

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Бецофена Сергея Яковлевича
на диссертационную работу Леонова Александра Андреевича
«Литейные магниевые сплавы системы Mg-PЗЭ-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

I. Общая характеристика диссертационной работы

Диссертационная работа выполнена Леоновым А.А. в НИЦ «Курчатовский институт» - ВИАМ в лаборатории магниевых и литейных алюминиевых сплавов. Представленная работа состоит из введения, четырех глав: первая представлена в виде аналитического анализа современного состояния вопроса, вторая содержит описание объектов и методов исследования, третья включает в себя результаты исследования; выводов, списка использованных источников. Объем работы составляет 125 страниц, в том числе 38 рисунков и 27 таблиц.

По теме исследования опубликовано 10 печатных работ, 6 из которых – в рецензируемых и рекомендованных ВАК журналах, а также выпущен акт изготовления в условиях АО «МКБ «Факел».

Введение включает в себя актуальность работы, сформулированные цель и задачи, выявленную научную новизну, практическую ценность работы, положения, выносимые на защиту, личный вклад автора, а также апробацию результатов работы.

Первая глава «Литературный обзор» направлена на анализ мировых разработок по теме исследования, установление и описание тех факторов, которые влияют на основные процессы, протекающие при разработке магниевых сплавов. Автор формулирует основные проблемы, цели и задачи исследований.

Во второй главе «Методика экспериментальных исследований» описаны используемые материалы и способ их изготовления, описаны методы исследования.

В третьей главе «Исследование закономерностей формирования структуры и свойств при комплексном легировании редкоземельными элементами магниевых сплавов системы Mg-PЗЭ-Zr с повышенной температурой воспламенения» приведены основные научные результаты исследования. В работе приведен анализ влияния концентрации редкоземельных элементов (далее PЗЭ) (итрий, гадолиний, неодим) на структуру и свойства экспериментальных композиций. Для этого используются различные методы, такие как моделирование, металлографический и рентгеноструктурный анализ, просвечивающая электронная микроскопия, испытания на прочностные, жаропрочные и огневые свойства. В результате исследования установлена оптимальная концентрация PЗЭ, при которой достигается наилучшее соотношение

свойств. На основе набора большого объема статистических данных, полученных при проведении исследований, разработаны регрессионные математические модели прогнозирования временного сопротивления и предела текучести. Выявлены особенности фазового состава и структуры в зависимости от режимов термической обработки, которые позволили установить последовательность фазовых превращений. Разработаны методики огневых испытаний, которые позволяют определить две важные характеристики: температуру воспламенения и время остаточного горения. Каждый подраздел начинается кратким введением и завершается выводами и направлением дальнейшего исследования.

II. Актуальность исследований диссертационной работы

В последнее время проводится большое количество исследований, посвященных магниевым сплавам, в частности, содержащим в своем составе редкоземельные элементы. Это подтверждено большим количеством патентов, публикаций. Магниевые сплавы, легированные РЗЭ, в отличие от системы с алюминием, отличаются значительно более многообразными структурными особенностями, которые непосредственно зависят от таких факторов, как легирующие элементы, параметры термической обработки, которые в совокупности могут позволить значительно увеличить эксплуатационные характеристики, при этом воздействие того или иного фактора может приводить к значительным изменениям. Следует учитывать, что повышение содержания РЗЭ в составе магниевого сплава имеет и обратную сторону – это может привести к потере основного преимущества магниевых сплавов, а именно плотности. В связи с этим актуальной является задача разработки состава магниевых сплавов с оптимальным содержанием РЗЭ и имеющих высокие удельные характеристики. При этом влияние термической обработки, несомненно, и является основным путем значительного упрочнения.

В представленной диссертационной работе Леонова А.А. детально рассматриваются аспекты структурных превращений и даются рекомендации по оптимизации состава и режимов термической обработки. На основании этого тему диссертационной работы считаю актуальной и практически востребованной.

III. Научная новизна, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

К наиболее значимым научным результатам следует отнести роль интерметаллидных соединений, их характер и механизм образования в литейном магниевом сплаве системы Mg-РЗЭ-Zr. Автором доказана возможность дальнейшего упрочнения магниевых сплавов за счет метастабильных фаз β типа и LPSO фаз. Многообразие таких фаз автором доказано в проведенных исследованиях с использованием современных методов исследования, в особенности просвечивающей электронной микроскопии.

Показана эффективность интерметаллидных соединений на основе циркония, которые, с одной стороны, могут выполнять роль модификатора, а

с другой – являются нежелательными в механизме формирования метастабильных упрочняющих нанодисперсных фаз β типа, обуславливающими их гетерогенный рост.

Как отмечено ранее, обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечивается комплексным всесторонним подходом с использованием современных методов и оборудования при проведении металлографических исследований, моделировании фазовых превращений. Подтверждением также является объем проведенных исследований и полученных данных.

IV. Практическая значимость полученных результатов

Проведенные автором исследования определили полученные значимые практические результаты, которые сформулированы в патентах и рекомендациях к получению новых магниевых сплавов и их термической обработке. Разработанные при проведении исследований магниевые сплавы обладают очевидным превосходством перед серийными магниевыми сплавами МЛ5, МЛ10, МЛ19 и могут позволить расширить область применения, в том числе при замене ряда деталей из традиционных сплавов (алюминиевых, титановых), в особенности в условиях эксплуатации при повышенных температурах. Для этого, в том числе, впервые в Российской Федерации разработаны методики контроля магниевых сплавов на пожароопасность.

Приведенные рекомендации получили опробование в промышленном производстве на серийном предприятии АО «МКБ «Факел», выпускающем магниевую продукцию.

V. Список замечаний по диссертации

1. В работе исследования методом ПЭМ ограничены старением при 220 °С в течение 10 часов, что не позволяет оценить соотношение метастабильных фаз β типа в сплаве в зависимости от температуры и времени старения и более надежно обосновать оптимальные условия упрочняющей обработки.
2. Результаты сравнительных огневых испытаний сплава системы Mg-Y-Nd-Gd-Zn-Zr и серийного магниевого сплава МЛ10 показали, что преимущество разрабатываемого сплава с РЗМ в значительной степени определяется образованием защитной окисной пленки, которая в отличие от МЛ10 предотвращает взаимодействие металла с кислородом, к сожалению в работе отсутствуют исследования защитной пленки в зависимости от состава сплава.
3. В работе исследовали структуру сплавов на трех структурных уровнях, металлографическом, рентгеноструктурном и ПЭМ, при этом предложен оригинальный количественный критерий эффективности упрочняющей термообработки на основании снижения интенсивности отражений от крупных интерметаллидов за счет увеличения доли рентгеноаморфной составляющей, которую затем тщательно исследовали методами ПЭМ, желательно в будущем найти количественные корреляции служебных

свойств с соотношением нанокристаллических неравновесных метастабильных фаз типа β и LPSO.

4. Следовало бы уточнить причину выбора для проведения исследований температур закалки 540 и 560 °С, в то время, как ДСК анализ и моделирование показали температуру плавления эвтектики 520-533 °С.

5. Имеются ошибки и неточности в тексте, например, на стр. 90 ошибочно приведена ссылка на рис.20, тогда как это рис.25.

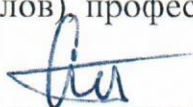
Указанные замечания носят уточняющий и рекомендательный характер, не влияют на основные теоретические и практические результаты диссертационного исследования и не снижают общую положительную оценку работы

VI. Заключение

Диссертация Леонова А.А. выполнена на актуальную тему, ее результаты прошли апробацию на профильных научных конференциях, опубликованы в высокорейтинговых изданиях, содержит новые и важные в научном и практическом плане результаты, автореферат и опубликованные работы отражают ее основное содержание.

Диссертационная работа Леонова А.А. полностью соответствует требованиям п.9, предъявляемым к кандидатским диссертациям в Положении о присуждении учёных степеней, утверждённом постановлением Правительством РФ №842 от 24.09.2013 г., а ее автор Леонов Александр Андреевич – заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Официальный оппонент, профессор кафедры «Технологии и системы автоматизированного проектирования металлургических процессов», доктор технических наук (по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов), профессор



Бецофен Сергей Яковлевич
«04» ноября 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»

Почтовый адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4

Тел. 8(910)459-95-25

e-mail: s.betsofen@gmail.com

Подпись Бецофена С.Я. удостоверяю

