



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN
FEDERAL
UNIVERSITY

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край,
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-86-25
<http://www.sfu-kras.ru>, e-mail: office@sfu-kras.ru

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;
ИНН/КПП 2463011853/246301001

«УТВЕРЖДАЮ»

Врио проректора по научной
работе

Казаков В.С.

2025 г.



№ _____
на № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу

Наумовой Евгении Александровны на тему «Разработка научных основ легирования алюминиевых сплавов эвтектического типа кальцием», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Актуальность работы

Повышение требований к энерго- и ресурсосбережению, снижению весовых характеристик техники при сохранении эксплуатационных свойств обуславливает актуальность замены сплавов на основе тяжелых металлов (в частности, железа и меди) на легкие сплавы, прежде всего, на основе алюминия. Увеличение доли российской алюминиевой продукции на внутреннем и внешнем рынках является крупной народно-хозяйственной задачей, а для ее решения необходимо создание новых конструкционных материалов на основе алюминиевых сплавов с улучшенным комплексом эксплуатационных, технологических и экономических показателей.

Промышленные сплавы, в которых основными легирующими элементами являются кремний, медь, магний и цинк, в значительной мере, исчерпали ресурс существенного улучшения требуемых свойств. В диссертации Наумовой Е.А. предложены принципиально новые сплавы, основой которых является система Al-Si. До недавнего времени кальций, являясь одним из самых распространенных в природе металлов, практически

не использовался для легирования алюминиевых сплавов. Поэтому исследование закономерностей применения кальция как основного легирующего элемента алюминиевых сплавов определяет **актуальность** и фундаментальный уровень диссертационной работы Наумовой Е.А.

С учетом больших сырьевых запасов кальция и возможности использовать имеющееся серийное оборудование продвижение новых сплавов предполагает рост объема потребления алюминия, что в настоящее время представляет одну из приоритетных народнохозяйственных задач.

Общая характеристика работы

Диссертация Е.А. Наумовой состоит из введения, шести глав, выводов и 2 приложений; содержит 296 страниц, 185 рисунков, 81 таблицу. Список литературы содержит 210 источников.

Автор проанализировала с помощью проведения расчетов и экспериментов целый ряд тройных и более сложных диаграмм состояния в области, богатой алюминием, тщательно исследовала фазовый состав и структуру более чем 120 сплавов. Было установлено наличие тройных соединений, ранее не зафиксированных в рентгеновских базах данных, а также сложное перераспределение компонентов между алюминиевым твердым раствором и фазой Al_4Ca . Показана высокая технологичность ряда исследованных сплавов в процессах литья, горячей и холодной пластической деформации, что позволило разработать несколько деформируемых сплавов с многофазной композитной структурой. В исследовании Наумовой Е.А. установлена возможность упрочнения алюминиевого твердого раствора в алюминиево-кальциевых сплавах добавками скандия и циркония, как отдельно, так и совместно без использования закалки. Это может позволить заметно сократить время и затраты на производство изделий из предложенных сплавов. Показана возможность управления свойствами эвтектических сплавов за счет изменения количества интерметаллидных фаз, режимов термической и термомеханической обработок. Одним из важных достижений исследования является установление возможности получения алюминиево-кальциевых сплавов с повышенным содержанием железа и кремния, что позволяет применять для их производства алюминий дешевых марок и с использованием вторичного сырья.

Все это позволило автору на основании установленных закономерностей перераспределения легирующих элементов между фазами в алюминиево-кальциевых сплавах и формирования их структуры

сформулировать принципы легирования, позволяющие получать сплавы с заданными свойствами. На основании полученных закономерностей влияния состава, параметров литья, термической и деформационной обработок сформулированы общие технологические рекомендации для получения фасонных отливок и деформированных полуфабрикатов из высокопрочных, легких коррозионностойких и сплавов с «композитной» структурой.

Достоинством диссертационной работы Наумовой Е.А. является то, что автору удалось убедительно показать, что можно сформировать набор «управляющих» технических решений при разработке новых алюминиевых сплавов под заданные требования.

Научная новизна. К наиболее значимым результатам диссертации Наумовой Е. А., обуславливающими ее **научную новизну**, можно отнести следующее:

- впервые обоснована возможность использования кальция, как основного легирующего элемента высокотехнологичных алюминиевых сплавов конструкционного назначения;

- сформулированы принципы разработки конструкционных алюминиевых сплавов эвтектического типа, легированных кальцием, основанных на закономерностях распределения легирующих элементов в многокомпонентных системах между алюминиевой матрицей и эвтектическими фазами;

- установлены зависимости между составом, структурой и свойствами сплавов на основе системы Al-Ca-Zn-Mg; предложены режимы термической и деформационных обработок, обеспечивающие комплекс механических свойств кальцийсодержащих сплавов на уровне высокопрочных сплавов 7xxx серии;

- получены новые научные знания построение и анализ многокомпонентных фазовых диаграмм применительно к алюминиево-кальциевым сплавам:

- установлено, что многокомпонентные алюминиево-кальциевые сплавы, содержащие до 40 % интерметаллидных фаз, после сфероидизирующего отжига приобретают структуру, характерную для композитов.

Практическая значимость состоит в следующем:

- обоснованы и предложены общие технологические рекомендации по разработке различных групп алюминиево-кальциевых сплавов;

– приведены конкретные примеры реализации разработанных принципов, в частности, на примере сплавов систем Al-Ca-Fe-Si, Al-Ca-Mn (Fe, Si) подтверждена перспективность использования кальцийсодержащих сплавов для производства фасонных отливок на серийном оборудовании, в том числе методом литья под давлением, позволяя достигать временного сопротивления в литом состоянии (без термообработки) более 200 МПа;

– обоснована возможность получения для горячекатаных листов и штампованных поковок из высокопрочных модельных сплавов системы Al-Ca-Zn-Mg прочностных свойств на уровне сплавов 7xxx серии;

– проведено опытно-промышленное опробование получения фасонных отливок, слитков и деформированных полуфабрикатов из алюминиево-кальциевых сплавов на серийном оборудовании предприятий ОК РУСАЛ, АО «Завод алюминиевых сплавов», ООО «НПЦ Магнитной гидродинамики» (г. Красноярск). Особо следует отметить научные результаты диссертанта, которые показывают, что сплавы на основе алюминиево-кальциевой эвтектики имеют потенциал для использования в аддитивных и гибридных технологиях, что, в сравнении с марочными сплавами, делает их более востребованными.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением проверенных методик исследования новых сплавов на основе изучения соответствующих диаграмм состояния с помощью расчетных (программа Thermo-Calc) и экспериментальных методов с использованием современного оборудования при проведении исследований, включающих методы оптической, сканирующей и просвечивающей электронной микроскопии, рентгеноструктурный анализ, дифференциальную сканирующую калориметрию, а также весьма значительным количеством (более 120) исследованных композиций и воспроизводимостью результатов, как в процессе экспериментов, так и в производственных условиях.

Подтверждение опубликования основных результатов исследования

Основные результаты диссертационного исследования достаточно полно представлены в публикациях в научных рецензируемых журналах, сборниках научных трудов и материалах конференций, в частности, выносимые на защиту результаты прошли апробацию более чем на 40 международных научных конференциях, отражены в 143 работах, в том числе в 46 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах из

перечня ВАК РФ, из них 19 включены в международные системы цитирования (Scopus и Web of Science), 27 - в международных системах цитирования (Scopus и Web of Science), получено 9 патентов РФ.

Личный вклад автора состоит в определении научного направления исследований, постановке задач, выполнении основного объема теоретических и экспериментальных исследований, разработке новых технических и технологических решений, интерпретации и обобщении полученных результатов, формулировке положений, рекомендаций и выводов, и написание научных статей.

Автореферат диссертации полностью отражает содержание работы. Оформление диссертационной работы отвечает установленным требованиям. Диссертация написана грамотным, доступным техническим языком.

Замечания по диссертационной работе:

1. Так как в диссертационной работе для упрочнения алюминиевого твердого раствора в исследуемых сплавах используется скандий в количестве 0,3 % возникает вопрос о целесообразности выбора такой концентрации скандия, так как это дорогостоящий компонент, который приводит к значительному удорожанию изделий из таких сплавов.

2. Использовались ли при расчетах в «ThermoCalc» его возможности по прогнозированию фазовых составов в случае неравновесной кристаллизации.

3. Из автореферата неясно, почему при исследовании сплавов Al-10% Ca-2,5% Mg-Zn диссертант рассматривает «оптимальный состав» с содержанием 10% Ca, когда из диаграммы видно, что это сплавы находятся в заэвтектической области.

4. В диссертации говорится о получении автором слитка промышленного размера из сплава системы Al-Ca-Fe-Si-Zr-Sc, но непонятно, был ли это разовый эксперимент или уже существует массовое производство таких слитков.

5. В разделах диссертации, посвященных разработке новых сплавов, не прослеживаются закономерности формирования структуры и свойств деформированных полуфабрикатов в зависимости от степени деформации.

Рекомендации по использованию результатов диссертации.

Результаты диссертационной работы рекомендуется использовать при получении чушек, отливок и деформированных полуфабрикатов на предприятиях ОК РУСАЛ и других предприятиях алюминиевой отрасли, а

также внедрять в учебный процесс в НИТУ МИСИС, МГТУ СТАНКИН, Московский политех и других технических ВУЗах.

Заключение

Представленное Е.А. Наумовой диссертационное исследование выполнено на высоком научно-техническом уровне, является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой предложены принципы легирования сплавов на основе алюминиево-кальциевой эвтектики и технологические рекомендации по получению фасонных отливок и деформированных полуфабрикатов из них.

По научному уровню и полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 25.01.2024), а ее автор Наумова Евгения Александровна, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Отзыв рассмотрен и утвержден на расширенном заседании кафедры «Металловедение и термическая обработка металлов имени В.С. Биронта», протокол № 7 от «05» июня 2025 года. На заседании присутствовало 12 членов. Результаты голосования: «за» – 12, «против» – нет, воздержавшихся – нет.

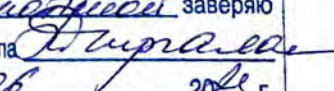
Доктор химических наук,
профессор


Жереб Владимир Павлович

Врио кафедры МиТОМ,
к.т.н., доцент

Лопатина Екатерина Сергеевна



ФГАОУ ВО СФУ
подпись  заверяю
начальник общего отдела 
10 06 2025 г.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: office@sfu-kras.ru, тел. +7 (391) 244-82-13