.

7. Акционерное общество «Объединенная двигателестроительная корпорация» «Омское моторостроительное объединение имени П.И. Баранова», подписан главным инженером Садовниковым Сергеем Александровичем.

Замечания отсутствуют.

8. Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики», подписан главным конструктором Портновым Борисом Исааковичем.

Имеются замечания:

- В автореферате отсутствует информация об используемом оборудовании для изготовления слитков и прессованных полуфабрикатов из сплава ВМД16;

- В автореферате приведены результаты испытаний по определению средней скорости коррозии образцов из слитков сплава ВМД16, однако не указано проводились ли коррозионные испытания образцов из прессованных полуфабрикатов и результаты данных испытаний.

9. Общество с ограниченной ответственностью «АВАНГАРД-ЛИТ», подписан генеральным директором, кандидатом технических наук, доцентом Бобрышевым Борисом Леонидовичем.

Имеются замечания:

- Научная новизна изложена по отношению к названию цели работы недостаточно подробно. В п. 1 научной новизны следовало бы особенно выделить, что синергетический эффект от совместного легирования РЗЭ разных групп был практически подтвержден автором впервые;

- В главе 4, в разделе, посвященном выбору композиции ГЗС, следовало бы указать ее количественный состав. Также не ясно, почему предпочтение было отдано ГЗС аргон-элегаз, а не композиции гелий-элегаз.

10. Акционерное общество «Московский машиностроительный завод «Авангард», подписан первым заместителем главного металлурга Кучумовым Виталием Владимировичем.

Имеется замечание:

- Автором представлены сравнительные прочностные характеристики только с серийным жаропрочным материалом МА12. Для более полного понимания всех

преимуществ нового материала ВМД16 перед ранее разработанными и используемыми материалами в авиационной промышленности требуется более большой перечень сравниваемых материалов того же класса.

11. Акционерное общество «Национальный центр вертолетостроения им. М.Л. Миля и Н.А. Камова», подписан Начальником управления ФКИТП АО «НЦВ Миль и Камов», кандидатом технических наук Слизовым Александром Кузьмичем.

Имеется замечание:

- В качестве основного замечания следует отметить отсутствие исследований и показателей коррозионной стойкости разработанного сплава ВМД16, ввиду того, что пониженную коррозионную стойкость относят к основным недостаткам магниевых сплавов.

Все отзывы носят положительный характер. В отзывах отмечено, что диссертационная работа является завершенной, самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой в области исследования полуфабрикатов из деформируемых магниевых сплавов. Работа соответствует требованиям и критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, предъявленным к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а ее автор, Акинина Мария Владимировна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

- доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский Политехнический университет» Овчинников Виктор Васильевич - автор более 400 научных трудов и является одним из ведущих отечественных ученых в области материаловедения легких сплавов. Под руководством и при непосредственном участии Овчинникова В.В. выполнен большой объем научно-исследовательских работ по разработке и исследованию свойств легких сплавов. Результаты

проведенных исследований изложены в статьях ведущих российских и зарубежных изданий, а также представлены на международных научно-практических конференциях;

- кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории новых технологий металлических и керамических материалов федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук Ашмарин Артём Александрович является специалистом в области материаловедения металлических материалов, в том числе на магниевой основе. При непосредственном участии Ашмарина А.А. выполнен большой объем исследований технологий и свойств металлических материалов и опубликовано более 200 научных трудов. Ашмарин А.А. активно принимает участие в научно-технических конференциях;

- Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» является ведущим образовательным учреждением России в области материалов и технологий авиационно-космической, металлургической, машиностроительной и других отраслей промышленности. Отзыв на диссертационную работу был подготовлен и подписан учеными, которые непосредственно занимаются вопросами обработки металлов давлением (заведующим кафедрой обработки металлов давлением Самарского университета, доктором технических наук, доцентом Ерисовым Ярославом Александровичем) и вопросами авиационного материаловедения (заведующим кафедрой технологий металлов и авиационного материаловедения, доктором технических наук, доцентом Носовой Екатериной Александровной).

Список основных публикаций сотрудников ведущей организации за последние 5 лет:

1. Nosova, E.A. Application of the Entropy Approach for Analyzing the D16 Alloy Aging Stages / Nosova E.A. // Metal science and heat treatment 2020. Vol. 62. Issue 5-6. P. 376-379.

2. Гречников, Ф.В. Разработка реологической модели горячей деформации на примере алюминиево-литиевых сплавов 1424 и В-1461 / Гречников Ф.В., Ерисов Я.А., Сурудин С.В., Разживин В.А. // Известия вузов. Цветная металлургия. 2020. № 6. С. 44-51.

3. Khaimovich, A.I. Heat Propagation in Deformable Polycrystalline Metals with Grain-Size Variation / Khaimovich A.I., Bobrovskii N.M., Luk'yanov A.A. etc. // Russian Engineering Research 2020. Vol. 40. Issue 11. P. 966-969.

4. Никитин, В.И. Наследственное влияние структуры шихты и обработки расплава на свойства и деформируемость заэвтектических силуминов / В.И. Никитин, Д.Г. Черников, К.В. Никитин и др. // Литейное производство. 2021. № 6. С. 6-12.

5. Khaimovich, A. Interface quality indices of Al-10Si-Mg aluminum alloy and Cr18-Ni10-Ti stainless-steel bimetal fabricated via selective laser melting / Khaimovich A., Erisov Y., Smelov V. etc. // Metals 2021. Vol. 11. Issue 1. P. 1-16.

6. Grechnikov, F.V. Development of a Rheological Model of Hot Deformation as Exemplified by 1424 and B-1461 Aluminum Lithium Alloys / F.V. Grechnikov, Y.A. Erisov, S.V. Surudin, V.A. Razzhivin. // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. 2021. Vol. 62, No. 1. P. 48-53.

7. Aryshenskii, V. Alloying Elements Effect on the Recrystallization Process in Magnesium-Rich Aluminum Alloy / F. Grechnikov, E. Aryshenskii, Ya. Erisov, S. Konovalov, M. Tepterev, A. Kuzin. // Materials, 2022 - Vol. 15 - 15(20):7062.

8. Носова, Е.А. Исследование искажений кристаллической решетки в твердом растворе алюминиевого сплава Д16 (AA2024) после отжига и старения / Носова Е.А., Амосов А.П. // Ползуновский вестник. 2022. Т. 2. № 4. С. 125-132.

9. Khaimovich, A. Research on Cracked Conditions in Nickel Chrome Alloy Ni50Cr33W4.5Mo2.8TiAlNb, Obtained by Direct Laser Deposition / Khaimovich A., Shishkovsky I., Erisov Y. etc. // Metals 2022. Vol. 12. Issue 11. № 11.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработан химический состав высокопрочного жаропрочного деформируемого магниевого сплава марки ВМД16 с температурой эксплуатации длительно до 200 °С и кратковременно до 300 °С, обеспечивающий получение высокого уровня прочностных и жаропрочных характеристик прессованных полуфабрикатов (прутки, полосы) из него;

- выявлены особенности влияния применения защитной газовой атмосферы при плавке на структуру, механические и коррозионные характеристики слитков сплава ВМД16;

- выявлены особенности влияния гомогенизационного отжига на структуру слитков сплава ВМД16;

- выявлены особенности влияния технологических параметров прессования и рекристаллизационного отжига на структуру и механические свойства прутков и полос из сплава ВМД16;

- впервые определено структурно-фазовое состояние слитков, прессованных прутков и полос из сплава ВМД16, обеспечивающее достижение повышенного уровня прочностных свойств в широком интервале температур;

- впервые на примере отечественного деформируемого магниевого сплава ВМД16 доказан факт зарождения нанодисперсных длинопериодных LPSO-фаз в литом состоянии и дальнейшее их сохранение в термообработанном и деформированном состояниях;

- разработаны технологические параметры плавки, литья и прессования сплава ВМД16.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- установленные особенности влияния технологических параметров плавки, термической обработки и деформации (прессования) на структуру, фазовый состав, прочностные и жаропрочные характеристики деформируемого магниевого сплава ВМД16 могут быть использованы при разработке новых технологий выплавки и деформации, в том числе крупногабаритных слитков и полуфабрикатов из магниевых сплавов, и создании новых композиций высокопрочных и жаропрочных деформируемых магниевых сплавов системы Mg-Zn-Zr, легированных редкоземельными элементами.

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

- разработан и защищен патентом на изобретение RU 2554269 химический состав высокопрочного жаропрочного магниевого сплава марки ВМД16;

- выбран состав защитной газовой атмосферы при проведении бесфлюсовой плавки, обеспечивающий достижение наименьшей скорости коррозии в условиях атмосферы и более высоких значений механических свойств слитков магниевого сплава ВМД16;

- разработан режим гомогенизационного отжига слитков магниевого сплава ВМД16, обеспечивающий получение благоприятной морфологии и топологии фаз для проведения последующей деформации – прессования;

- определены температурные параметры прессования магниевого сплава ВМД16 при изготовлении прутков и полос, обеспечивающие достижение требуемых прочностных характеристик;

- разработанные технологии изготовления слитков, прессованных полуфабрикатов из магниевого сплава ВМД16 оформлены комплектом нормативной документации: технологическая рекомендация ТР 1.2.2828-2020 «Бесфлюсовая плавка и литье слитков из жаропрочного магниевого сплава марки ВМД16»; технологическая инструкция ТИ 303.85.0647-13 «Полоса, прутки прессованные из магниевого сплава ВМД16. Изготовление (опытная партия)»; технические условия ТУ 1-804-531-2013 «Прессованные полуфабрикаты (полоса, прутки) из магниевого сплава марки ВМД16»;

- проведена общая квалификация (паспортизация) прессованных полуфабрикатов из магниевого сплава ВМД16, по результатам которой разработан паспорт на высокопрочный жаропрочный магниевый сплав марки ВМД16.

Оценка достоверности результатов выявила:

- большой статистически значимый объем проведенных экспериментов и полученных с применением современного аттестованного оборудования данных подтверждает справедливость формулируемых соискателем выводов;

- соискателем выстроена грамотная последовательность действий при проведении исследований.

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных данных по теме исследования, постановке цели и задач исследования, планировании и проведении экспериментов, выборе методов исследования, в разработке экспериментальных композиций, выборе состава нового деформируемого высокопрочного жаропрочного магниевого сплава ВМД16, в разработке и выборе технологических параметров выплавки слитков и прессования полуфабрикатов, анализе полученных результатов исследований структуры и механических характеристик изготовленных слитков и полуфабрикатов из сплава ВМД16, разработке и оформлении нормативно-технической документации, подготовке публикаций и представлении результатов работы на научных конференциях.

Акинина М.В. непосредственно участвовала в разработке технологий изготовления слитков и прессованных полуфабрикатов из сплава ВМД16, в том числе на промышленных предприятиях ООО «СОМЗ» и ПАО «КУМЗ», а также в разработке паспорта на сплав ВМД16.

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

1. За счет чего при легировании данного магниевого сплава редкоземельными элементами был получен максимальный уровень свойств?
2. За счет чего происходит упрочнение матрицы разработанного сплава?
3. Как видно из графика, представленного на слайде 7, лантан не оказывает влияния на прочностные характеристики магниевого сплава. В чём был смысл легирования данного сплава лантаном?
4. Что представляет собой эвтектика разработанного магниевого сплава и какие элементы входят в её состав?
5. Чем объясняется различие по содержанию железа в сплаве после проведения плавки в защитной среде аргон - гексафторид серы и гелий - гексафторид серы?
6. За счет чего происходит изменение количества слоев и содержания цинка и иттрия в пластинах LPSO-фаз?
7. 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.

8. В работе не представлены значения механических свойств в поперечном направлении и не указана величина анизотропии прочностных свойств прутков Ø 60 мм и полос сечением 16×65 мм.

Соискатель Акинина М.В. согласилась с замечаниями в ходе обсуждения работы и в ответах на вопросы привела собственную аргументацию:

1. Легирование сплава системы Mg-Zn-Zr такими редкоземельными элементами как иттрий, лантан и неодим привело к формированию в нём интерметаллидных и эвтектических фаз, а также в сплаве образуются термостабильные LPSO-фазы и циркониды цинка, что в совокупности привело к повышению свойств данного сплава.

2. Матрицу сплава упрочняют содержащиеся в ней частицы термостабильных интерметаллидов – цирконидов цинка и LPSO-фазы, которые представляют собой пластинчатые выделения наноразмеров, пронизывающие объем каждого зерна и таким образом составляющие упрочняющую «сетку» внутри матрицы сплава, а также растворение самих легирующих редкоземельных элементов в матрице сплава.

3. Легирование лантаном привело к повышению пластичности и жаропрочности магниевых сплавов.

4. Основная фаза, входящая в состав эвтектики была определена как $(\text{Mg,Zn})_5\text{Y}$, но у разработанного сплава есть особенность, что на поверхности этой фазы располагаются ещё частицы интерметаллидов, обогащенные неодимом и лантаном.

5. В сплаве содержится цирконий, который в процессе плавки активно взаимодействует с такими вредными примесями как железо, медь и никель, образуя с ними тугоплавкие соединения, выведению которых из расплава методом флотации способствует инертный газ, входящий в состав защитной среды. Вероятнее всего у аргона флотационная способность выше, чем у гелия, что и

объясняет более низкое содержание железа в сплаве после проведения плавки в защитной среде аргон - гексафторид серы.

6. Подобные изменения количества слоев и содержания элементов в пластинах LPSO-фаз предположительно можно объяснить протеканием диффузионных процессов и перераспределением атомов цинка и иттрия в них под воздействием температуры. Происходит миграция атомов цинка и иттрия из периодических слоев пластин LPSO-фаз в основной α -твердый раствор магния и обратно.

7. Натурные климатические испытания коррозионных свойств прессованных полуфабрикатов из сплава ВМД16 проводились в рамках общей квалификации в соответствии с ГОСТ 9.909 за время экспозиции 3, 6 и 9 месяцев в промышленной зоне умеренного климата (г. Москва) и в приморской зоне умеренно тёплого климата (г. Геленджик).

8. При проведении общей квалификации были проведены испытания по определению механических свойств прутков $\varnothing$ 60 мм и полос сечением 16×65 мм в поперечном направлении. Анизотропия прочностных свойств составляет от 12 до 15 %.

Соискатель указала, что все высказанные замечания будут учтены в своей дальнейшей научной работе.

В диссертационной работе все заимствованные фразы представлены со ссылками на их авторов или научно-технические источники.

На заседании «25» апреля 2025 г. диссертационный совет принял решение о том, что диссертация Акининой М.В. представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата технических наук, и принял решение присудить Акининой М.В. степень кандидата технических наук по научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов за разработку и исследование высокопрочного и жаропрочного

деформируемого магниевового сплава марки ВМД16 системы Mg-Zn-Zr-P3Э (Y, Nd, La) и технологий изготовления прессованных полуфабрикатов из него.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 4 доктора технических наук по научной специальности 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 14, против – 1, недействительных бюллетеней – нет.

Председательствующий
Заместитель председателя
диссертационного совета
д.т.н., доцент

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н.





Славин
Андрей
Вячеславович
фамилия, имя, отчество
(полностью)

Горбовец
Михаил
Александрович
фамилия, имя, отчество
(полностью)

Дата оформления заключения: «25» апреля 2025 г.