

**ТАДЖИКСКИЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ШИРИНШОХ ШОТЕМУР**

УДК: 536.8:620.1:621

На правах рукописи



**АБДУХАЛИЛЗОДА Шараф Абдухалил
(АХМЕДОВ Шарафджон Абдухалилович)**

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ И
ЭВТЕКТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ СИСТЕМ АЛЮМИНИЙ –
ЛАНТАНИДЫ (В ОБЛАСТИ БОГАТЫХ ЛАНТАНИДОМ),
МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ ИЗМЕНЕНИЯ**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности
05.02.01 – Материаловедение (05.02.01.02 – машиностроительная
промышленность)**

Душанбе – 2025

Работа выполнена на кафедре электрификации и автоматизации сельского хозяйства Таджикского аграрного университета (ТАУ) имени Шириншох Шотемур.

Научный руководитель: **Бадалов Абдулхайр,**
доктор химических наук, профессор, член-корр. Национальной академии наук Таджикистана, профессор кафедры общей и неорганической химии Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Официальные оппоненты: **Назарзода Хайрулло Холназар,**
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры высшей математики и естественных наук Таджикского государственного университета коммерции

Нуров Курбонали Бозорович,
кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры экспериментальной физики Таджикского государственного педагогического университета имени С.Айни

Ведущая организация: Государственное учреждение «Научно-исследовательский институт металлургии»
ОАО «Таджикская Алюминиевая Компания»

Защита состоится «24» июня 2025 года в 9⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.KOA-028 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими по адресу: 734042, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых, 10а. E-mail: adlia69@mail.ru, тел.: 918641755.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими www.ttu.tj

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

**Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук**



Бабаяева А.Х.

ВВЕДЕНИЕ

Одними из доминирующих и рациональных направлений, для осуществления четвёртой стратегической задачи - индустриализации Республики Таджикистан, являются горнодобывающая, перерабатывающая и металлургическая отрасли химической промышленности, основанные на комплексной переработке местных природных сырьевых ресурсов, в частности, полиметаллических руд для извлечения металлов и других полезных веществ.

Актуальность темы. Создания новых материалов, в частности металлических систем, с улучшенными прикладными характеристиками, превосходящие используемых, является основой ускоренного развития научно – технического и технологического прогресса. Фундаментальные исследования характеристик компонентов и выявления их на общие свойства бинарных и поликомпонентных металлических систем являются научной основой по созданию сплавов с заданными, «запрограммированными» характеристиками.

Такие исследования для сплавов на основе алюминия с добавками лантанидов становятся особенным в связи проявлением важных конструкционных и эксплуатационных свойств, способствующие широкого применения их в современных областях промышленности.

Предметом диссертации является изучение термодинамических характеристик сплавов на основе алюминия, легированных редкоземельными металлами, в частности лантанидами, выявление их зависимость от природы и содержания добавки, установлению закономерности интерпретация свойств сплавов, которые и определяет актуальность темы работы.

Степень разработанности работы. Алюминиевые сплавы с легирующими добавками лантанидов проявляют важные, порой уникальные, прикладные характеристики и широко применяются в современных отраслях техники и технологиях.

Интересы исследователей и практиков многих стран мира привлечены к поиску рациональных методов получения новых алюминиевых сплавов с моно- и поликомпонентными добавками, изучению их характеристик. Такие исследования успешно проводятся отечественным учёными: академиком НАНТ Ганиевым И.Н. со своими учениками; д.х.н., профессором Джураевым Т.Дж. и другими.

Наличие достоверных сведений о теплофизических свойствах алюминиевых сплавов, легированных лантанидами, позволяют установить закономерности их изменения под воздействием различных внешних и внутренних факторов. Появляется возможность получения сплавов с заранее заданными, «запрограммированными» свойствами.

Связь работы с научными программами, темами.

Диссертационная работа соответствует тематическому плану НИР ТАУ им. Ш.Шотемур по теме «Разработка и усовершенствование конструкции технических средств» (от 25 февраля 2017 г., №10), Национальной стратегии развития Республики Таджикистан на период до 2030 года (от 1 декабря 2016 года, №636) и Программе развития цветной и черной металлургии в Республике Таджикистан на период до 2025 года (от 1 марта 2019 г, №93).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью настоящей работы является получение сплавов систем алюминий (Al) - лантаниды (Ln) (в области богатых лантанидом), установление кристаллической структуры, состава и механической твердости сплавов; определение энтальпии и температуры плавления интерметаллидов (ИМ), эвтектических сплавов, образующихся в системах; установление закономерности свойств в зависимости сплавов от природы и состава сплава.

Задачи диссертации заключается в решение следующем:

- получение сплавов систем Al-La, Al-Ce и Al-Pr, установление типа структуры, определение состава и механических характеристик;
- определение теплоёмкости сплавов систем Al-Pr, её температурная зависимость и по ним рассчитать термодинамические характеристики;
- механизм процесса окисления сплавов систем Al-Ce и Al-Pr и на их основе определить энергетические и кинетические характеристики;
- измерение теплового эффекта растворения сплавов в кислотах и на их основе рассчитать энтальпию образования объектов по термохимическому циклу;
- выявление и/или уточнение величин термодинамических характеристик сплавов эвтектического состава и интерметаллидов систем алюминий-лантаниды (в области богатой лантанидом);

- установление закономерности изменения теплофизических свойств сплавов и их математическое моделирование в зависимости от природы лантанидов.

Объектами исследования являются сплавы систем алюминий – лантаниды, где лантаниды - La, Ce и Pr, интерметаллиды и эвтектические сплавы, образующиеся в системах алюминий–лантаниды, богатых лантанидом, изучение их теплофизических и термодинамических характеристик.

Предмет исследования. Технология получения сплавов систем алюминий–лантаниды, в области богатых лантанидом, изучение теплофизических свойств и процесса окисления сплавов. Определение и установление закономерности изменения термических свойств сплавов от природы и содержания лантанидов, их математическое моделирование.

Методология и методы исследования. При проведении исследований применены расчётно-теоретические и экспериментальные методы изучения характеристик, полученных сплавов систем алюминий – лантаниды (лантаниды - La, Ce и Pr), интерметаллидов и эвтектических составов, богатых лантанидом.

Химический состав и структура сплавов были установлены методом сканирующего электронного микроскопа (марки SEM серии AIS-2100 (Корея) и Canon (Япония)). Твёрдость сплавов определена по стандартной методике на приборе COUPAL (Иран).

Удельная теплоемкость сплавов определена методом охлаждения, совместно с сотрудниками Таджикского национального университета. Обработка результатов экспериментов произведена с помощью программы MS Excel. Графики закономерности изменения температуры охлаждения (T) образца от времени (t): $T=f(t)$ построены по программе Sigma Plot.

Методом термогравиметрии, изучена кинетика процесса окисления сплавов. Методом калориметрии растворения с изотермической оболочкой, определена энтальпия растворения сплавов.

Системный анализ теплофизических характеристик сплавов систем алюминий – лантаниды, богатых лантанидом, проведён полуэмпирическими и расчётными методами. Математическое моделирование закономерности изменения теплофизических характеристик сплавов проведено методом регрессионного анализа.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

- установление морфологии поверхности сплавов систем алюминий-лантаниды (La, Ce и Pr), владеющая направленность, мелкодисперсность, указывающие об улучшения механических свойств;
- определение удельной теплоёмкости сплавов систем Al-Pr, её изменения от температуры зависимость и по ним рассчитать термодинамические свойства сплавов;
- определение теплоты растворения сплавов в минеральных кислотах и энтальпии образования сплавов по термохимическому циклу;
- механизм процесса окисления сплавов систем Al-Ce и Al-Pr, его кинетические и энергетические характеристики. Окисление сплавов протекает в диффузионной области. Сплавы, с добавками лантаном быстрее подвергаются коррозии, по сравнению с чистым алюминием;
- термодинамические характеристики - температура плавления и энтальпия плавления сплавов эвтектического состава (в области богатой лантанидом) и ИМ систем алюминий - лантаниды. Закономерности их изменения этих характеристик от природы лантанидов;
- уравнения закономерности изменения термодинамические характеристики – температура плавления и энтальпия плавления сплавов эвтектического состава (в области богатой лантанидом) и ИМ систем алюминий-лантаниды и их математические модели.

Теоретическая значимость работы заключается в определении:

- теплофизических свойств – удельной теплоёмкости, её температурной зависимости и термодинамических характеристик сплавов систем Al- Pr;
- кинетических, энергетических характеристиках и механизма процесса окисления сплавов систем Al-Ln (где Ln – Ce и Pr), в зависимости от природы лантанидов;
- теплофизических характеристик – температуры и энтальпии плавления эвтектик и ИМ систем Al-Ln, богатых лантанидом, закономерности их изменения, в зависимости от природы лантанидов, составлении математической модели установленных закономерностей.

Практическая значимость работы заключается в том, что полученные результаты по теплофизическим параметрам и коррозии сплавов систем Al-Ln, богатых лантанидом, имеют справочный характер и могут быть использованы при расчётах теплофизических свойств сплавов и тепловых режимов эксплуатации металлических конструкций, и изделий. Сведения о теплоте и энтальпии плавления эвтектик и ИМ систем Al-Ln, богатых лантанидом, пополняют банк термодинамических величин систем сплавов на основе алюминия новыми данными.

Математические модели, установленных закономерностей изменения теплофизических характеристик сплавов, в частности, для систем Al-Ln, являются основой для получения материалов с заранее заданными, «запрограммированными» свойствами.

Полученные результаты работы применены в ГУП «Коргохи мошинасози», Научном центре инновационных технологий и механизации сельского хозяйства ТАСХН (имеются акты внедрения).

На защиту выносятся следующие основные положения:

- результаты выявленных параметров - структура, состав и механическая характеристика сплавов систем Al-Ln, где Ln – La, Ce и Pr, их зависимость от природы и содержания легирующей добавки;
- теплоемкость сплавов систем Al- Pr, её зависимость от температуры, рассчитанные на их основе термодинамические характеристики;
- окисления сплавов систем Al-Ce и Al-Pr, определённые кинетические и энергетические характеристики процесса;
- тепловой эффект процесса растворения и величины энтальпии образования сплавов систем Al-Ce и Al-Pr;
- наиболее полные сведения по термодинамическим характеристикам – температура плавления и энтальпия плавления ИМ и эвтектик систем Al-Ln (в области богатой лантанидом);
- особенности закономерности в изменениях температуры и энтальпии плавления ИМ и сплавов эвтектического состава систем Al-Ln (в области богатой лантанидом) в зависимости от природы легирующей добавки и их математические модели.

Степень достоверности результатов исследований. Обоснованность выбора темы, результаты экспериментов и их достоверность обеспечена достаточным объемом исследованных материалов. Обработка экспериментальных данных и материалов

обеспечена применением независимых, современных прецизионных методов исследования, согласованностью результатов, также полуэмпирическими и расчётными термодинамическими методами. Сделанные выводы и предложения были получены, на основе научного и полного анализа, а также обработки теоретических, следовательно, экспериментальных материалов, с применением передовой вычислительной, техники и цифровизация.

Отрасль исследования. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.02.01 - Материаловедение (05.02.01.02 – машиностроительная промышленность). Сплавы на основе алюминия с добавками лантанидов проявляют важные эксплуатационные свойства, которые необходимы для развития современных отраслей промышленности.

Этапы исследования. Диссертационное исследование было выполнено в период 2017-2024 гг. по следующим этапам:

- изучение и анализ литературных сведений по сплавам на основе алюминия с добавками лантанидов;
- разработка способов и оптимальных условий получения сплавов алюминия с добавками лантанидов;
- определение состава и изучение теплофизических свойств полученных сплавов;
- проведение системного анализа и установление закономерности изменения теплофизических и термодинамических свойств интерметаллидов, и сплавов эвтектического состава, богатых лантанидом, в зависимости от природы лантанидов;
- разработка математической модели установленных закономерностей.

Информационная и лабораторная база исследования. Информационной базой настоящей диссертации являются научные труды – монографии, диссертации, периодические научные журналы, материалы симпозиумов, конференций и интернет портал, посвященных алюминиевым сплавам (глубина поиска более 20 лет).

Диссертационная работа выполнена на базе кафедре электрификация и автоматизация сельского хозяйства, Таджикского аграрного университета имени Ш. Шотемур. А также при проведении экспериментальных опытов было использовано лабораторная база кафедры общей и неорганической химии Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.02.01 – Материаловедение (05.02.01.02 – машиностроительная промышленность) по пунктам: 1 – Закономерности формирования структуры материалов с заданным комплексом эксплуатационных характеристик, в зависимости от их состава, механических и термических воздействий; 2 – Закономерности изменения механических, физико-химических свойств материалов и их взаимосвязь с изменением фазового и химического составов; 3 – Механизмы фазовых и структурных превращений в материалах при их получении термическим воздействием, модификации поверхностных слоев; 6 – Закономерности и критерии оценки разрушения структуры; современные методы исследования макроструктуры материалов; методы испытания и определения физико-механических и физико-химических характеристик и эксплуатационных свойств материалов; 7 – Математические модели физико-химических, гидродинамических, тепловых превращений при производстве, обработке, переработке и эксплуатации различных материалов. Компьютерный анализ и оптимизация процессов получения и эксплуатации материалов.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии на всех этапах выполнения работы: формулировки темы, в сборе, обработке и анализа литературных сведений по теме диссертации, в проведении опытов по получению и изучению теплофизических свойств сплавов систем Al-Ln, богатых лантанидом. В применении расчётных методов, обработке и анализе экспериментальных и расчётных данных, разработке математической модели закономерности изменения характеристик сплавов, составлении выводов и опубликовании материалов диссертации.

Апробация результатов исследований. Основные материалы диссертационной работы широко обсуждены на различных научных конференциях и результаты опубликованы в рецензируемых журналах. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на следующих научных конференциях:

международных: III-я научно-практическая конференция «Наука – основа инновационного развития», Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, Душанбе, 26-27.04.2018г.; научно-практическая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и учёных «Мухандис 2019», Таджикский технический университет им.

акад. М.С. Осими, Душанбе, 14-16.03.2019г.; IV-я научно-практическая конференция «Наука – основа инновационного развития», Таджикский национальный университет, Душанбе: 3-4.05.2019г.; научно-практическая конференция «Перспектива развития науки и образования», Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, Душанбе: 27-28.11.2019г.; V-я международная конференция по «Оптическим фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах», Республика Узбекистан, Фергана, 13-14.11.2020г.; научно-практическая конференция «Адаптация сельскохозяйственной отрасли к изменениям климата: проблемы и пути решения», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур, Душанбе: 23-25.10.2021г.; научно-практическая конференция «Новые достижения в области естественных наук и информационных технологий», Российско-Таджикский Славянский университет, Душанбе, 30.05.2023г.; научно-практическая конференция «Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение», Москва, 3-5.05.2024г.; научно-практическая конференция «Роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны», Душанбе, Таджикский технический университет им. акад. М.С. Осими, Душанбе, 24.05.2024г.; III-я международная конференция «Инновационное развитие науки» (ИРН-2024), Центр по исследованию инновационных технологий НАНТ, Душанбе 12-13.10.2024г..

республиканских: научно-практическая конференция «Инновационное развитие сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата: современное состояние, проблемы и пути их решения», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур, Душанбе, 30.04.2020г.; научно-практическая конференция «Роль инженерной науки в сельскохозяйственном производстве: актуальные проблемы и развитие отрасли», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур, Душанбе, 29.09.2020г.; научно-практическая конференция «Проблемы и тенденции развития точных, математических и естественных наук», Российско-Таджикский Славянский университет, Душанбе, 28.05.2024г..

Материалы диссертации применяются в учебном процессе для металлургических и машиностроительных специальностей Таджикского технического университета имени академика М.С.

Осими, на факультетах химии и физики Таджикского национального университета и на факультете механизации сельского хозяйства Таджикского аграрного университета имени Шириншох Шотемур.

Результаты работы используются в практической деятельности ГУП «Коргохи мошинасози», Научном центре инновационных технологий и механизации сельского хозяйства ТАСХН, что подтверждается соответствующими актами внедрения.

Опубликованные результаты исследования. На основании проведенного исследования и полученных результатов, по теме диссертационной работы опубликовано всего 25 научных публикаций, в том числе 9 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 2 - в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки Российской Федерации, и в материалах научных конференций различного уровня - 14.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов и списка использованной литературы, включающего 212 наименований. Изложена на 155 страницах компьютерного набора, иллюстрирована 42 рисунками и 34 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены сведения по актуальности темы диссертации, её разработанность, обоснованы цель и задачи работы, её научная новизна, теоретические и практические значения, апробации результатов и публикации материалов.

В первой главе проведен анализ литературных сведений об электронном строении минералов и способов получения лантанидов и их сплавов с алюминием. Приведены сведения о физико-химических и термодинамических свойствах ИМ систем Al-Ln, также задачи диссертации.

Во второй главе приведены сведения о методе получения сплавов Al-La, Al-Ce и Al-Pr, о применённых экспериментальных методах – сканирующем электронном микроскопе, о методах охлаждения, термогравиметрии, РФА и калориметрии растворения. Описаны расчётные и полуэмпирические методы системного анализа теплофизических характеристик сплавов.

Третья глава диссертации посвящена определению состава, морфологии поверхности и механических характеристик сплавов

систем алюминий - лантаниды (где лантаниды – лантан, церий и празеодим). Результаты измерения теплоёмкости сплавов систем алюминий – празеодим, процесса растворения сплавов алюминий – церий и алюминий – празеодим и энтальпии образования этих сплавов. Приведены результаты изучения процесса окисления сплавов и рассчитанные кинетические и энергетические характеристики.

Четвёртая глава диссертации посвящена системному анализу литературных и полученных нами значений термодинамических свойств – температура плавления и энтальпия плавления ИМ, сплавов эвтектического состава систем Al-Ln, богатой лантанидом. Закономерности в изменениях свойств сплавов в зависимости от природы лантанидов и составленные их математические.

Получение, химический состав и свойства сплавов систем Al – Ln (где Ln – La, Ce и Pr)

Сплавы получены по разработанному способу в вакуумной печи сопротивления, с соблюдением всех требований при экспериментах, состав которых установлен методом электронного микроскопа (таблица 1).

Таблица 1. – Химический состав и интенсивность линий компонентов алюминиевых сплавов, легированных лантанидов

Система	Единицы измерения	Концентрация элемента	Ошибка опыта	Интенсивность линии	Линии
Al-Ce	масс.%	99.505 Al	42.197	4.541.02	K α
	масс.%	0.495 Ce	0.992	1.28	L α
Al-Ce	масс.%	41.901 Al	22.708	1.289.56	K α
	масс.%	58.099 Ce	13.031	424.76	L α
Al-Pr	масс.%	97.942 Al	21.204	1.126.85	K α
	масс.%	2.058 Pr	1.115	3.34	L α
Al-Pr	масс.%	99.009 Al	20.025	1.213.25	K α
	масс.%	0.991 Pr	0.754	1.18	L α

Дифрактограммы и микроструктура сплавов приведены на рисунках 1 и 2. Однородность поверхностной морфологии указывает о улучшенных механических свойствах сплавов, по сравнению с исходным образцом. В исследованных интервалах составов структура сплавов состоит из твердого раствора α Al+эвт. (α Al+Al₁₁Ln₃), доля эвтектики возрастает с увеличением содержания лантанида, которая

оказывает модифицирующее влияние на структуру и свойства сплавов (рисунок 2б).

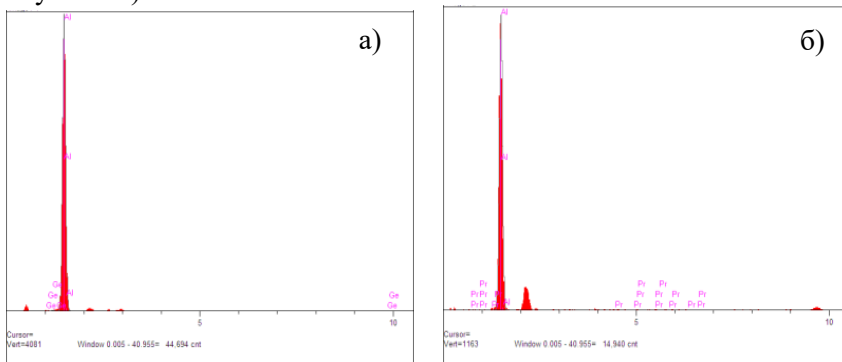


Рисунок 1. – Дифрактограммы алюминиевых сплавов, содержащих 0,5 масс.% Ce (а) и 2,0 масс.% Pr (б)

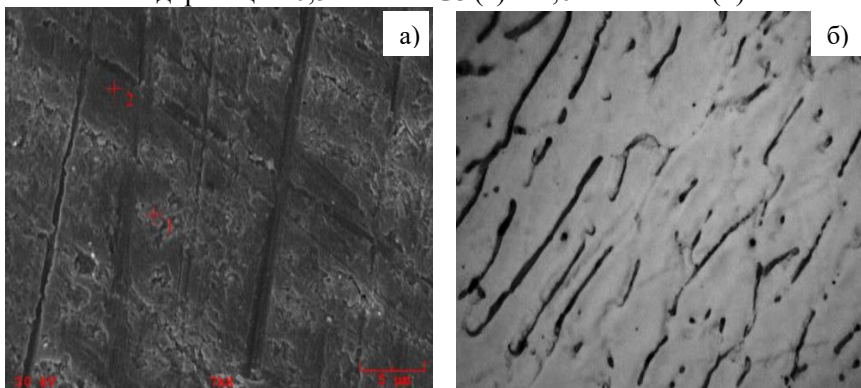


Рисунок 2. – Поверхностная морфология алюминиевых сплавов, содержащих 2.0 масс.% Pr (а) и 1.0 масс.%.: La (б) (x 500)

Твёрдость сплавов (таблица 2) определена по результатам 3-4 измерений и повышается с ростом концентрации добавки, зависит от чистоты исходного Al и природы Ln (рисунок 3).

Таблица 2. – Твёрдость (кг/мм²) сплавов Al (по Бринеллю)

C, масс. %	Твёрдость сплавов		
	La	Ce	Pr
0.1	14.17	14.31	14.88
0.5	15.21	15.39	15.98
1.0	16.08	16.24	17.49

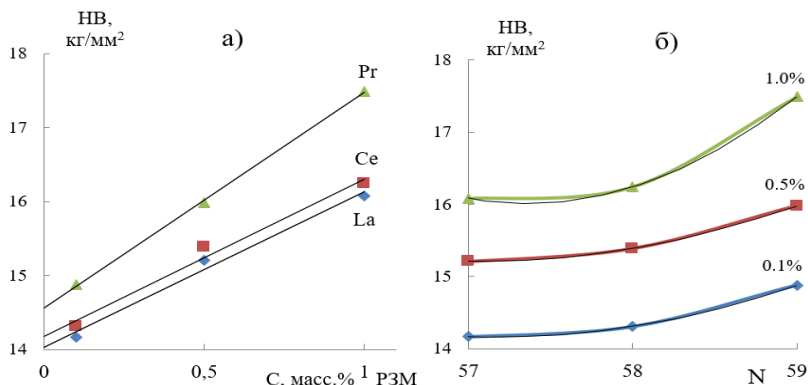


Рисунок 3. – График изменения твердости сплавов алюминия, легированных лантанидами, в зависимости от содержания добавки (а) и природы (N) (б) лантанидов

На рисунке 4 приведены графики кривых зависимости температуры сплавов систем Al-Pr от времени (а) и скорости охлаждения (б). Рассчитанный коэффициент теплоотдачи (α), скорость охлаждения ($\dot{Y}$), удельная теплоемкость и по ним термодинамические свойства сплавов (таблица 3).

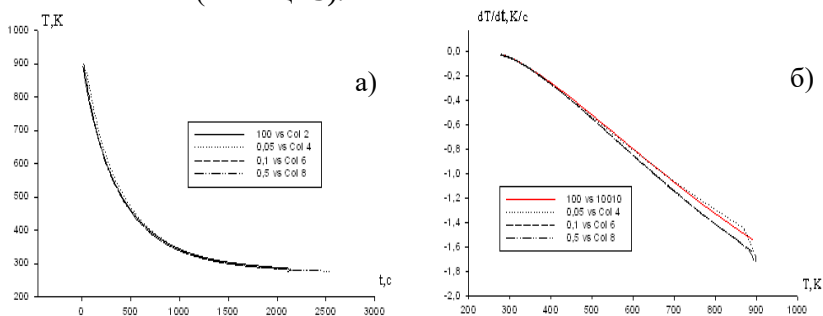


Рисунок 4. – Зависимости температуры (а) и скорости охлаждения (б) сплавов системы Al-Pr во времени

Таблица 3. – Уравнения температурной зависимости функции объектов

Объект	Функция	Уравнения
Al	$\dot{Y}$	$Y = 555,4776 \cdot \exp(-0,00281t) + 340,1131 \cdot \exp(-9,9816 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.05Pr	$\dot{Y}$	$Y = 613,6557 \cdot \exp(-0,00272t) + 322,5756 \cdot \exp(-6,5358 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.1Pr	$\dot{Y}$	$Y = 577,9059 \cdot \exp(-0,00302t) + 342,2163 \cdot \exp(-9,9388 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.5Pr	$\dot{Y}$	$Y = 575,3125 \cdot \exp(-0,00299t) + 337,5391 \cdot \exp(-8,8335 \cdot 10^{-5}t)$

Продолжение таблицы 3

Al	C_p	$C_p = 822,400 + 0,5T + 0,02 \cdot 10^{-2} T^2 + 24,31 \cdot 10^{-8} T^3$
Al+0.05Pr	C_p	$C_p = 822,036 + 0,5T + 0,199 \cdot 10^{-3} T^2 + 24,32 \cdot 10^{-8} T^3$
Al+0.1Pr	C_p	$C_p = 821,673 + 0,499T + 0,199 \cdot 10^{-3} T^2 + 24,325 \cdot 10^{-8} T^3$
Al+0.5Pr	C_p	$C_p = 818,764 + 0,498T + 0,195 \cdot 10^{-3} T^2 + 24,37 \cdot 10^{-8} T^3$
Al	(α)	$ \alpha(T) = -11,558 + 0,039T + 0,1246 \cdot 10^{-4} T^2 - 16,25 \cdot 10^{-9} T^3$
Al+0.05Pr	(α)	$ \alpha(T) = -11,400 + 0,039T + 0,1947 \cdot 10^{-4} T^2 - 25,13 \cdot 10^{-9} T^3$
Al+0.1Pr	(α)	$ \alpha(T) = -9,85 + 0,029T + 0,3394 \cdot 10^{-4} T^2 - 41,98 \cdot 10^{-9} T^3$
Al+0.5Pr	(α)	$ \alpha(T) = -8,252 + 0,018T + 0,5705 \cdot 10^{-4} T^2 - 41,98 \cdot 10^{-9} T^3$
Al+0.05Pr	S	$S(T) = 22,2279 \ln T + 0,01352 T + 0,27 \cdot 10^{-5} T^2 + 0,219 \cdot 10^{-8} T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,2279T + 0,00676T^2 + 0,18 \cdot 10^{-5} T^3 + 0,164 \cdot 10^{-8} T^4$
	G	$G(T) = -22,2279T(\ln T - 1) - 0,00676T^2 - 0,899 \cdot 10^{-6} T^3 - 0,548 \cdot 10^{-9} T^4$
Al+0.1Pr	S	$S(T) = 22,218 \ln T + 0,01352T + 0,269 \cdot 10^{-5} T^2 + 0,219 \cdot 10^{-8} T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,218T + 0,00675T^2 + 0,18 \cdot 10^{-5} T^3 + 0,164 \cdot 10^{-8} T^4$
	G	$G(T) = -22,218T(\ln T - 1) - 0,00675T^2 - 0,898 \cdot 10^{-6} T^3 - 0,548 \cdot 10^{-9} T^4$
Al+0.5Pr	S	$S(T) = 22,1394 \ln T + 0,01351T + 0,265 \cdot 10^{-5} T^2 + 0,22 \cdot 10^{-8} T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,1394T + 0,00675T^2 + 0,177 \cdot 10^{-5} T^3 + 0,165 \cdot 10^{-8} T^4$
	G	$G = -22,1394T(\ln T - 1) - 0,00675T^2 - 0,883 \cdot 10^{-6} T^3 - 0,549 \cdot 10^{-9} T^4$

**Калориметрическое определение теплоты растворения и
энтальпии образования сплавов систем Al – Ln (где Ln – Ce и Pr)**

Условия и экспериментальные результаты теплоты растворения сплавов в растворе соляной кислоты, рассчитаны энтальпии образования сплавов приведены в таблицах 4 и 5, соответственно.

Таблица 4. – Условия и теплота растворения сплавов систем Al–Ln

Al-Ln	C, масс. %	№ опыта	м, г	μ , г/моль	Q, кДж	$\Delta H^0_{298, \text{рас.}}$ Дж /моль	Среднее $-\Delta H^0_{298, \text{рас.}}$
Al-Ce	0.1	1	0.0133	27.11	8.692	1762.50	1668.47±100
		2	0.0141		9.650	1584.71	
		3	0.0399		12.271	1658.20	
	0.5	1	0.0136	27.56	9.206	1878.62	1792.04±90
		2	0.0161		10.335	1779.61	
		3	0.0205		12.720	1717.87	

Продолжение таблицы 4

Al-Ce	1.0	1	0.0145	28.13	8.884	1734.77	1804.46±70
		2	0.0159		9.427	1777.72	
		3	0.0173		12.299	1900.91	
Al-Pr	1.0	1	0.0142	28.11	6.646	1316.09	1319.35±30
		2	0.0155		7.745	1350.22	
		3	0.0185		8.499	1291.725	
	2.0	1	0.0280	29.26	7.193	7321.24	7058.3±500
		2	0.0334		8.627	7567.87	
		3	0.0410		10.001	7143.78	
		4	0.0568		11.161	6734.42	
		5	0.0644		12.188	6523.86	
	4.0	1	0.0221	31.55	5.430	7627.17	6679.0±100
		2	0.0363		8.245	6869.91	
		3	0.0397		7.986	6423.43	
		4	0.0457		9.141	6342.22	
		5	0.0507		9.855	6132.35	
	6.0	1	0.0199	33.83	5.116	7856.70	7457.8±600
		2	0.0311		7.1286	8100.02	
		3	0.0352		7.510	7508.97	
		4	0.0462		8.285	6944.21	
		5	0.0611		10.214	6878.57	

Примечания: С – концентрация; м – масса навески; μ – молярная масса; Q – теплота растворения; $-\Delta H^0_{298, \text{рас.}}$ – энтальпия растворения.

Нужно отметить, что процесс растворения сплавов системы алюминий–празеодим является экзотермичным (таблица 4).

Таблица 5. – Энтальпия процесса растворения ИМ систем Al-Ln

Состав ИМ	№ опыта	м, г	μ , г/моль	Q, кДж	$-\Delta H^0_{298, \text{рас.}}$ Дж /моль	Среднее $-\Delta H^0_{298, \text{рас}}$
AlCe ₂	1	0.3768	307.3	3.99	3226.9	3229.1 ± 5
	2	0.3989		4.20	3231.8	
	3	0.3297		3.45	3232.9	
	4	0.4602		4.87	3224.8	
	5	0.3912		4.05	3228.1	
AlCe ₃	1	0.5399	447.35	7.87	6524.9	6526.8 ± 9
	2	0.5993		8.63	6535.6	
	3	0.5290		7.70	6519.8	

Продолжение таблицы 5

	4	0.4895		7.35	6601.4	
AlPr	1	0.2936	167.89	2.33	1334.7	1338.1±10
	2	0.5406		4.41	1336.0	
	3	0.6598		5.27	1342.3	
	4	0.4840		3.83	1330.8	
	5	0.2192		1.76	1346.7	
AlPr ₂	1	0.2764	308.8	4.32	2912.7	2854.1±60
	2	0.3099		4.21	2827.2	
	3	0.4307		5.62	2832.9	
	4	0.3894		4.73	2873.3	
	5	0.2564		4.13	2824.4	

Значения энтальпии растворения и литературные сведения позволили рассчитать энтальпию образования сплавов, по составленному термохимическому циклу (таблица 6).

Таблица 6. - Энтальпия образования ИМ систем Al-Ln

ИМ	$-\Delta_f H^0_{298}, \frac{\text{кДж}}{\text{моль-атома}}$		ИМ	$-\Delta_f H^0_{298}, \frac{\text{кДж}}{\text{моль-атома}}$	
	Литер.	Экспер.		Литер.	Экспер.
AlCe	32.51	34.02 ± 5	Al ₂ Pr	62.77	58.13
	47.23		AlPr	-	38.52
AlCe ₂	21.29	20.58 ± 3	AlPr ₂	-	24.69
	16.62				
β-AlCe ₃	15.01	14.83 ± 2	AlPr ₃	-	17.03

Процесс окисления сплавов систем Al – Ln (где Ln – Ce и Pr)

Результаты исследования процесса окисления сплавов систем Al-Ln (Ln – Ce, Pr) термогравиметрическим методом в атмосферной среде, при температурах 573, 673 и 773К (таблица 7) показывают, что увеличение содержания лантанида (С, масс. %) приводит к увеличению скорости окисления (v) и снижению величины энергии активации ($E_{\text{акт}}$, кДж/моль) сплавов.

Таблица 7. – Кинетические и энергетические показатели процесса окисления алюминия и сплавов Al-Ce и Al-Pr

Me/ Сис- тема	$C_{Ln}, \%$	T, К	$K \cdot 10^{-6},$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ сек^{-1}	$E_{\text{акт.}}$	Сис- тема	$C_{Ln},$ %	T, К	$K \cdot 10^{-6},$ $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2}$ сек^{-1}	$E_{\text{акт}}$
Al	-	573	2.02	96±4	Al-Pr	0.05	573	2.01	114±3
		673	3.29				673	3.21	

Продолжение таблицы 7

	-	773	4.25		Al-Pr		773	4.29	
Al-Ce	0.05	573	2.07	104±5		0.1	573	2.76	84±4
		673	3.08				673	3.79	
		773	4.16				773	4.97	
	0.1	573	3.03	75±4		0.5	573	3.87	73±4
		673	4.1				673	4.31	
		773	5.12				773	5.72	
	0.5	573	4.0	55±5		1.0	573	4.24	52±2
		673	4.72				673	5.03	
		773	6.07				773	6.25	
	1.0	573	4.71	39±5					
		673	5.3						
		773	6.84						

Системный анализ термических и термодинамических характеристик ИМ и эвтектик систем Al – Ln, богатой лантанидом. Моделирование закономерности их изменения

В системе Al-Ln образуются ИМ следующих составов $AlLn_3$, $AlLn_2$, Al_2Ln_3 , $AlLn$, Al_2Ln , Al_3Ln , $\alpha-Al_{11}Ln_3$ и $\beta-Al_{11}Ln_3$ и происходят эвтектические превращения с образованием сплавов эвтектического состава. Диаграммы состояния некоторых систем Al-Ln изучены не достаточно, особенно в области богатой лантанидом.

Термохимические свойства сплавов эвтектического состава систем Al – Ln в области богатой лантанидом

Литературные сведения по температуре плавления сплавов эвтектического состава систем Al – Ln являются неполными, особенно для систем Al-Eu, Al-Tb и Al-Tm, в области богатой лантанидом. Для сплавов систем Al-Pm, Al-Lu эти сведения отсутствуют. Энтальпии плавления эвтектических сплавов систем Al-Ln при стандартных условиях вовсе отсутствуют.

Температура плавления возможных (виртуальных) сплавов эвтектического состава системы Al-Lu отсутствует в литературе и нами оценено методами сравнительного расчёта и разностей (обозначено в таблице 8(*)). Подход основан на близости электронного строения атомов La, Gd, Lu при наличии 5d- электронов.

Общие сведения о эвтектических превращениях и температуры плавления сплавов эвтектического состава систем Al-Ln (в области богатой лантанидом) приведены в таблице 8.

Таблица 8. – Тип превращений и температура плавления эвтектики (богатой лантанидом) систем Al-Ln

Система	Превращения	% ат. Ln	Т _{пл.} , К	
			литература	расчёт
Al-La	La + AlLa ₃	-	820; 912	920
Al-Ce	Ж=βAlCe ₃	70,0	918	920
	Ж = (Ce) + β AlCe ₃	89,0	853	
Al-Pr	AlPr ₂ + αPr	82,0	923	923
Al-Nd	-	-	908	920
Al-Pm	-	-	-	953
Al-Sm	-	-	1023	1007
Al-Eu	-	-	-	940
Al-Gd	Ж = (αGd)+Al ₃ Gd ₂	77,0	1148	1148
Al-Tb	-	-	-	1210
Al-Dy	Ж — (Dy)+Dy ₂ Al,	81,0	1278	1241
	Ж—Dy ₂ Al+Dy ₃ Al ₂	61,0	1279	
Al-Ho	AlHo ₂ + Ho	76,0	1249	1273
	Al ₂ Ho ₃ + Al ₂ Ho		1257	
Al-Er	-	88,0; 58,0	1278; 1318	1305
Al-Tm	-	-	-	1338
Al-Yb	-	-	930	1150
Al-Lu	-	-	-	1373*

Полуэмпирическим методом, который учитывает электронное строение атомов лантанидов, определены или уточнены температура плавления (Т_{пл.}) сплавов эвтектического состава систем Al-Ln в области богатой лантанидом, по уравнению:

$$T_{(AlxLn_y)} = T_{(AlxLay)} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' L_{(Ce-Eu)} (\gamma'' L_{(Tb-Yb)}) \quad (1)$$

Коэффициенты уравнения [1] равны $\alpha=32,357$; $\beta=0,429$; $\gamma'=-21,629$, $\gamma''=-0,694$ и $\alpha=0,5543$, $\beta=0,4543$, $\gamma'=-0,4432$ и $\gamma''=-0.6034$ (уравнения [3]).

Графическое изображение закономерности в изменении температуры плавления сплавов эвтектического состава, богатых Ln, в

зависимости от природы лантанидов (рисунок 5) показывает проявление «тетрад-эффект»-а. С ростом порядкового номера Ln наблюдается значимый рост температуры плавления сплавов и отклонение от закономерности для эвтектики европия и иттербия, что связано с их электронным строением.

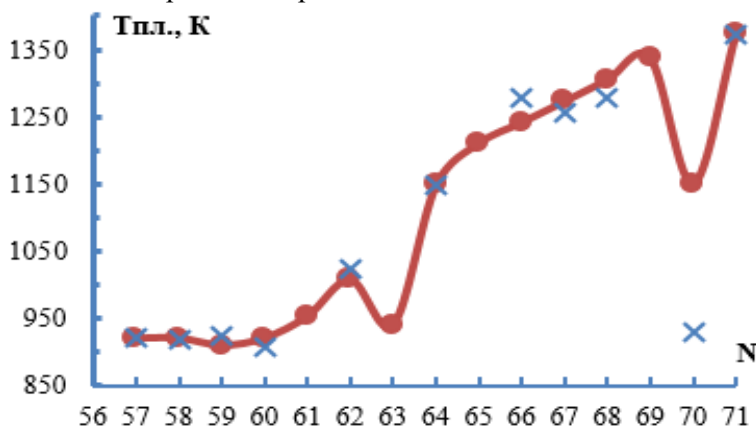


Рисунок 5. – Закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем Al-Ln, богатых Ln, от природы лантанидов:
х – литература; ● – расчёт.

Полученные нами сведения по температуре и энтальпии плавления Ln, Al и температуры плавления эвтектик (таблица 8), позволили рассчитать их энтальпию плавления ($\Delta H^0_{\text{пл.}}$) по уравнению (расчёт-1):

$$\Delta H^0_{\text{пл., эвтек. Al}_x\text{Ln}_y} = T_{\text{пл., эвтек.}} (y \Delta H^0_{\text{пл., Ln}} / T_{\text{пл., Ln}} + x \Delta H^0_{\text{пл., Al}} / T_{\text{пл., Al}}) / (x + y) \quad (2)$$

Для сравнения также использован полуэмпирический метод

Полуэктова Н.С. (расчёт-2) по формуле:

$$\Delta H^0_{\text{пл., эвтек. Al}_x\text{Ln}_y} = \Delta H^0_{\text{пл., AlLa}_y} + \alpha N_f + \beta S + \gamma S_{(\text{Ce-Eu})} (\gamma'' L_{(\text{Tb-Yb})}) \quad (3)$$

Результаты расчётов значений энтальпии плавления эвтектик систем Al-Ln, богатых лантанидом, приведено в таблице 9. По ним определена закономерность изменения её в зависимости от природы лантанидов (рисунок 6).

Таблица 9. – Энтальпия плавления эвтектики в системах Al-Ln

Система	Эвтектические превращения	Ln, %	$\Delta H_{\text{пл.Т.}}$, кДж/моль-атома	
			расчёт – 1	расчёт – 2
Al-La	La + AlLa ₃	-	6,22	6,22

Продолжение таблицы 9

Al-Ce	$\mathcal{K}=\beta\text{AlCe}_3$ $\mathcal{K} = (\text{Ce})+\beta \text{AlCe}_3$	70,0 89,0	6,41	5,73
Al-Pr	$\text{AlPr}_2 + \alpha\text{Pr}$	82,0	6,28	7,04
Al-Nd	-	-	6,40	6,61
Al-Pm	-	-	6,76	6,98
Al-Sm	-	-	7,36	7,55
Al-Eu	-	-	7,03	7,01
Al-Gd	$\mathcal{K} = (\alpha\text{Gd})+\text{Al}_3\text{Gd}_2$	77,0	8,74	8,74
Al-Tb	-	-	9,37	9,47
Al-Dy	$\mathcal{K} \text{ — } (\text{Dy})+\text{AlDy}_2$, $\mathcal{K} \text{ — } \text{AlDy}_2+\text{Al}_2\text{Dy}_3$	81,0 61,0	9,66	9,69
Al-Ho	$\text{AlHo}_2 + \text{Ho}$ $\text{Al}_2\text{Ho}_3 + \text{Al}_2\text{Ho}$	76,0	10,19	10,23
Al-Er	-	88,0; 58,0	10,94	10,78
Al-Tm	-	-	11,91	11,98
Al-Yb	-	-	9,33	9,33
Al-Lu	-	-	13,98	13,98

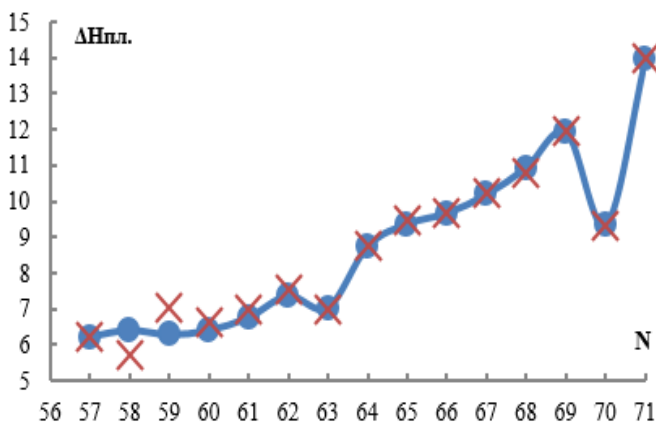


Рисунок 6. – График изменения энтальпии плавления эвтектики систем Al-Ln, богатых Ln, в зависимости от природы Ln:
х-расчёт-1; ●-расчёт-2.

Из данных таблицы 9 и рисунка 6 видно хорошее совпадение расчётных величин полученных результатов двумя методами.

Определение и системный анализ температуры и энтальпии плавления интерметаллидов систем Al–Ln, богатой лантанидом

По полученным величинам температуры плавления ИМ систем Al–Ln, в области богатой лантанидом, Al и Ln определено значения энтальпии плавления ($\Delta H^0_{\text{пл.}}$, кДж/моль-атомов) ИМ систем Al–Ln, богатых лантанидом, по формуле (расчёт-1):

$$\Delta H^0_{\text{пл., ИМ Al}_x\text{Ln}_y} = T_{\text{пл. ИМ}}(y\Delta H^0_{\text{пл. Ln}}/T_{\text{пл. Ln}} + x\Delta H^0_{\text{пл. Al}}/T_{\text{пл. Al}})/(x+y) \quad (4)$$

Результаты расчёта энтальпии плавления ИМ составов AlLn_3 , AlLn_2 , Al_2Ln_3 и AlLn приведены в таблице 10.

Таблица 10. – Термохимические характеристики ИМ систем Al–Ln в области богатой лантанидом ($T_{\text{пл.}}$, К; $\Delta H^0_{\text{пл.}}$, кДж/моль-атомов)

Вещество			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu
Ланта- ниды	$T_{\text{пл.}}$	P-2	1192	1197	1209	1246	1302	1384	1098
		Лит.	1191	1071	1204	1294	1315	1347	1095
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	P-2	6,21	6,39	6,92	7,19	7,74	8,57	9,21
		Лит.	6,20	5,46	6,89	7,14	7,62	8,62	9,21
AlLn	$T_{\text{пл.}}$	P-2	1146	1148	1174	1184	1202	1232	1226
	$T_{\text{пл.}}$	Лит.	1146	1118	1178	1213	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	P-1	9,53	9,60	10,07	10,19	10,45	10,85	12,34
		P-2	9,53	9,85	9,86	10,03	10,38	10,90	10,11
Al_2Ln_3	$T_{\text{пл.}}$	P-2	1065	1085	1089	1104	1131	1169	1124
		Лит.	-	-	-	-	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	P-1	8,19	8,43	8,72	8,88	9,21	9,68	10,79
		P-2	8,19	8,57	8,61	8,80	9,13	9,60	9,11
AlLn_2	$T_{\text{пл.}}$	P-2	984	1016	1025	1047	1081	1128	1095
		Лит.	-	-	-	1008	1068	-	-
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	P-1	7,16	7,48	7,81	8,03	8,41	8,95	10,29
		P-2	7,16	7,62	7,71	7,94	8,32	8,85	7,11
AlLn_3	$T_{\text{пл.}}$	P-2	873	909	927	950	978	1012	971
		Лит.	823	928	903	948	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	P-1	5,65	6,23	6,62	6,83	7,16	7,58	8,88
		P-2	5,65	6,28	6,51	6,82	7,21	7,67	6,11

Продолжение таблицы 10

Вещество			Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ланта- ниды	$T_{\text{пл.}}$	P-2	1586	1628	1684	1723	1771	1829	1093	1929
		Лит.	1586	1629	1685	1747	1802	1818	1092	1936

Продолжение таблицы 10

Лантаниды	$\Delta H^0_{пл.}$	Р-2	10,04	10,78	11,09	11,87	13,14	14,88	7,67	18,85
		Лит.	10,04	10,79	11,06	17,00	19,92	16,86	7,66	22,00
AlLn	$T_{пл.}$	Р-2	1348	1368	1372	1388	1417	1457	1424	1548
		Лит.	1348	-	-	1388	1338	-	-	-
	$\Delta H^0_{пл.}$	Р-1	11,98	12,35	12,37	12,73	13,37	14,25	13,13	16,41
		Р-2	11,98	12,28	12,37	12,73	13,36	14,27	13,13	16,41
Al ₂ Ln ₃	$T_{пл.}$	Р-2	1253	1273	1277	1292	1320	1357	1347	1441
		Лит.	1253	-	1286	1267	1333	-	-	-
	$\Delta H^0_{пл.}$	Р-1	10,49	10,88	10,90	11,26	11,92	12,82	12,17	15,03
		Р-2	10,49	10,80	10,89	11,26	11,91	12,82	12,17	15,03
AlLn ₂	$T_{пл.}$	Р-2	1223	1251	1259	1280	1314	1361	1295	1412
		Лит.	1223	-	1413	1291	1303	-	-	-
	$\Delta H^0_{пл.}$	Р-1	9,82	10,29	10,34	10,77	11,52	12,56	10,98	14,57
		Р-2	9,82	10,25	10,41	10,83	11,51	12,45	10,98	14,57
AlLn ₃	$T_{пл.}$	Р-2	1098	1098	1103	1116	1133	1156	1092	1193
		Лит.	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\Delta H^0_{пл.}$	Р-1	8,35	8,59	8,61	8,97	9,55	10,35	8,85	12,15
		Р-2	8,35	8,62	8,68	8,97	9,52	10,30	8,85	12,15

Для сравнения использован полуэмпирическим метод с помощью уравнения (расчёт-2):

$$\Delta H^0_{пл., \text{ ИМ Al}_x\text{Ln}_y} = \Delta H^0_{пл., \text{ Al}_x\text{La}_y}^{\text{ИМ}} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' S_{(\text{Ce} - \text{Eu})} + \gamma'' L_{(\text{Tb} - \text{Yb})} \quad (5)$$

В таблице 11 приведены значения коэффициентов уравнения.

В расчётах использованы уточнённые нами значения термодимические характеристики лантанидов и справочные для алюминия. Наблюдается хорошее совпадение литературных и расчётных (Р-2) значений.

Таблица 11. – Значение коэффициентов корреляционного уравнения [5]

Вещество	Параметры	α	β	γ'	γ''	Примечание
Лантаниды	$T_{пл., \text{ К}}$	52,51	7,02	-28,11	-10,63	$\gamma'_{\text{Ce}}=-74,8$; $\gamma''_{\text{Tb}}=-19,2$
	$\Delta H^0_{пл., \text{ КДж/моль}}$	0,57	0,06	-0,61	-0,08	$\gamma'_{\text{Ce}}=-1,09$; $\gamma'_{\text{Pm}}=-0,28$ $\gamma''_{\text{Dy}}=0,01$; $\gamma''_{\text{Er}}=-0,14$
AlLn	$T_{пл., \text{ К}}$	28,71	0,31	-9,72	-12,41	-
	$\Delta H^0_{пл.}$	0,49	-0,28	-0,17	-0,27	$\gamma'_{\text{Ce}}=-0,26$; $\gamma'_{\text{Eu}}=0,075$
Al ₂ Ln ₃	$T_{пл., \text{ К}}$	26,86	0	-11,38	-11,38	-
	$\Delta H^0_{пл.,}$	0,48	-0,32	-0,14	-0,27	$\gamma'_{\text{Eu}}=0,043$; $\gamma''_{\text{Yb}}=-0,9$

AlLn ₂	T _{пл.} , К	34,14	0	-12,2	-13,26	-
	ΔH ⁰ _{пл.}	0,52	-0,29	-0,14	-0,26	γ'Eu=0,1; γ''Yb=-1,14
AlLn ₃	T _{пл.} , К	22,85	11,41	-5,16	-5,16	-
	ΔH ⁰ _{пл.}	0,46	-0,15	-0,07	-0,24	γ'Eu=0,14; γ''Yb=-1,07

Для наглядности, на рисунках 7 и 8 изображены графики изменения температуры плавления ИМ (в области богатой Ln) в зависимости от природы лантанидов (рисунок 7) и от состава сплава (рисунок 8). С ростом порядкового номера лантанидов наблюдается повышение температуры плавления ИМ (рисунок 7).

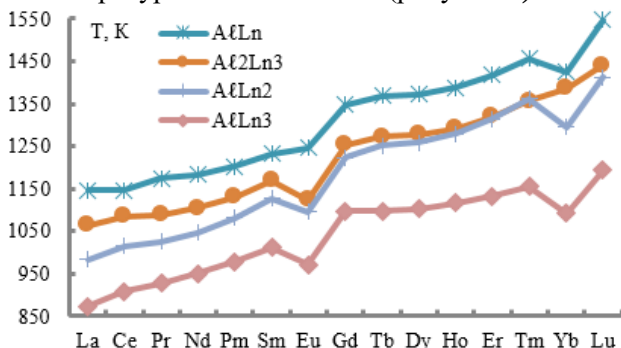


Рисунок 7. - Кривые зависимости температуры плавления (T_{пл}) ИМ систем Al-Ln, богатых лантанидом, от природы лантанидов

С повышением содержания лантанида в ИМ температура плавления сплавов уменьшается (рисунок 8).

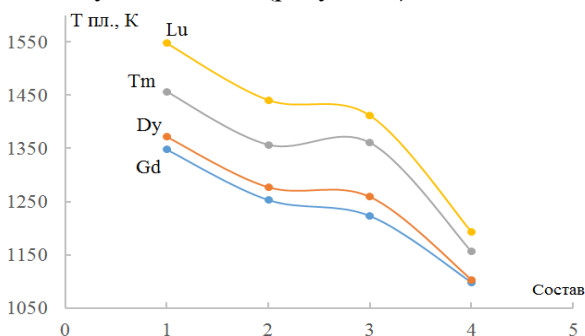


Рисунок 8. – Графики зависимости изменения температуры плавления (T_{пл.}) от состава ИМ систем Al-Ln (богатых лантанидом иттриевой подгруппы): 1 – AlLn; 2 – Al₂Ln₃; 3 – AlLn₂; 4 – AlLn₃.

Рисунок 9 показывает закономерности в изменениях энтальпии плавления ИМ систем Al-Ln в зависимости от природы лантанидов. Наблюдается рост энтальпии плавления ИМ с увеличением порядкового номера лантанидов.

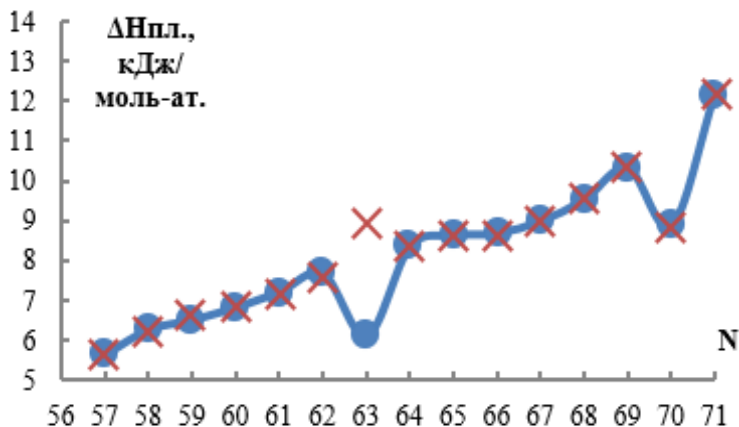


Рисунок 9. – График изменения энтальпии плавления ИМ состава $AlLn_3$ от природы лантанидов: x – расчёт-1; ● – расчёт-2.

Моделирование установленных закономерностей изменения характеристик сплавов систем Al-Ln

Установлены закономерности изменения температуры плавления и энтальпии плавления сплавов эвтектического состава и ИМ систем Al-Ln, в области богатой лантанидом. На их основе проведено математическое моделирование по программы MS EXCEL (таблица 12).

Таблица 12. – Математические уравнения изменения свойств лантанидов и сплавов систем Al-Ln, в зависимости от порядкового номера лантанидов ((а) – цериевой и (б) – иттриевой подгруппы)

Вещество	Функция		Вид уравнений	R ^{2*}
Лантаниды	T _{пл.}	(а)	$y = -7x^3 + 1262x^2 - 75750x + 2E+06$	0,897
		(б)	$y = 49,078x - 1559,9$	0,998
	$\Delta H^0_{пл.}$	(а)	$y = -0,0551x^3 + 9,9096x^2 - 593,29x + 11830$	0,900
		(б)	$y = 0,1571x^2 - 19,975x + 645,23$	0,997
Эвтектика	T _{пл.}	(а)	$y = 8,0291x^2 - 939,84x + 28410$	0,996
		(б)	$y = -2,4886x^2 + 367,21x - 12154$	0,995

Продолжение таблицы 12

Эвтек-тика	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 0,0256x^3 - 4,5066x^2 + 263,95x - 5146,8$	0,986
		(б)	$y = 0,1277e^{0,0658x}$	0,982
AlLn	$T_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 1,3289x^3 - 232,46x^2 + 13561x - 262657$	0,995
		(б)	$y = 3,7313x^2 - 475,95x + 16531$	0,994
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 0,0228x^3 - 4,0237x^2 + 237,03x - 4646,6$	0,992
		(б)	$y = 0,0944x^2 - 12,126x + 401,42$	0,997
Al ₂ Ln ₃	$T_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 1,2436x^3 - 218,71x^2 + 12832x - 250063$	0,996
		(б)	$y = 3,3586x^2 - 427,29x + 14848$	0,994
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 0,0219x^3 - 3,8883x^2 + 229,79x - 4520,5$	0,992
		(б)	$y = 0,0965x^2 - 12,394x + 408,47$	0,997
AlLn ₂	$T_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 1,4145x^3 - 249,5x^2 + 14686x - 287491$	0,997
		(б)	$y = 1,4001x^2 - 162,85x + 5916,5$	0,993
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 0,0244x^3 - 4,3198x^2 + 255,61x - 5037,3$	0,994
		(б)	$y = 0,0839x^2 - 10,666x + 348,76$	0,996
AlLn ₃	$T_{\text{пл.}}$	(а)	$y = -1,2014x^2 + 181,75x - 5614,8$	0,995
		(б)	$y = 1,8171x^2 - 232,44x + 8535,8$	0,981
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 0,0218x^3 - 3,8878x^2 + 231,81x - 4606$	0,996
		(б)	$y = 0,0824x^2 - 10,601x + 349,16$	0,996

В качестве примера, наглядное изображение линии тренда для свойств ИМ приведено на рисунке 10.

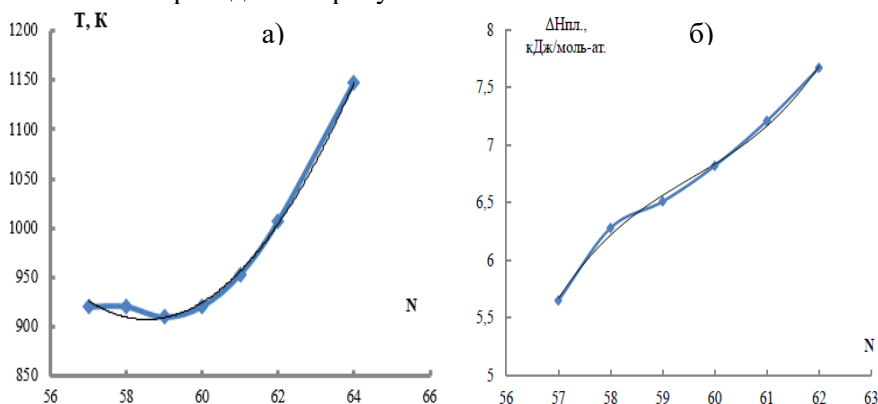


Рисунок 10. – Линия тренда (—) изменения температуры плавления (а) эвтектики (в области богатой Ln) и энтальпии плавления ИМ состава AlLn₃ (б), от порядкового номера (N) Ln цериевой подгруппы

ВЫВОДЫ:

1. Прецизионными экспериментальными методами определены: химический состав, морфология поверхности и твердость сплавов систем Al-Ln (где Ln – La, Ce и Pr). Добавки лантанидов оказывают модифицирующее влияние на структуру алюминиевых сплавов. В ряду сплавов La, Ce, Pr, Nd, твердость алюминиевых сплавов возрастает при переходе $\text{La} \rightarrow \text{Ce} \rightarrow \text{Pr}$ и уменьшается – $\text{Pr} \rightarrow \text{Nd}$ [1-А, 2-А, 3-А, 4-А].

2. Определена теплоёмкость сплавов систем Al-Pr, составлена уравнения её зависимости от температуры, на основе которой рассчитаны термодинамические свойства сплавов [8-А, 9-А, 20-А, 21-А].

3. Установлено, что увеличение содержания лантанидов в алюминиевых сплавах, приводит к повышению скорости окисления и уменьшению кажущейся энергии активации сплавов. Наименьшим значением энергии окисления обладают сплавы систем алюминий – лантан и алюминий – церий [8-А, 20-А, 21-А].

4. Методом калориметрии растворения определены значения энтальпии растворения и по ним рассчитана величина энтальпии образования сплавов систем Al-Ln (где Ln – Ce и Pr). В сплавах с ростом содержания лантанида пропорционально повышаются величина энтальпии образования [8-А, 9-А, 18-А, 20-А, 21-А].

5. Полученные наиболее полные сведения по температуре и энтальпии плавления интерметаллидов и сплавов эвтектического состава систем Al-Ln, в области богатой лантанидом, позволили установить закономерности их изменения в зависимости от природы лантанидов. Особенности этих закономерностей заключаются в разделении их по подгруппам лантанидов с проявлением «тетрад-эффект»-а [1-А, 5-А, 6-А, 14-А, 15-А, 16-А, 25-А].

6. Температура плавления ИМ и сплавов эвтектического состава богатой лантаном повышается в зависимости от роста порядкового номера, то есть от природы лантанидов в пределах всего ряда $\text{La} \rightarrow \text{Lu}$. С ростом содержания лантанида в сплавах наблюдается уменьшение температуры плавления ИМ [5-А, 6-А, 14-А, 15-А, 18-А, 23-А, 24-А].

7. Полученные математические уравнения установленных закономерностей изменения температуры и энтальпии плавления эвтектических сплавов и ИМ систем Al-Ln, в области богатой лантанидами, в зависимости от природы лантанидов, в пределах их подгрупп, позволяют получать сплавы с заданными, «запрограммированными» характеристиками. [2-А, 3-А, 7-А, 10-А, 13-А, 17-А].

8. Полученные сведения термических и термодинамических свойств сплавов на основе алюминия с добавками лантанидов являются фундаментально-справочными, которые пополняют банк термодинамических величин металлических сплавов новыми данными [9-А, 10-А, 19-А, 22-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов диссертационной работы:

- разработан метод и получены сплавы на основе алюминия с добавками лантанидов, которые имеют улучшенные прикладные характеристики;

- наиболее полные сведения по температуре плавления, энтальпии плавления интерметаллидов и сплавов эвтектического состава систем алюминий-лантаниды (богатой лантанидом), имеющие фундаментально-прикладное значение, пополняют банк термодинамических величин металлических систем новыми данными;

- установленные закономерности изменения термических и термодинамических характеристик сплавов на основе алюминия с добавками лантанидов в зависимости от природы лантанидов и от состава сплава позволяют рациональному подбору компонентов – лантанидов и их концентрации в сплаве, соответствующими эксплуатационным требованиям.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Статьи, в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан и ВАК при Минобрнауки Российской Федерации:

[1-А]. Ахмедов, Ш.А. Установление закономерности изменения термодинамических характеристик интерметаллидов систем алюминий – лантаноиды составов $Al_{11}Ln_3$ и Al_3Ln / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Ш.З. Нажмутдинов, А. Бадалов // Горные науки и технологии. Россия, Москва, МИСиС, нац. иссл. технол. универс. 2018. – №2. – С. 42-50. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-2-42-50>

[2-А]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры и энтальпии плавления интерметаллидов систем алюминий – лантаниды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов, А.Б. Бадалов // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018. – Т. 22. – №12 (143). – С. 221-230. ISSN 1814-3520. DOI:10.21285/1814-3520-2018-12-221-230.

[3-А]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры плавления интерметаллидов систем магний-лантаноиды, богатых магнием / И.Р. Исмоилов, Ш.А. Ахмедов, Х.А. Зоиров, А.Б. Бадалов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования, ТТУ им. акад. М.С. Осими, – Душанбе, 2018. – №1 (41). – С. 104-113. ISSN 2520-2227.

[4-А]. Ахмедов, Ш.А. Температуры плавления интерметаллидов систем магний – лантаниды / Ш.А. Ахмедов, И.Р. Исмоилов, Ш.И. Мирзоев, А. Бадалов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2018. – №4 (80), – С. 147-151. ISSN 2074-5435.

[5-А]. Ахмедов, Ш.А. Закономерность изменения температуры плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды и их моделирование / Б.Б. Эшов, М.А. Бадалова, Ш.А. Ахмедов, М.Ч. Чаманова, Ш.И. Мирзоев // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования, ТТУ им. акад. М.С. Осими, – Душанбе 2019. – №3 (47). – С. 70-74. ISSN 2520-2227.

[6-А]. Ахмедов, Ш.А. Уточнение и закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем алюминий – лантаниды, богатых лантаноидом / Ш.А. Ахмедов, М.А. Бадалова, Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, А. Бадалов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2019. – №3 (83), – С. 99-102. ISSN 2074-5435.

[7-А]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения энтальпии плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды, богатых лантаном / Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, Б.А. Гафуров, А. Бадалов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Н. Хусрав (научный журнал) Серия естественных наук. 1/1 (66), 2020. – С. 73-77. ISSN 2663-6417.

[8-А]. Ахмедов, Ш.А. Получение теплофизических свойств и окисление сплавов систем алюминий-церий / Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, Ш.А. Ахмедов, А. Бадалов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2020. – №3 (88), – С. 129-133. ISSN 2074-5435.

[9-А]. Ахмедов, Ш.А. Механические, теплофизические свойства и термодинамические функции сплавов системы алюминий – празеодим / Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, Ш.А. Ахмедов, М.С. Исломов, А. Бадалов // Научно-практический журнал “Вестник Технологического университета Таджикистана”, – Душанбе, 2020. – №2 (41). – С. 28-34. ISSN 2707-8000.

[10-A]. Ахмедов, Ш.А. Системный анализ теплофизических свойств сплавов эвтектического состава систем алюминий-лантаниды, богатых лантанидом и их моделирование / Ш.А. Ахмедов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2021. – №3 (92), – С. 11-15. ISSN 2074-5435.

[11-A]. Ахмедов, Ш.А. Получение и физико-химические свойства сплавов системы алюминий – церий / Ахмедов Ш.А., Мирзоев Ш.И., Эшов Б.Б., Рузматова Г.К., Бадалов А. // Вестник Хорогского Университета, – Хорог, 2024. – №1 (29). – С.207-211. ISSN 2664-5696

Публикации в материалах научной конференций:

[12-A]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения энтальпии плавления интерметаллидов систем магний – лантаноиды иттриевой подгруппы / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, А.Х. Бобоева, А.Б. Бадалов // Материалы III-ей научно-практической конференции на тему «Наука – основа инновационного развития». - Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 26-27.04.2018. – Ч. II. – С. 170-172.

[13-A]. Ахмедов, Ш.А. Температура плавления интерметаллидов систем алюминий-лантаноиды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, И.Р. Исмоилов, А.Б. Бадалов // Материалы международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и учёных «Мухандис 2019», Часть 3, - Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 14-16.03.2019. – С. 86-90.

[14-A]. Ахмедов, Ш.А. Закономерности в изменениях температуры плавления эвтектических сплавов систем алюминий – лантаниды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, А.Х. Бобоева, А. Бадалов // Материалы IV-ой международной научно-практической конференции «Наука – основа инновационного развития». - Душанбе: ТНУ, 3-4.05.2019. – С. 167-171.

[15-A]. Ахмедов, Ш.А. Закономерность изменения энтальпии плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды, богатых лантаноидом / Тсуюан Тингжи, Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, М.Ч. Чаманова, А. Бадалов // Материалы международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования», - Душанбе: ТТУ имени академик М.С. Осими, 27-28.11.2019. – С. 43-45.

[16-A]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов, Ш.И. Мирзоев, А. Бадалов // Материалы международной научно-практической

конференции «Перспектива развития науки и образования», - Душанбе: ТТУ им. академик М.С. Осими, 27-28.11.2019. – С. 57-60.

[17-А]. Ахмедов, Ш.А. Закономерности изменения температуры и энтальпии плавления эвтектики систем алюминий – лантаниды, богатых лантанидами / Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, А.Б. Бадалов // Сборник научных статей. Материалы республиканской научно-практической конференции на тему: «Инновационное развитие сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата: современное состояние, проблемы и пути их решения». Душанбе: ТАУ им. Ш.Шотемур, 30.04.2020. – С. 262-266.

[18-А]. Ахмедов, Ш.А. Синтез и термодинамические характеристики сплавов систем алюминий – церий / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов, А. Бадалов // Сборник научных статей. Материалы республиканской научно-практической конференции на тему: «Роль инженерной науки в сельскохозяйственном производстве: актуальные проблемы и развитие отрасли». Душанбе: ТАУ им. Ш.Шотемур, 29.09.2020. – С. 115-119.

[19-А]. Ахмедов, Ш.А. Получение и теплофизические свойства сплавов систем алюминий – лантаниды (лантаниды – Ce, Pr) / Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, З. Низомов, А. Бадалов // Материалы V-ой международной конференции по «Оптическим фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах». Республика Узбекистан, Фергана, 13-14.11.2020. – С. 342-345.

[20-А]. Ахмедов, Ш.А. Получение и свойства сплавов систем алюминий – лантан / Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, Ш.А. Ахмедов, М.А. Бадалов, Ш.К. Шарофов // Сборник научных статей. Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Адаптация сельскохозяйственной отрасли к изменениям климата: проблемы и пути решения». Душанбе: ТАУ им. Ш.Шотемур, 23-25.10.2021. – С. 341-343.

[21-А]. Ахмедов, Ш.А. Закономерности изменения термохимических свойств сплавов систем алюминия–лантаноидов / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, М.Ч. Чаманова, А.Э. Бердиев, А.Б. Бадалов // Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Новые достижения в области естественных наук и информационных технологий». Душанбе: РТСУ, 30.05.2023. – С.132-134.

[22-А]. Ахмедов, Ш.А. Особенности закономерности изменения температуры плавления интерметаллидов систем алюминий – лантаниды / Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, Ш.А. Ахмедов, М.Ч. Чаманова, А.Б. Бадалов // 3-я международная научно-практическая конференция “Редкие металлы

и материалы на их основе: технологии, свойства и применение”, посвященная памяти академика Н.П. Сажина (РЕДМЕТ-2024): Сб. тез. Москва, 3-5.04.2024, “Гиредмет”, – С.163-164.

[23-А]. Ахмедов, Ш.А. Синтез и физикохимические свойства алюминиевых сплавов с добавками празеодима / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов // Материалы международной научно-практической конференции на тему “Роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны”, посвященная провозглашению 2020-2040 годов “двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования”. Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 24.05.2024. – С.304-307.

[24-А]. Ахмедов, Ш.А. Синтез и термодинамические характеристики алюминиевых сплавов с добавками церия / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов, М. Чаманова // Материалы международной научно-практической конференции на тему “Роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны”, посвященная провозглашению 2020-2040 годов “двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования”. Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 24.05.2024. – С.316-319.

[25-А]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры плавления эвтектических сплавов систем алюминий – лантаниды / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, М. Чаманова, А.Э. Бердиев, А.Б. Бадалов // Республиканской научно–практической конференции «Проблемы и тенденции развития точных, математических и естественных наук», посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук. Душанбе: РТСУ, 28.05.2024. – С.33-37.

**ДОНИШГОҶИ АГРАРИИ ТОҶИКИСТОН
БА НОМИ ШИРИНШОҶ ШОҶТЕМУР**

ВБД: 536.8:620.1:621

Бо ҳуқуқи дастнавис



**АБДУХАЛИЛЗОДА Шараф Абдухалил
(АХМЕДОВ Шарафҷон Абдухалилович)**

**ХУСУСИЯТҲОИ ТЕПЛОФИЗИКИИ ИНТЕРМЕТАЛЛИДҲО ВА
ХӮЛАҲОИ ЭВТЕКТИКИИ СИСТЕМАИ АЛЮМИНИЙ –
ЛАНТАНИДҲО (ДАР ДОИРАИ ЛАНТАНИДҲОИ БОЙ),
МОДЕЛСОЗИИ ҚОНУНИЯТҲОИ ТАҒЙИРӢБИИ ОНҲО**

АВТОРЕФЕРАТИ

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмӣ
номзади илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси**

05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 - саноати мошинсозӣ)

Душанбе – 2025

Диссертатсия дар кафедраи баркикунонӣ ва автоматикунонии кишоварзии Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон (ДАТ) ба номи Ш.Шоҳтемур иҷро шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Бадалов Абдулхайр,

доктори илмҳои химия, профессор, узви вобастаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, профессори кафедраи химияи умумӣ ва ғайриорганикии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Муқарризони расмӣ:

Назарзода Хайрулло Холназар,

доктор илмҳои техникаӣ, профессор, профессори кафедраи математикаи олий ва илмҳои табиатшиносии Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон

Нуров Қурбонали Бозорович,

номзади илмҳои химия, дотсент, дотсенти кафедраи физикаи эксперименталии Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни

Муассисаи пешбар:

Муассисаи давлатии «Пажӯҳишгоҳи илмию таҳқиқотии металлургия»-и ҶСК «Ширкати алюминийи тоҷик»

Ҳимояи диссертатсия санаи «24» июни соли 2025, соати 9⁰⁰ дар ҷаласаи Шурои диссертатсионии 6D.KOA-028 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, дар суроғаи: 734042, ш. Душанбе, хиббони академикҳо Рачабовҳо, 10а баргузор мегардад. E-mail: adlia69@mail.ru, тел.: 918641755.

Бо матни диссертатсия дар китобхона ва сомонаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ шинос шудан мумкин аст: www.ttu.tj

Автореферат «___» _____ с. 2025 фиристода шудааст.

Котиби илмӣ
Шурои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникаӣ



Бабоева А.Х.

МУҚАДДИМА

Яке аз самтҳои бартариятнок ва оқилона татбиқ намудани ҳадафи чоруми стратегӣ – саноатикунони Ҷумҳурии Тоҷикистон, соҳаҳои истихроч, коркард ва металлургии саноати кимиё маҳсуб меёбад, ки ба коркарди маҷмаавии ашёи хоми табиӣ маҳаллӣ, аз ҷумла маъданҳои полиметаллӣ барои истихрочи металлҳо ва дигар моддаҳои муфид асос ёфтаанд.

Муҳимияти мавзӯ. Ба вучуд овардани маводҳои нав, бахусус системаи металлҳои дорои тавсифи амалии бобартарият истифодашаванда, асоси рушди босуръати илмӣ-техникӣ ва технологӣ маҳсуб меёбад. Таҳқиқотҳои заминавии тавсифи ҷузъҳо ва ошкорсозии онҳо дар хусусиятҳои умумии бинарӣ ва системаи металлҳои бисёрҷузъӣ асоси илмӣ барои бунёди ҳулаҳои дорои тавсифшавандаи «барномарезишуда» маҳсуб меёбад.

Чунин таҳқиқотҳо оид ба ҳулаҳои алюминий бо иловаҳои лантанидӣ аз сабаби зухуроти ҳосиятҳои муҳими конструкторӣ ва истифодабарӣ, ки ба истифодаи васеи онҳо дар соҳаҳои муосири саноат мусоидат мекунанд.

Мавзуи рисола омӯзиши тавсифҳои термодинамикии ҳулаҳои дар асоси алюминий бо легиронии металлҳои нодири заминӣ, бахусус бо лантанидҳо, муайян кардани вобастагии онҳо аз табиат ва таркиби иловакуниҳо, инчунин муқаррар намудани қонуниятҳои тафсири ҳосиятҳои ҳулаҳо мебошад, ки аҳамияти мавзуи корро низ муайян мекунад.

Дарачаи омӯзиши таҳқиқот. Ҳулаҳои алюминий бо омехтаҳои иловаи лантанидҳо тавсифҳои беназири муҳими амалиро нишон дода, дар соҳаи муосири техникую технологӣ васеъ истифода бурда мешаванд.

Тавачҷуҳи таҳқиқотчиён ва таҷрибадорони бисёр давлатҳои ҷаҳон ба ҷустуҷӯи усулҳои оқилонаи ба даст овардани ҳулаҳои нави алюминий бо иловаи моно- ва бисёрҷузъӣ, омӯзиши тавсифҳои онҳо ҷалб шудааст. Чунин таҳқиқотҳо аз тарафи олимони ватанӣ академики АМИТ Ғаниев И.Н. бо ҳамроҳии шогирдон, д.и.х., профессор Ҷураев Т.Ҷ. муваффақона гузаронида шуда истодааст. Мавҷудияти маълумотҳои эътимоднок оид ба хусусиятҳои теплофизикии ҳулаҳои алюминий бо лантанидҳои допиниравӣ, имконият медиҳад, ки қонуниятҳои тағйирёбии онҳо зерин таъсири омилҳои гуногуни дохилию берунӣ муайян гардад. Дар ин радиф имконияти ба даст

оврадани хӯлаҳои дорои хусусиятҳои қаблан «барномарезишуда» пайдо мешавад.

Алоқамандии кор бо барномаҳо ва мавзӯҳои илмӣ. Кори диссертатсионӣ ба нақшаи КИТ ДАТ ба номи Ш.Шоҳтемур дар мавзӯи “Тарҳрезӣ ва тақмилдиҳии конструксияҳои воситаҳои техникаӣ” (аз 25.02.2017, №10), Стратегияи миллии рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030 (аз 1 декабри соли 2016, №636) ва Барномаи рушди металлургияи ранга ва сиёҳ дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2025 (аз 1 марти соли 2019, №93) мувофиқат менамояд.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Мақсади кори мазкур ҳосил кардани хӯлаҳои системаҳои алюминий (Al) - лантанидҳо (Ln) (дар дораи лантанидҳои бой), муқаррар кардани сохтори кристаллӣ, таркиб ва саҳтии механикии хӯлаҳо; муайян кардани энталпия ва ҳарорати гудозиши интерметаллидҳо (ИМ), хӯлаҳои эвтектикии дар системаҳо ҳосилшуда; муқаррар намудани қонуниятҳои ҳосиятҳои вобастагии хӯлаҳо аз табиату таркиби хӯлаҳо ба шумор меравад.

Вазифаҳои диссертатсия дар ҳалли масъалаҳои зерин зоҳир мегардад:

- ҳосил намудани хӯлаҳои системаҳои Al-La, Al-Ce ва Al-Pr, муқаррар намудани навъи сохтор, муайян кардани таркиб ва тавсифҳои механикӣ;

- муайянсозии гармиғунҷоиши хӯлаҳои системаи Al-Pr, вобастагии ҳарорати он ва аз рӯйи он ҳисоб намудани тавсифҳои термодинамикӣ;

- механизми раванди оксидшавии хӯлаҳои системаҳои Al-Ce ва Al-Pr ва дар асоси онҳо муайян намудани тавсифҳои энергетикӣ ва кинетикӣ;

- ҷенкунии самарائي гармии ҳалшавии хӯлаҳои дар кислотаҳо ва дар асоси онҳо ҳисоб намудани ташаккули энталпияи объектҳо оид ба даврияти термохимиявӣ;

- муайянсозӣ ё мушаххас намудани бузургии тавсифҳои термодинамикии хӯлаҳои таркиби эвтектикӣ ва интерметаллидҳои системаи алюминий-лантанидҳо (дар доираи лантанидҳои бой);

- муайянсозии қонуниятҳои тағйирёбии таркиби гармофизикии хӯлаҳо ва моделсозии онҳо вобаста аз табиати лантанидҳо;

Объекти таҳқиқот – ҳӯлаҳои системаи алюминий – лантанидҳо, ки дар ин ҷо лантанидҳо – La, Ce ва Pr аст, интерметаллидҳо ва ҳӯлаҳои эвтектикӣ, ки дар системаи алюминий – лантанидҳо, аз лантанидҳои бой ташаккул ёфтаанд, тавсифҳои теплофизикӣ ва термодинамикии онҳо омӯхта шудааст, мебошад.

Мавзӯи таҳқиқот. Технологияи ҳосилкунии ҳӯлаҳои системаи алюминий-лантанидҳо, дар доираи лантанидҳои бой, омӯзиши хусусиятҳои гармофизикавӣ ва раванди оксидшавии ҳӯлаҳо. Муайянкунӣ ва муқарраркунии қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои термикии ҳӯлаҳо аз табиат ва миқдори лантанидҳо, моделсозии математикии онҳо.

Методология ва усулҳои таҳқиқот. Ҳангоми гузаронидани таҳқиқот усулҳои ҳисобӣ-назариявӣ ва таҷрибавӣ барои омӯختани хусусиятҳои ҳӯлаҳои бадастовардашудаи системаи алюминий – лантанидҳо (лантанидҳо - La, Ce ва Pr), таркибҳои интерметаллидҳо ва эвтектикии лантанидҳои бой истифода шуданд.

Таркиби химиявӣ ва сохтори ҳӯлаҳо бо усули сканеркунонии микроскопии электронӣ (SEM-и силсилаи AIS 2100 (Корея) ва Canon (Ҷопон)) муқаррар карда шуд. Сахтии ҳӯлаҳо бо усули стандартӣ дастгоҳи COUPAL (Эрон) муайян карда шуд.

Гармиғунҷоиши ҳоси ҳӯлаҳо бо усули хунуккунӣ дар ҳамкорӣ бо кормандони Донишгоҳи миллии Тоҷикистон муайян гардид. Коркарди натиҷаҳои таҷрибаҳои гузаронидашуда бо ёрии барномаи компютери MS Excel ба амал бароварда шуд. Графики қонунияти тағйирёбии ҳарорати хунуккунии намуна (T) аз вақти (t): $T=f(t)$ аз рӯи барномаи Sigma Plot сохта шудааст.

Бо усули термогравиметрӣ раванди кинетикии оксидшавии ҳӯлаҳо омӯхта шуд. Энталпияи ҳалшавии ҳӯлаҳо бо усули ҳалшавии калориметрии дорои қабати изотермикӣ дошта муайян карда шуд.

Таҳлили системавии тавсифи теплофизикии ҳӯлаҳои системаи алюминий-лантанидҳо, дорои лантанидҳои бой бо истифода аз усули нимэмпирикӣ ва ҳисобӣ гузаронида шуд. Моделсозии математикии қонуниятҳои тағйирёбии тавсифи теплофизикии ҳӯлаҳо бо усули таҳлили регрессионӣ амалӣ карда шуд.

Навгонии илмӣ кори диссертатсионӣ иборат аст аз:

- муайянсозии морфологияи сатҳи болоии ҳӯлаҳои системаи алюминий-лантанидҳо (La, Ce ва Pr), дорои самти хурддисперсиявии ишоракунанда ба беҳтаршавии хусусиятҳои механикӣ;

- муайянсозии гармигунҷоиши хоси ҳӯлаҳои системаи Al-Pr, тағйирёбии онҳо вобастагӣ аз ҳарорат ва аз рӯйи онҳо ҳисоб намудани хусусияти термодинамикии ҳӯлаҳо;

- муайянсозии гармии ҳалшавии ҳӯлаҳо дар кислотаҳои маъданӣ ва энталпияи ташаккулёбии ҳӯлаҳо аз рӯйи даврияти термохимиявӣ;

- механизми раванди оксидшавии ҳӯлаҳои системаҳои Al- Ce ва Al-Pr, тавсифҳои кинетикӣ ва энергетикӣ онҳо. Оксидшавии ҳӯлаҳо дар мавзеи диффузионӣ қорӣ мешавад. Ҳӯлаҳо бо иловаҳои лантанҳо нисбат ба алюминий тоза зудтар ба коррозия дучор мешавад;

- тавсифи термодинамикии ҳарорати ғудозиш ва энталпияи ғудозиши ҳӯлаҳои таркиби эвтектикии (дар доираи лантанидҳои бой) ва ИМ системаи алюминий-лантанидҳо. Қонунияти тағйирёбиҳо онҳо дар ин хусусиятҳо аз табиати лантанидҳо;

- муодилаи қонуниятҳои тағйирёбии тавсифи термодинамикии ҳарорати ғудозиш ва энталпияи ғудозиши ҳӯлаҳои таркиби эвтектикии (дар доираи лантанидҳои бой) ва ИМ системаи алюминий-лантанидҳо ва модели математикӣ онҳо;

Аҳамияти назариявии қор аз чунин муайянқунӣ иборат аст:

- хусусиятҳои теплофизикӣ – гармигунҷоиши хос, вобастагии ҳарорати он ва тавсифи термодинамикии ҳӯлаҳои системаи Al-Ln (дар ин ҷо Ln – La, Ce ва Pr);

- тавсифи кинетикӣ, энергетикӣ ва раванди механизми оксидшавии ҳӯлаҳои системаи Al-Ln (дар ин ҷо Ln – La, Ce ва Pr), вобаста аз табиати лантанидҳо;

- тавсифи теплофизикӣ – ҳарорат ва энталпияи ғудозиши эвтектика ва ИМ системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой, қонунияти тағйирёбии онҳо вобаста аз табиати лантанидҳо, омодақунӣ модели математикӣ қонуниятҳои муқарраршуда.

Аҳамияти амалии қор аз он иборат аст, ки натиҷаҳои бадастовардашудаи параметрҳои теплофизикӣ ва зангзании ҳӯлаҳои системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой тавсифи маълумотномавӣ дошта, метавон онҳоро ҳангоми ҳисоби хусусиятҳои теплофизикии ҳӯлаҳо ва речаҳои гармии истифодабарии конструкция ва маснуоти металл истифода бурд. Маълумот дар бораи гармию энталпияи ҳалшавии эвтектикӣ ва ИМ системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой, ҳазинаи бузургҳои термодинамикии системаи ҳӯлаҳоро дар асоси алюминий бо маълумоти нав пурра менамояд.

Моделҳои математикии муқарраркунандаи қонуниятҳои тағйирёбии тавсифҳои теплофизикии ҳулаҳо, хусусан марбути системаи Al-Ln, барои ба даст овардани маводҳо бо назардошти қаблан додашуда хусусиятҳои «барномарезишуда» асос ба ҳисоб мераванд.

Натиҷаҳои кори бадастомада дар КВД «Коргоҳи мошинасозӣ», Маркази илмӣ технологияҳои инноватсионӣ ва механиконики кишоварзии АИКТ амалӣ шудаанд (санадҳои татбиқ мавҷуд аст).

Нуктаҳои асосии ҳимояшавандаи диссертатсия:

- натиҷаҳои муайяншудаи параметрҳо – сохтор, таркиб ва тавсифҳои механикии ҳулаҳои системаи Al-Ln, дар ин ҷо Ln – La, Ce ва Pr, дар вобастагӣ аз табиат ва миқдори иловаи легиронӣ;

- гармигунҷоиши ҳулаҳои системаи Al-Pr, вобастагии он аз ҳарорати дар асоси тавсифҳои термодинамики ҳисобкарда шуда;

- оксидшавии ҳулаҳои системаи Al-Ce ва Al-Pr, раванди тавсифҳои кинетикӣ ва энергетикӣ муайяншуда;

- самарائي гармии раванди ҳалшавӣ ва бузургии ташаккули энталпияи ҳулаҳои системаҳои Al-Ce ва Al-Pr;

- тавсифи нисбатан пурра оид ба тавсифҳои термодинамикӣ-ҳарорати гудозиш ва энталпияи гудозиши ИМ ва эвтектикаҳои системаҳои Al-Ln (дар доираи лантанидҳои бой);

- қонуниятҳои хос дар тағйирёбии ҳарорат ва энталпияи гудозиши ИМ ва ҳулаҳои таркиби эвтектикии системаҳои Al-Ln (дар доираи лантанидҳои бой) дар вобастагӣ аз табиати иловаҳои ҳамроҳ карда шудаи модели математикии онҳо;

Дарачаи эътимоднокии натиҷаҳои таҳқиқот. Асосноккунии интиҳоби мавзӯ, натиҷаҳои озмоиш ва эътимоднокии онҳо бо ҳаҷми кофии маводҳои таҳқиқотӣ таъмин карда шудааст. Коркарди маълумотҳои озмоишӣ маводҳо новобаста бо истифодаи методҳои (усулҳои) муосиру дақиқи таҳқиқотӣ, мувофиқаи натиҷаҳо, инчунин методҳои (усулҳои) нимэмпирикӣ ва ҳисоби термодинамикӣ таъмин карда шудааст. Хулоса ва пешниҳодот дар асоси таҳлили илмӣ ва коркарди маводҳои назариявӣ озмоишӣ бо истифодаи воситаҳои техникаи ҳисоббарорӣ ва рақамикунони муосир таҳия карда шудааст.

Соҳаи таҳқиқот. Кори диссертатсионӣ ба шиносномаи ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 – саноати мошинсозӣ) мувофиқат мекунад. Ҳулаҳои дар асоси алюминий бо иловаи

лантанидҳо асосёфта хусусиятҳои муҳими истифодабариро, ки барои рушди соҳаҳои муосири саноат муҳим аст, нишон медиҳанд.

Марҳилаҳои таҳқиқот. Таҳқиқоти диссертатсионӣ дар давраи солҳои 2017-2024 бо марҳилаҳои зерин гузаронида шудааст:

- омӯختан ва таҳлили маълумотҳои адабиётӣ дар бораи ҳулаҳо дар асоси алюминий бо иловаи лантанидҳо;

- коркарди усулҳо ва шароити оптималӣ барои бадастории ҳулаҳои алюминий бо иловаи лантанидҳо;

- муайянкунии таркиб ва омӯхтани хусусиятҳои теплофизикии ҳулаҳои бадастомада;

- гузаронидани таҳлили системавӣ ва муқарраркунии қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои теплофизикӣ ва термодинамикии интерметаллидҳо ва таркиби эвтектикии ҳулаҳои аз лантанидҳои бой вобаста аз табиати лантанидҳо;

- коркарди модели математикии қонуниятҳои муқарраршуда.

Пойгоҳи иттилоотӣ ва озмоишии таҳқиқот. Пойгоҳи иттилоотии диссертатсионии мазкур аз интишороти илмӣ – монографияҳо, диссертатсияҳо, маҷаллаҳои илмӣ даврӣ, маводҳои симпозиумҳо (анҷуманҳои илмӣ), конференсҳо ва порталҳои интернетӣ, ки ба ҳулаҳои алюминий тааллуқ дорад (умқи ҷустуҷӯ зиёда аз 20 сол).

Кори диссертатсионӣ дар пойгоҳи кафедраи барқикунӣ ва автоматикунӣ кишоварзии Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш.Шоҳтемур иҷро карда шудааст. Инчунин ҳангоми гузаронидани озмоишҳои таҷрибавӣ, пойгоҳи озмоишии кафедраи химияи умумӣ ва ғайриорганикии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ истифода бурда шуд.

Кори диссертатсионӣ ба шиносномаи ихтисоси илмӣ 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 – саноати мошинсозӣ) ба бандҳои зерин мувофиқат мекунад: 1 - Қонуниятҳои ташаккули сохтори маводҳо бо маҷмӯи додаи тавсифҳои истифодабарӣ вобаста аз таркиби онҳо, таъсири механикии гармӣ; 2 – Қонунҳои тағйирёбии ҳосиятҳои механикӣ, физикавӣ химиявӣ маводҳо ва алоқамандии инҳо тағйирот бо тағйирёбии таркиби фазаӣ ва химиявӣ; 3 – Механизми табдилёбии фазаӣ ва сохторӣ дар мавод ҳангоми ҳосил намудан бо таъсири ҳарорат, дигаргуншавии қабатҳои болоӣ; 6 – Қонуният ва меъёрҳои баҳодии вайрошавии сохторӣ; усулҳои муосири таҳқиқоти макросохтори маводҳо; усулҳои озмоишӣ ва муайянсозии тавсифҳои

физикавию механикӣ, физикавию химиявӣ ва хусусиятҳои истифодабарии маводҳо; 7 – Моделҳои математикии табдилёбии физикавию химиявӣ, гидродинамикӣ ва ҳароратӣ ҳангоми истехсол, коркард, коркарди такрорӣ ва истифодабарии маводҳои гуногун. Таҳлили компютерӣ ва муносибосозии равандҳои ҳосилкунӣ ва истифодабарии маводҳо.

Саҳми шахсии муаллиф дар иштироки бевоситаи ӯ дар ҳамаи давраҳои иҷроиши кор чунин аст: интиҳоби мавзӯ, дар ҷамъоварӣ, коркард ва таҳлили маълумотҳои адабиётӣ аз рӯи мавзӯи диссертатсия, инчунин дар гузаронидани озмоишҳо оид ба омӯзиш ва натиҷагирӣ аз таркиби теплофизикии ҳулаҳои системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой. Инчунин дар истифодаи усулҳои ҳисоб, коркард ва таҳлили маълумотҳои озмоишӣ ва ҳисоби маълумотҳо, таҳияи модели математикии маълумотҳои тавсифи қонуниятҳои тағйирёбандаи ҳулаҳо, таҳияи ҳулосаҳо ва интишори маводҳои диссертатсионӣ мебошад.

Тасдиқоти натиҷаҳои таҳқиқот. Маводҳои асосии рисолаи диссертатсионӣ дар конференсияҳои илмӣ сатҳи гуногун муҳокима гардида, инчунин дар маҷаллаҳои тақризшаванда нашр карда шудааст. Натиҷаҳои асосии рисолаи диссертатсионӣ дар чунин конференсияҳои илмӣ маъруза ва муҳокима карда шудааст:

сатҳи байналмилалӣ: III-юмин конференсияи илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Илм-асоси рушди инноватсионӣ», Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, Душанбе, 26-27.04.2018с.; конференсияи илмӣ-амалии донишҷӯён, магистрантҳо, аспирантҳо ва олимони «Муҳандис-2019», Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, Душанбе, 14-16.03.2019с.; IV-умин конференсияи илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Илм-асоси рушди инноватсионӣ», Донишгоҳи миллии Тоҷикистон, Душанбе, 3-4.05.2019с.; конференсияи илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Афзалиятҳои рушди илм ва маориф» Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, Душанбе, 27-28.11.2019 с.; V-умин конференсияи байналмилалӣ оид ба «Ҳодисаҳои фотоэлектрикии оптикӣ дар микро- ва наносохторҳои нимоқилҳо», Ҷумҳурии Узбекистон, Фарғона, 13-14.11.2020с.; конференсияи илмӣ-амалӣ «Мутобиқшавии соҳаи кишоварзӣ ба тағйирёбии иқлим: мушкилот ва роҳҳои ҳал», Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шохтемур, Душанбе, 23-25.10.2021с.; конференсияи илмӣ-амалӣ «Дастовардҳои нави дар самти илмҳои

табӣӣ ва технологияҳои иттилоотӣ» Донишгоҳи Славянии Россия ва Тоҷикистон, Душанбе, 30.05.2023с.; конференсияи илмӣ-амалӣ «Металлҳои нодир ва маводҳо дар асоси онҳо: технология, хусусият ва истифодабарӣ», Москва, 3-5.2024 с.; конференсияи илмӣ-амалӣ «Нақши химия ва саноати химиявӣ дар саноатикунории босуръати кишвар», Душанбе, Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, Душанбе, 24.05.2024 с.; III-юмин конференсияи байналмилалӣ «Рушди илмҳои инноватсионӣ» (РИИ-2024), Маркази таҳқиқоти технологияҳои инноватсионии АМИТ, Душанбе, 12-13.10.2024с..

сатҳи ҷумҳуриявӣ: конференсияи илмӣ-амалӣ «Рушди инноватсионии кишоварзӣ дар шароити тағйирёбии иқлими ҷаҳонӣ: вазъи кунунӣ, мушкилот ва роҳҳои ҳалли онҳо», Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шотемур, Душанбе, 30.04.2020 с.; конференсияи илмӣ-амалӣ «Нақши илми муҳандисӣ дар истеҳсолоти кишоварзӣ: мушкилоти мубрам ва рушди соҳа», Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шотемур, Душанбе, 29.09.2020с.; конференсияи илмӣ-амалӣ «Мушкилот ва тамоюлҳои рушди илмҳои дақиқ, риёзӣ ва табиӣ», Донишгоҳи Славянии Россия ва Тоҷикистон, Душанбе, 25.05.2024с..

Маводҳои диссертатсия дар раванди тадриси ихтисосҳои мошинсозӣ ва металлургии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М.С. Осимӣ, дар факултети химия ва физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва факултети механикони кишоварзии Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш.Шотемур истифода мешавад. Инчунин натиҷаҳои кори таҳқиқотӣ дар фаъолияти амалии КВД «Қоргоҳи мошинасозӣ», Маркази илмӣ технологияҳои инноватсионӣ ва механикони кишоварзии АИКТ мавриди истифода қарор мешавад, ки инҳоро санадҳои тадбиқ собит менамояд.

Интишороти натиҷаҳои таҳқиқот. Дар асоси таҳқиқоти гузаронидашуда ва натиҷаҳои ба даст овардашуда аз рӯи мавзӯи рисолаи диссертатсионӣ ҳамагӣ 25 интишороти илмӣ нашр карда шудааст, аз ҷумла 9 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои тақризшавандаи дар феҳристи КОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шуда, 2 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои тақризшавандаи КОА назди Вазорати маориф ва илми Федератсияи Россия ва 14 мақолаҳои илмӣ дар маводҳои конференсияҳои сатҳи ғуногун нашр карда шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми рисолаи диссертатсионӣ. Рисолаи диссертатсионӣ аз муқаддима, чор боб, хулоса ва рӯйхати адабиёти истифодашудаи иборат аз 212 номгӯй, дар ҳаҷми 155 саҳифаи чопи компютерӣ, 42 расм ва 34 ҷадвал таҳия карда шудааст.

ҚИСМИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар сарсухан маълумот оид ба муҳимияти мавзуи рисола, коркарди он, асосноккунии мақсад ва вазифаҳои кор, наwgонии илмӣ, аҳамияти назариявӣ ва амалии он, санҷиши натиҷаҳо ва наشري маводҳо оварда шудааст.

Дар боби якум таҳлили маълумотҳои адабиёт оид ба сохти электронии маъдан ва усулҳои ҳосил кардани лантанидҳо ва хӯлаҳои онҳо бо алюминий оварда шудааст. Маълумот дар бораи хусусиятҳои физикию химиявӣ ва термодинамикии ИМ системаҳои Al-Ln, инчунин вазифаҳои рисола пешниҳод гардидааст.

Дар боби дуюм оид ба усули ҳосил кардани хӯлаҳои Al-La, Al-Ce ва Al-Pr, оид ба амалисозии усулҳои таҷрибавӣ – микроскопи сканерии элетронӣ, оид ба усулҳои хунуккунӣ, термогравиметрӣ, ТРФ (таҳлили рентгению фазавӣ) ва ҳалшавии калориметрӣ маълумотҳо оварда шудааст. Усулҳои ҳисобкунӣ ва нимэмпирикии таҳлили системавии тавсифҳои гармофизикавии хӯлаҳо тавсиф шудаанд.

Боби сеюми рисола ба муайянкунии таркиб, морфологияи сатҳи болоӣ ва тавсифҳои механикии хӯлаҳои системаи алюминий – лантанидҳо (дар ин ҷо лантанидҳо – лантан, серий ва празеодим) бахшида шудааст. Натиҷаҳои ҷенкунии гармиғунҷоиши хӯлаҳои системаҳои алюминий – празеодим, равандҳои ҳалшавии хӯлаҳои алюминий – серий ва алюминий – празеодим ва энталпияи ташакулёбии ин хӯлаҳо. Натиҷаҳои омӯзиши раванди оксидшавии хӯлаҳо ва тавсифҳои ҳисобкунии кинетикию энергетикӣ оварда шудаанд.

Боби чоруми рисола ба таҳлили системавии адабиёт ва аҳамияти хусусиятҳои термодинамики аз тарафи мо ҳосилшуда – ҳарорати гудозиш ва энталпияи гудозиши ИМ, хӯлаҳо таркиби эвтектикии системаҳои Al-Ln, ки аз лантанидҳо бой мебошанд, бахшида шудааст. Қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои хӯлаҳо вобаста ба табиати лантанидҳо ва моделҳои метематикии онҳо.

Ҳосилкунӣ, таркиби химиявӣ ва хусусиятҳои хӯлаҳои системаҳои Al – Ln (дар ин ҷо Ln – La, Ce ва Pr)

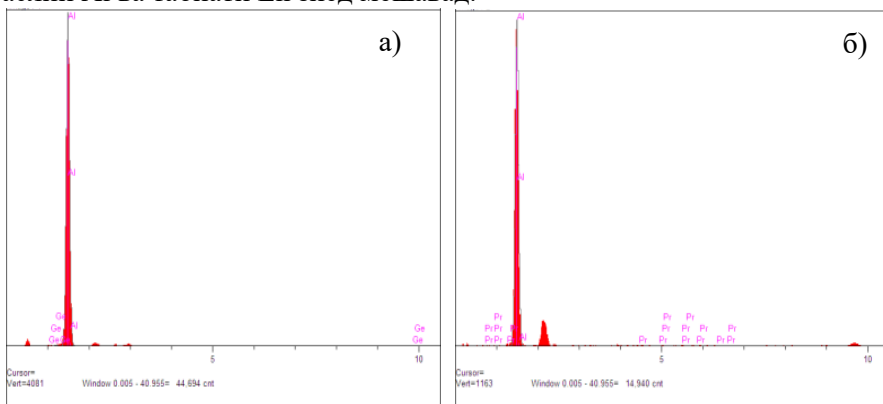
Хӯлаҳо бо усули коркардшуда дар печи муқовимати вакуумӣ бо риояи ҳамаи талабот ҳангоми таҷрибаҳо ҳосил карда шуданд, ки

таркиби онҳ бо ёрии микроскопи электронӣ муқаррар карда шуд (ҷадвали 1).

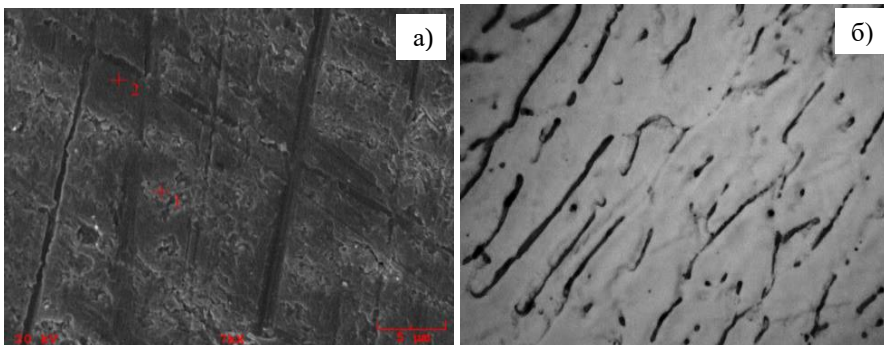
Ҷадвали 1. – Таркиби химиявӣ ва шиддатнокии хати чузъҳои ҳулаҳои алюминий бо лантанид легиронишуда

Система	Воҳиди ченак	Концентрацияи унсур	Иштибоҳи таҷриба	Шиддатнокии хат	Хат
Al-Ce	масс.%	99.505 Al	42.197	4.541.02	K α
	масс.%	0.495 Ce	0.992	1.28	L α
Al-Ce	масс.%	41.901 Al	22.708	1.289.56	K α
	масс.%	58.099 Ce	13.031	424.76	L α
Al-Pr	масс.%	97.942 Al	21.204	1.126.85	K α
	масс.%	2.058 Pr	1.115	3.34	L α
Al-Pr	масс.%	99.009 Al	20.025	1.213.25	K α
	масс.%	0.991 Pr	0.754	1.18	L α

Диффрактограммаҳо ва микроструктураи ҳулаҳо дар расмҳои 1 ва 2 нишон дода шудаанд. Якхела будани морфологияи сатҳи болоӣ дар муқоиса бо намунаи аслий оид ба беҳтар шудани хусусияти механикии ҳулаҳоро нишон медиҳад. Дар фосилаҳои таркиби омӯхташуда сохтори ҳулаҳо аз маҳлули саҳти $\alpha\text{Al}+\text{эвт. } (\alpha\text{Al}+\text{Al}_{11}\text{Ln}_3)$ иборат аст, ҳиссаи эвтектикӣ бо зиёд шудани таркиби лантанид меафзояд, ки ба сохтор ва хусусияти ҳулаҳо таъсири дигаргункунанда дорад (расми 2б). Саҳтии ҳулаҳо (ҷадвали 2) аз рӯи натиҷаҳои 3-4 ҷенкунӣ муайян карда шуд ва бо афзоиши концентрацияи иловаҳо вобаста ба тозагии аслии Al ва табиати Ln зиёд мешавад.



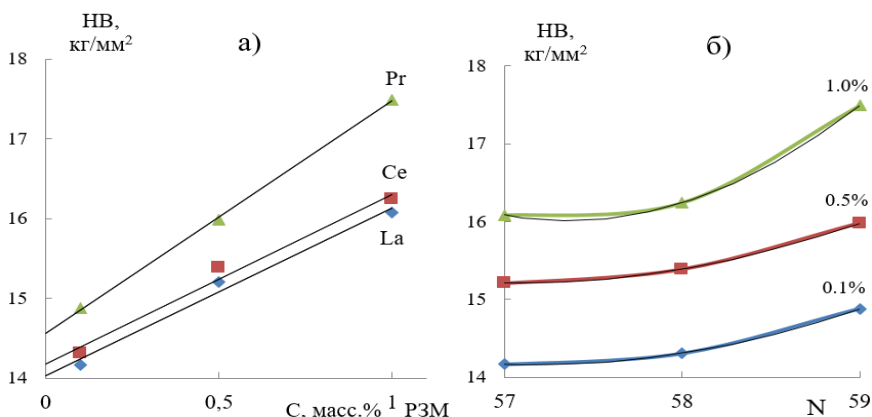
Расми 1. – Диффрактограммаҳои ҳулаҳои алюминий, дорои 0,5 масс.% Ce (а) ва 2,0 масс.% Pr (б)



Расми 2. – Морфологияи сатҳи болоии хӯлаҳои алюминий, дорои 2.0 масс.% Pr (а) ва 1.0 масс.%: La (б) (х 500)

Ҷадвали 2. – Сахтии (кг/мм²) хӯлаҳои Al (аз рӯйи Бринеллӣ)

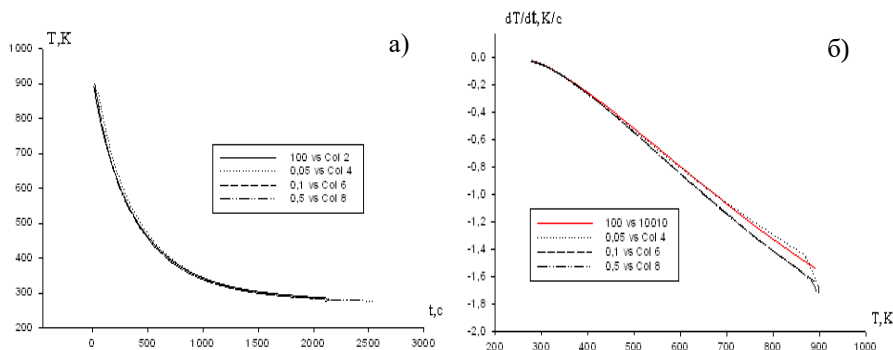
C, масс. %	Сахтии хӯлаҳо		
	La	Ce	Pr
0.1	14.17	14.31	14.88
0.5	15.21	15.39	15.98
1.0	16.08	16.24	17.49



Расми 3. – Графики тағйирёбии сахтии хӯлаҳои алюминий бо лантанидҳо легиронишуда дар вобастагӣ аз миқдори иловакунӣ (а) ва табиати (N) (б) лантанидҳо

Дар расми 4 графикҳои қачхатаи вобастагии ҳарорати хӯлаҳои системаҳои Al-Pr аз рӯйи вақт (а) ва суръати хунукшавӣ (б) оварда шудаанд. Зариби гармигузаронӣ (α), суръати хунукшавӣ ($\dot{Y}$),

гармиғунҷоиши хос ва тибқи онҳо хусусияти термодинамикии ҳўлаҳо ҳисоб карда шудаанд (ҷадвали 3).



Расми 4. – Вобастагии ҳарорат (а) ва суръати хунуқшавии (б) ҳўлаҳои системаҳо Al-Pg дар вақташ

Ҷадвали 3. – Муодилаи вобастагии ҳарорати функсияи объектҳо

Объект	Функсия	Муодила
Al	$\dot{Y}$	$Y = 555,4776 \cdot \exp(-0,00281t) + 340,1131 \cdot \exp(-9,9816 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.05Pr	$\dot{Y}$	$Y = 613,6557 \cdot \exp(-0,00272t) + 322,5756 \cdot \exp(-6,5358 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.1Pr	$\dot{Y}$	$Y = 577,9059 \cdot \exp(-0,00302t) + 342,2163 \cdot \exp(-9,9388 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.5Pr	$\dot{Y}$	$Y = 575,3125 \cdot \exp(-0,00299t) + 337,5391 \cdot \exp(-8,8335 \cdot 10^{-5}t)$
Al	C_p	$C_p = 822,400 + 0,5T + 0,02 \cdot 10^{-2}T^2 + 24,31 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.05Pr	C_p	$C_p = 822,036 + 0,5T + 0,199 \cdot 10^{-3}T^2 + 24,32 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.1Pr	C_p	$C_p = 821,673 + 0,499T + 0,199 \cdot 10^{-3}T^2 + 24,325 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.5Pr	C_p	$C_p = 818,764 + 0,498T + 0,195 \cdot 10^{-3}T^2 + 24,37 \cdot 10^{-8}T^3$
Al	(α)	$ \alpha(T) = -11,558 + 0,039T + 0,1246 \cdot 10^{-4}T^2 - 16,25 \cdot 10^{-9}T^3$
Al+0.05Pr	(α)	$ \alpha(T) = -11,400 + 0,039T + 0,1947 \cdot 10^{-4}T^2 - 25,13 \cdot 10^{-9}T^3$
Al+0.1Pr	(α)	$ \alpha(T) = -9,85 + 0,029T + 0,3394 \cdot 10^{-4}T^2 - 41,98 \cdot 10^{-9}T^3$
Al+0.5Pr	(α)	$ \alpha(T) = -8,252 + 0,018T + 0,5705 \cdot 10^{-4}T^2 - 41,98 \cdot 10^{-9}T^3$
Al+0.05Pr	S	$S(T) = 22,2279 \ln T + 0,01352T + 0,27 \cdot 10^{-5}T^2 + 0,219 \cdot 10^{-8}T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,2279T + 0,00676T^2 + 0,18 \cdot 10^{-5}T^3 + 0,164 \cdot 10^{-8}T^4$
	G	$G(T) = -22,2279T(\ln T - 1) - 0,00676T^2 - 0,899 \cdot 10^{-6}T^3 - 0,548 \cdot 10^{-9}T^4$
Al+0.1Pr	S	$S(T) = 22,218 \ln T + 0,01352T + 0,269 \cdot 10^{-5}T^2 + 0,219 \cdot 10^{-8}T^3$

Al+0.1Pr	H	$H(T) = H(0) + 22,218T + 0,00675T^2 + 0,18 \cdot 10^{-5}T^3 + 0,164 \cdot 10^{-8}T^4$
	G	$G(T) = -22,218T(\ln T - 1) - 0,00675T^2 - 0,898 \cdot 10^{-6}T^3 - 0,548 \cdot 10^{-9}T^4$
Al+0.5Pr	S	$S(T) = 22,1394 \ln T + 0,0135T + 0,265 \cdot 10^{-5}T^2 + 0,22 \cdot 10^{-8}T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,1394T + 0,00675T^2 + 0,177 \cdot 10^{-5}T^3 + 0,165 \cdot 10^{-8}T^4$
	G	$G = -22,1394T(\ln T - 1) - 0,00675T^2 - 0,883 \cdot 10^{-6}T^3 - 0,549 \cdot 10^{-9}T^4$

Муайянкунии калориметрии гармии ҳалшавӣ ва энталпияи ташаккули ҳӯлаҳои системаи Al – Ln (дар ин ҷо Ln – Ce ва Pr)

Шароит ва натиҷаҳои таҷрибавии гармии ҳалшавии ҳӯлаҳо дар маҳлули кислотаи гидрогенхлорид, энталпияҳои ҳисобшудаи ҳосилшавии ҳӯлаҳо мутаносибан дар ҷадвалҳои 4 ва 5 оварда шудаанд.

Ҷадвали 4. – Шароит ва гармии ҳалшавии ҳӯлаҳои системаҳои Al – Ln

Al–Ln	C, масс. %	№ таҷриба	м, г	μ, г/мол	Q, кҶ	$\Delta H_{\text{мах}}^{0,298}$, Ҷ/мол	Миёнаи $-\Delta H_{\text{мах}}^{0,298}$, кҶ
Al–Ce	0.1	1	0.0133	27.11	8.692	1762.50	1668.47±100
		2	0.0141		9.650	1584.71	
		3	0.0399		12.271	1658.20	
	0.5	1	0.0136	27.56	9.206	1878.62	1792.04±90
		2	0.0161		10.335	1779.61	
		3	0.0205		12.720	1717.87	
	1.0	1	0.0145	28.13	8.884	1734.77	1804.46±70
		2	0.0159		9.427	1777.72	
		3	0.0173		12.299	1900.91	
Al–Pr	1.0	1	0.0142	28.11	6.646	1316.09	1319.35±30
		2	0.0155		7.745	1350.22	
		3	0.0185		8.499	1291.725	
	2.0	1	0.0280	29.26	7.193	7321.24	7058.3±500
		2	0.0334		8.627	7567.87	
		3	0.0410		10.001	7143.78	
		4	0.0568		11.161	6734.42	
		5	0.0644		12.188	6523.86	
	4.0	1	0.0221	31.55	5.430	7627.17	6679.0±100
		2	0.0363		8.245	6869.91	
		3	0.0397		7.986	6423.43	
		4	0.0457		9.141	6342.22	
		5	0.0507		9.855	6132.35	

Идомаи ҷадвали 4

Al-Pr	6.0	1	0.0199	33.83	5.116	7856.70	7457.8±600
		2	0.0311		7.1286	8100.02	
		3	0.0352		7.510	7508.97	
		4	0.0462		8.285	6944.21	
		5	0.0611		10.214	6878.57	

Эзоҳ: С – консентратсия; м – массаи бор; μ – массаи молярӣ; Q – гармии ҳалшавӣ; $-\Delta H^0_{298, \text{мах.}}$ – энталпияи ҳалшавӣ.

Қобили қайд аст, ки раванди ҳалшавии хӯлаҳои системаи алюминий – празеодим ҳароратбарор (экзотермикӣ) ба ҳисоб меравад (ҷадвали 4).

Ҷадвали 5. – Энталпияи раванди ҳалшавии ИМ системаҳои Al-Ln

Тарки- би ИМ	№ Таҷ- риба	м, г	μ , г/мол	Q, кҶ	$-\Delta H^0_{298, \text{мах.}}$ Ҷ/мол	Миёнаи $-\Delta H^0_{298, \text{мах.}}$
AlCe ₂	1	0.3768	307.3	3.99	3226.9	3229.1 ± 5
	2	0.3989		4.20	3231.8	
	3	0.3297		3.45	3232.9	
	4	0.4602		4.87	3224.8	
	5	0.3912		4.05	3228.1	
AlCe ₃	1	0.5399	447.35	7.87	6524.9	6526.8 ± 9
	2	0.5993		8.63	6535.6	
	3	0.5290		7.70	6519.8	
	4	0.4895		7.35	6601.4	
AlPr	1	0.2936	167.89	2.33	1334.7	1338.1 ± 10
	2	0.5406		4.41	1336.0	
	3	0.6598		5.27	1342.3	
	4	0.4840		3.83	1330.8	
	5	0.2192		1.76	1346.7	
AlPr ₂	1	0.2764	308.8	4.32	2912.7	2854.1 ± 60
	2	0.3099		4.21	2827.2	
	3	0.4307		5.62	2832.9	
	4	0.3894		4.73	2873.3	
	5	0.2564		4.13	2824.4	

Қимати энталпияи ҳалшавӣ ва маълумотҳои адабиёт имкон доданд, ки энталпияи ташаккули хӯлаҳо мувофиқи даврияти термохимиявии тартибдодашуда ҳисоб карда шаванд (ҷадвали 6).

Ҷадвали 6. – Энталпияи ташаккули ИМ системаи Al-Ln

ИМ	$-\Delta fH^0_{298}, \frac{\text{кҶ}}{\text{мол-атом}}$		ИМ	$-\Delta fH^0_{298}, \frac{\text{кҶ}}{\text{мол-атом}}$	
	Адабиёт т	Таҷриба		Адабиёт	Таҷриба
AlCe	32.51	34.02 ± 5	Al ₂ Pr	62.77	58.13
	47.23		AlPr	-	38.52
AlCe ₂	21.29	20.58 ± 3	AlPr ₂	-	24.69
	16.62				
β-AlCe ₃	15.01	14.83 ± 2	AlPr ₃	-	17.03

**Раванди оксидшавии ҳӯлаҳои системаи Al – Ln
(ин ҷо Ln – Ce ва Pr)**

Натиҷаҳои таҳқиқот раванди оксидшавии ҳӯлаҳои системаҳои Al-Ln (Ln – Ce, Pr)-ро бо усули термогравиметрӣ дар муҳити атмосферӣ, ҳангоми ҳароратҳои 573, 673 ва 773К (ҷадвали 7) нишон медиҳанд, ки афзоиши таркиби лантанидҳо (С, масс. %) боиси зиёд шудани суръати оксидшавӣ (v) ва пастшавии бузургии энергияи ғаёлноки ($E_{\text{фаъ}}$, кҶ/мол) ҳӯлаҳо мегардад.

Ҷадвали 7. – Нишондодҳои кинетикӣ ва энергетикӣи равандҳои оксидшавии алюминий ва ҳӯлаҳои Al-Ce ва Al-Pr

Ме/ Сис- тема	C _{Ln} , %	T, K	K·10 ⁻⁶ , кг·м ⁻² с _{он} ⁻¹	E _{фаъ.}	Сис- тема	C _{Ln} , %	T, K	K·10 ⁻⁶ , кг·м ⁻² с _{он} ⁻¹	E _{фаъ.}
Al	-	573	2.02	96±4	Al-Pr	0.05	573	2.01	114±3
		673	3.29				673	3.21	
		773	4.25				773	4.29	
Al-Ce	0.05	573	2.07	104±5		0.1	573	2.76	84±4
		673	3.08				673	3.79	
		773	4.16				773	4.97	
	0.1	573	3.03	75±4		0.5	573	3.87	73±4
		673	4.1				673	4.31	
		773	5.12				773	5.72	
	0.5	573	4.0	55±5		1.0	573	4.24	52±2
		673	4.72				673	5.03	
		773	6.07				773	6.25	
1.0	573	4.71	39±5						
	673	5.3							
	773	6.84							

**Таҳлили системавии тавсифҳои термикӣ ва термодинамикии ИМ
ва эвтектикаи системаи Al – Ln, аз лантанид бой. Моделсозии
қонуниятҳои тағйирёбии онҳо**

Дар системаи Al-Ln ИМ таркибҳои зерин ба вуҷуд меоянд: $AlLn_3$, $AlLn_2$, Al_2Ln_3 , $AlLn$, Al_2Ln , Al_3Ln , $\alpha-Al_{11}Ln_3$ ва $\beta-Al_{11}Ln_3$ ва дигаргункуниҳои эвтектикӣ бо ҳосилшудани ҳулаҳои таркиби эвтектикӣ ба амал меоянд. Диаграммаҳои ҳолати баъзе системаҳои Al-Ln ба хусус дар доираи лантанидҳои бой нокифоя омӯхта шудаанд.

**Хусусияти термохимиявии ҳулаҳои таркиби эвтектикии
системаҳои Al-Ln дар доираи лантанидҳои бой**

Маълумотҳои адабиётӣ оид ба ҳарорати гудозиши ҳулаҳои таркиби эвтектикии системаҳои Al-Ln нопурра мебошад, ба хусус дар системаҳои Al-Eu, Al-Tb ва Al-Tm дар доираи лантанидҳои бой. Барои ҳулаҳои системаи Al-Pm, Al-Lu ин маълумотҳо мавҷуд нестанд. Эталпияи гудозиши ҳулаҳои эвтектикии системаи Al-Ln ҳангоми шароити стандартӣ дар ҳама ҷо вуҷуд надорад.

Ҳарорати гудозиши ҳулаҳои имконпазири (виртуалии) таркиби эвтектикии системаҳои Al-Lu дар адабиёт мавҷуд нест ва бо усулҳои ҳисоби муқоисавӣ ва фарқиятҳо аз тарафи мо баҳо дода шудааст (дар ҷадвали 8(*) ишора шудааст). Равиш ба шабеҳии сохтори электронии атомҳои La, Gd, Lu бо мавҷудияти 5d - электронҳо асос ёфтааст.

Маълумотҳои умумӣ дар бораи табдилёбии эвтектика ва ҳарорати гудозиши ҳулаҳои таркиби эвтектикии системаҳои Al-Ln (дар доираи лантанидҳои бай) дар ҷадвали 8 оварда шудааст.

Ҷадвали 8. – Навъи табдилёбӣ ва ҳарорати гудозиши эвтектикии
(лантанидҳои бой) системаҳои Al-Ln

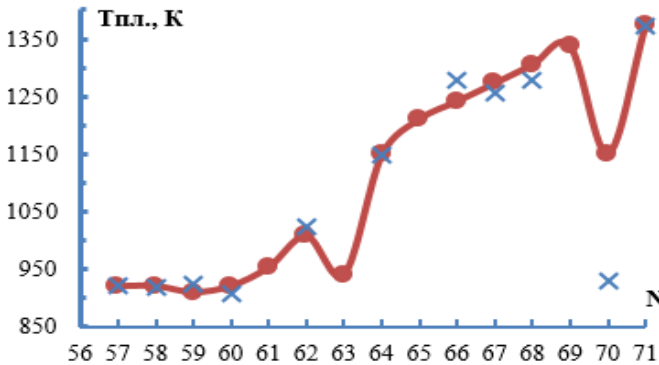
Система	Табдилёбӣ	% ат. Ln	T _{гуд.} , K	
			адабиёт	ҳисоб
Al-La	La + AlLa ₃	-	820; 912	920
Al-Ce	Ж=βAlCe ₃	70,0	918	920
	Ж = (Ce) + β AlCe ₃	89,0	853	
Al-Pr	AlPr ₂ + αPr	82,0	923	923
Al-Nd	-	-	908	920
Al-Pm	-	-	-	953
Al-Sm	-	-	1023	1007
Al-Eu	-	-	-	940
Al-Gd	Ж = (αGd)+Al ₃ Gd ₂	77,0	1148	1148

Al-Tb	-	-	-	1210
Al-Dy	Ж—(Dy)+Dy ₂ Al, Ж—Dy ₂ Al+Dy ₃ Al ₂	81,0 61,0	1278 1279	1241
Al-Ho	AlHo ₂ + Ho Al ₂ Ho ₃ + Al ₂ Ho	76,0	1249 1257	1273
Al-Er	-	88,0 58,0	1278 1318	1305
Al-Tm	-	-	-	1338
Al-Yb	-	-	930	1150
Al-Lu	-	-	-	1373*

Усули нимэмпирикӣ, ки сохти электронии атоми лантанидҳо ба ҳисоб гирифта шуд, ҳарорати гудозиши ($T_{гуд}$) ҳулаҳои таркиби эвтектикии системаҳои Al-Ln дар доираи лантанидҳои бой аз рӯйи муодилаи муайян ёдакиқ карда шуд:

$$T_{(AlxLn_y)} = T_{(AlxLn_y)} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' L_{(Ce-Eu)} (\gamma'' L_{(Tb-Yb)}) \quad (1)$$

Зарибҳои муодилаи [1] $\alpha = 32,357$; $\beta = 0,429$; $\gamma' = -21,629$ ва $\gamma'' = -0,694$ ва $\alpha = 0,5543$, $\beta = 0,4543$, $\gamma' = -0,4432$ и $\gamma'' = -0,6034$ (моделаи [3]) баробаранд.



Расми 5. – Қонуниятҳои тағйирёбии ҳарорати гудозиши эвтектикаҳои системаҳои Al-Ln, Ln-ҳои бой, аз табиати лантанидҳо: х – адабиёт; ● – ҳисоб.

Қонуниятҳои тасвири графикӣ дар тағйирёбии ҳарорати гудозиши ҳулаҳои таркиби эвтектика, Ln-и бой вобаста ба табиати лантанидҳо (расми 5) зухуроти «тетрад-эффект» нишон дода шудааст. Ҳарорати гудозиши ҳулаҳо бо зиёдшавии рақами тартибии Ln бо таври аёни

мушоҳида мегардад. Аз қонуният афтидани ҳулаҳои эвтектикии европий ва иттербий мушоҳида мегардад, ки ба сохти электрони онҳо алоқаманданд.

Маълумотҳои бадастовардаи мо оид ба ҳарорат ва энталпияи гудозиш Ln , Al ва ҳарорати гудозиши эвтектика (ҷадвали 8) имкон дод, ки энталпияи гудозиши онҳо ($\Delta H^0_{гуд.}$) аз рӯи муодила ҳисоб карда шавад (ҳисоби 1):

$$\Delta H^0_{пл., эвтек. Al_xLn_y} = T_{пл. эвтек.} (y\Delta H_{пл.}^{Ln/T_{пл.}^{Ln}} + x\Delta H_{пл.}^{Al/T_{пл.}^{Al}}) / (x+y) \quad (2)$$

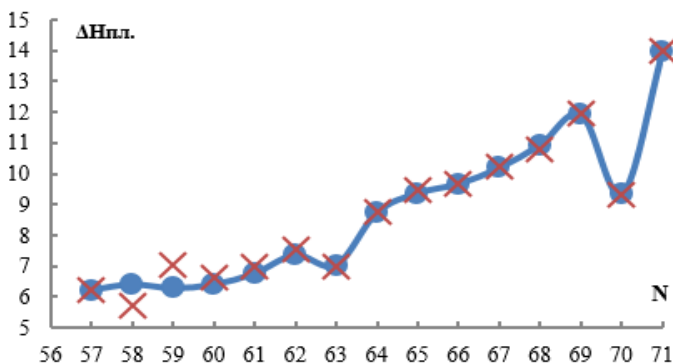
Инчунин барои муқоиса усули нимэмпирикии Полуктов Н.С. (ҳисоби 2) аз рӯи формула истифода шуд:

$$\Delta H^0_{пл., эвтек. Al_xLn_y} = \Delta H^0_{пл., Al_xLa_y}^{эвтек.} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' S_{(Ce-Eu)} (\gamma'' L_{(Tb-Yb)}) \quad (3)$$

Натиҷаҳои ҳисобҳои қимати энталпияи гудозиши эвтектикаи системаи $Al-Ln$, аз лантанидҳои бой дар ҷадвали 9 оварда шудааст. Тибқи онҳо қонунияти тағйирёбии он вобаста ба табиати лантанидҳо муайян гардид (расми 6).

Ҷадвали 9. – Энталпияи гудозиши эвтектика дар системаҳои $Al-Ln$

Система	Табилобаии эвтектика	Ln , %	$\Delta H_{гуд. T}$, Q /мол-атом	
			ҳисоби 1	ҳисоби 2
$Al-La$	$La + AlLa_3$	-	6,22	6,22
$Al-Ce$	$Ж = \beta AlCe_3$	70,0	6,41	5,73
	$Ж = (Ce) + \beta AlCe_3$	89,0		
$Al-Pr$	$AlPr_2 + \alpha Pr$	82,0	6,28	7,04
$Al-Nd$	-	-	6,40	6,61
$Al-Pm$	-	-	6,76	6,98
$Al-Sm$	-	-	7,36	7,55
$Al-Eu$	-	-	7,03	7,01
$Al-Gd$	$Ж = (\alpha Gd) + Al_3Gd_2$	77,0	8,74	8,74
$Al-Tb$	-	-	9,37	9,47
$Al-Dy$	$Ж - (Dy) + AlDy_2$	81,0	9,66	9,69
	$Ж - AlDy_2 + Al_2Dy_3$	61,0		
$Al-Ho$	$AlHo_2 + Ho$, $Al_2Ho_3 + Al_2Ho$	76,0	10,19	10,23
$Al-Er$	-	88,0; 58,0	10,94	10,78
$Al-Tm$	-	-	11,91	11,98
$Al-Yb$	-	-	9,33	9,33
$Al-Lu$	-	-	13,98	13,98



Расми 6. – Графики тағйирёбии энталпияи гудозиши эвтектикии системаҳои Al-Ln, аз Ln бой, вобаста ба табиати Ln:
x – ҳисоби 1; ● – ҳисоби 2.

Аз қиматҳои ҷадвали 9 ва расми 6 мувофиқати ҳуҷи бузургиҳои ҳисобшудаи натиҷаҳои ба даст овардашудаи ду усул дида мешавад.

Муайянкунӣ ва таҳлили системавии ҳарорат ва энталпияи гудозиши интерметаллидҳои системаҳои Al-Ln, аз лантанидҳо бой

Аз рӯи бузургиҳои бадастовардашуда ҳарорати гудозиши ИМ системаҳои Al-Ln, дар доираи лантанидҳои бой, Al ва Ln бо қимати энталпияи гудозиши ($\Delta H^0_{\text{гуд.}}$, кҶ/мол-атомҳо) ИМ системаҳои Al-Ln, аз лантанидҳо бой, аз рӯи формула (ҳисоби 1) муайян карда шуд:

$$\Delta H^0_{\text{пл., ИМ Al}_x\text{Ln}_y} = T_{\text{пл. ИМ}} (y \Delta H^0_{\text{пл. Ln}} / T_{\text{пл. Ln}} + x \Delta H^0_{\text{пл. Al}} / T_{\text{пл. Al}}) / (x+y) \quad (4)$$

Натиҷаҳои ҳисоби энталпияи гудозиши ИМ таркиби AlLn_3 , AlLn_2 , Al_2Ln_3 и AlLn дар ҷадвали 10 оварда шудааст.

Ҷадвали 10. – Тавсифҳои термохимиявии ИМ системаҳои Al-Ln дар доираи лантанидҳои бой ($T_{\text{гуд.}}$, К; $\Delta H^0_{\text{гуд.}}$, кҶ/мол-атомҳо)

Модда			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu
Лантанидҳо	$T_{\text{гуд.}}$	Ҳ-2	1192	1197	1209	1246	1302	1384	1098
		Ад.	1191	1071	1204	1294	1315	1347	1095
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	Ҳ-2	6,21	6,39	6,92	7,19	7,74	8,57	9,21
		Ад.	6,20	5,46	6,89	7,14	7,62	8,62	9,21
AlLn	$T_{\text{гуд.}}$	Ҳ-2	1146	1148	1174	1184	1202	1232	1226
		Ад.	1146	1118	1178	1213	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	Ҳ-1	9,53	9,60	10,07	10,19	10,45	10,85	12,34
		Ҳ-2	9,53	9,85	9,86	10,03	10,38	10,90	10,11

Идомаи ҷадвали 10

Al_2Ln_3	$T_{\text{гуд.}}$	X-2	1065	1085	1089	1104	1131	1169	1124
		Ад.	-	-	-	-	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	X-1	8,19	8,43	8,72	8,88	9,21	9,68	10,79
		X-2	8,19	8,57	8,61	8,80	9,13	9,60	9,11
AlLn_2	$T_{\text{гуд.}}$	X-2	984	1016	1025	1047	1081	1128	1095
		Ад.	-	-	-	1008	1068	-	-
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	X-1	7,16	7,48	7,81	8,03	8,41	8,95	10,29
		X-2	7,16	7,62	7,71	7,94	8,32	8,85	7,11
AlLn_3	$T_{\text{гуд.}}$	X-2	873	909	927	950	978	1012	971
		Ад.	823	928	903	948	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	X-1	5,65	6,23	6,62	6,83	7,16	7,58	8,88
		X-2	5,65	6,28	6,51	6,82	7,21	7,67	6,11

Идомаи ҷадвали 10

Модда			Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Лантаноидҳо	$T_{\text{гуд.}}$	X-2	1586	1628	1684	1723	1771	1829	1093	1929
		Ад.	1586	1629	1685	1747	1802	1818	1092	1936
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	X-2	10,04	10,78	11,09	11,87	13,14	14,88	7,67	18,85
		Ад.	10,04	10,79	11,06	17,0	19,92	16,86	7,66	22,0
AlLn	$T_{\text{гуд.}}$	X-2	1348	1368	1372	1388	1417	1457	1424	1548
		Ад.	1348	-	-	1388	1338	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	X-1	11,98	12,35	12,37	12,73	13,37	14,25	13,13	16,41
		X-2	11,98	12,28	12,37	12,73	13,36	14,27	13,13	16,41
Al_2Ln_3	$T_{\text{гуд.}}$	X-2	1253	1273	1277	1292	1320	1357	1347	1441
		Ад.	1253	-	1286	1267	1333	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	X-1	10,49	10,88	10,90	11,26	11,92	12,82	12,17	15,03
		X-2	10,49	10,80	10,89	11,26	11,91	12,82	12,17	15,03
AlLn_2	$T_{\text{гуд.}}$	X-2	1223	1251	1259	1280	1314	1361	1295	1412
		Ад.	1223	-	1413	1291	1303	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	X-1	9,82	10,29	10,34	10,77	11,52	12,56	10,98	14,57
		X-2	9,82	10,25	10,41	10,83	11,51	12,45	10,98	14,57
AlLn_3	$T_{\text{гуд.}}$	X-2	1098	1098	1103	1116	1133	1156	1092	1193
		Ад.	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	X-1	8,35	8,59	8,61	8,97	9,55	10,35	8,85	12,15
		X-2	8,35	8,62	8,68	8,97	9,52	10,30	8,85	12,15

Усули нимэмпирикӣ бо ёрии муодила (ҳисоби 2) барои муқоиса истифода шуд:

$$\Delta H_{\text{пл., ИМ}}^0 \text{Al}_x\text{Ln}_y = \Delta H_{\text{пл., AlxLaY}}^0 \text{ИМ} + \alpha N_f + \beta S + \gamma' S_{(\text{Ce} - \text{Eu})} (\gamma'' L_{(\text{Tb} - \text{Yb})}) \quad (5)$$

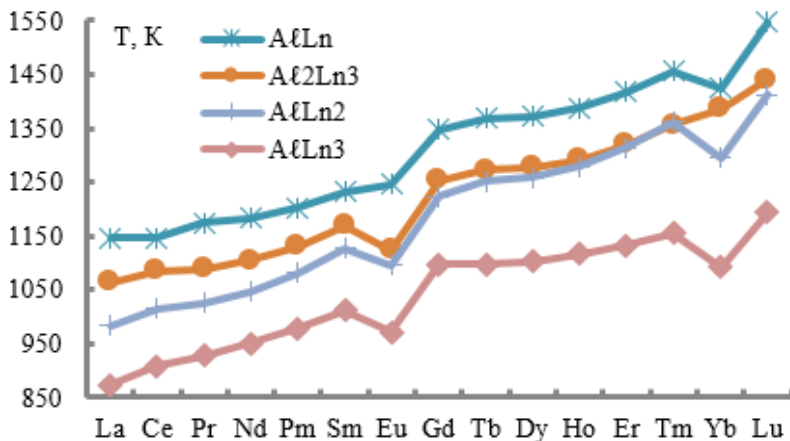
Дар ҷадвали 11 қимати зарибҳои муодила оварда шудааст.

Дар ҳисобҳо ҳиматҳои тавсифҳои термохимиявии лантанидҳо ва маълумотӣ барои алюминий аз тарафи мо аниққардашуда истифода гардид. Муфавикати хуби қиматҳои адабиёт ва ҳисобҳо (X-2) мушоҳида мешавад.

Ҷадвали 11. - Қиматҳои зарибҳои муодилаи коррелясионӣ [5]

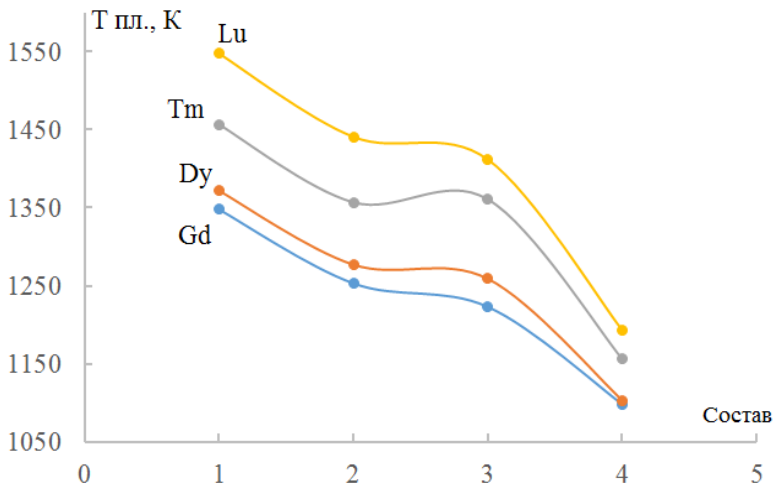
Модда	Параметрҳо	α	β	γ'	γ''	Эзоҳ
Ланта-нидҳо	$T_{\text{пл.}}, \text{K}$	52,51	7,02	-28,11	-10,63	$\gamma'_{\text{Ce}} = -74,8;$ $\gamma''_{\text{Tb}} = -19,2$
	$\Delta H_{\text{гуд.}}^0$, кҶ/мол	0,57	0,06	-0,61	-0,08	$\gamma'_{\text{Ce}} = -1,09;$ $\gamma'_{\text{Pr}} = -0,28$ $\gamma''_{\text{Dy}} = 0,01;$ $\gamma''_{\text{Er}} = -0,14$
AlLn	$T_{\text{гуд.}}, \text{K}$	28,71	0,31	-9,72	-12,41	-
	$\Delta H_{\text{гуд.}}^0$	0,49	-0,28	-0,17	-0,27	$\gamma'_{\text{Ce}} = -0,26;$ $\gamma'_{\text{Eu}} = 0,075$
Al ₂ Ln ₃	$T_{\text{пл.}}, \text{K}$	26,86	0	-11,38	-11,38	-
	$\Delta H_{\text{гуд.}}^0$	0,48	-0,32	-0,14	-0,27	$\gamma'_{\text{Eu}} = 0,043;$ $\gamma''_{\text{Yb}} = -0,9$
AlLn ₂	$T_{\text{гуд.}}, \text{K}$	34,14	0	-12,2	-13,26	-
	$\Delta H_{\text{гуд.}}^0$	0,52	-0,29	-0,14	-0,26	$\gamma'_{\text{Eu}} = 0,1;$ $\gamma''_{\text{Yb}} = -1,14$
AlLn ₃	$T_{\text{гуд.}}, \text{K}$	22,85	11,41	-5,16	-5,16	-
	$\Delta H_{\text{гуд.}}^0$	0,46	-0,15	-0,07	-0,24	$\gamma'_{\text{Eu}} = 0,14;$ $\gamma''_{\text{Yb}} = -1,07$

Барои равшанӣ андохтан дар расмҳои 7 ва 8 графикҳои тағйирёбии ҳарорати гудозиши ИМ (дар доираи Ln бой) вобаста ба табиати лантанидҳо (расми 7) ва аз таркиби ҳӯла (расми 8) тасвир гардидааст. Бо афзоиши рақами тартибии лантанидҳо баландшавии ҳарорати гудозиши ИМ мушоҳида мешавад (расми 7).



Расми 7. – Вобастагии қатъатаи ҳарорати гудозиши ($T_{гуд.}$) ИМ системаи Al-Ln, бо лантанидҳо бой аз табиати лантанидҳо

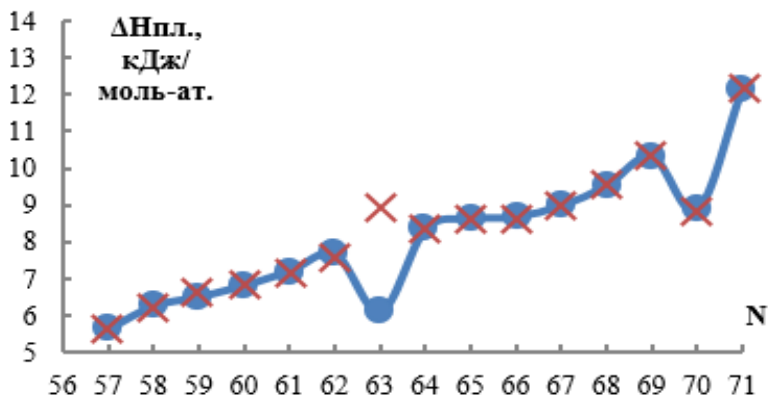
Бо афзоиши таркиби лантанид дар ИМ ҳарорати гудозиши хӯлаҳо паст мешавад (расми 8).



Расми 8. – Графики қонуниятҳои тағйирёбии ҳарорати гудозиш ($T_{гуд.}$) аз таркиби ИМ системаи Al-Ln (лантанидҳои бойи зергурӯҳҳои иттрий):
1 – AlLn; 2 – Al₂Ln₃; 3 – AlLn₂; 4 – AlLn₃.

Расми 9 қонуниятҳои дар тағйирёбии энталпияи гудозиши ИМ системаи Al-Ln-ро вобаста ба табиати лантанидҳо нишон медиҳад.

Афзоиши энталпияи гудозиши ИМ бо зиёдшавии рақами тартибии лантанидҳо мушоҳида мешавад.



Расми 9. – Графики тағйирёбии энталпияи гудозиши ИМ таркиби $AlLn_3$ аз табиати лантанидҳо: x – ҳисоби 1; • – расчёт-2.

Моделсозии қонуниятҳои муқарраргардидаи тағйирёбии тавсифҳои ҳулаҳои системаи Al-Ln

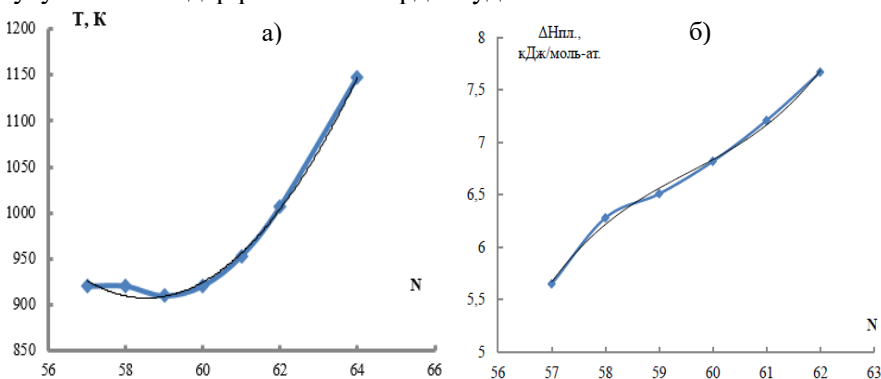
Қонуниятҳои тағйирёбии ҳарорати гудозиш ва энталпияи гудозиши ҳулаҳои таркиби эвтектика ва ИМ системаи Al-Ln, дар доираи лантанидҳои бой муқаррар карда шуда. Дар асоси онҳо модели математикӣ аз рӯи барномаи MS EXCEL гузаронида шуд (ҷадвали 12).

Ҷадвали 12. – Муодилаи вобастагии тағйирёбии тавсифҳои термикӣ лантанидҳо ва ИМ системаи Al-Ln аз табиати лантанидҳо (зергурӯҳҳои серия – (а) ва иттербий (б))

Модда	Функсия	Шакли муодилаҳо	R^{2*}
Ланта-нидҳо	$T_{гуд.}$	(а) $y = -7x^3 + 1262x^2 - 75750x + 2E+06$	0,897
		(б) $y = 49,078x - 1559,9$	0,998
	$\Delta H_{гуд.}^0$	(а) $y = -0,0551x^3 + 9,9096x^2 - 593,29x + 11830$	0,900
		(б) $y = 0,1571x^2 - 19,975x + 645,23$	0,997
Эвтек-тика	$T_{гуд.}$	(а) $y = 8,0291x^2 - 939,84x + 28410$	0,996
		(б) $y = -2,4886x^2 + 367,21x - 12154$	0,995
	$\Delta H_{гуд.}^0$	(а) $y = 0,0256x^3 - 4,5066x^2 + 263,95x - 5146,8$	0,986
		(б) $y = 0,1277e^{0,0658x}$	0,982

AlLn	$T_{\text{гуд.}}$	(a)	$y = 1,3289x^3 - 232,46x^2 + 13561x - 262657$	0,995
		(б)	$y = 3,7313x^2 - 475,95x + 16531$	0,994
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	(a)	$y = 0,0228x^3 - 4,0237x^2 + 237,03x - 4646,6$	0,992
		(б)	$y = 0,0944x^2 - 12,126x + 401,42$	0,997
Al ₂ Ln ₃	$T_{\text{гуд.}}$	(a)	$y = 1,2436x^3 - 218,71x^2 + 12832x - 250063$	0,996
		(б)	$y = 3,3586x^2 - 427,29x + 14848$	0,994
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	(a)	$y = 0,0219x^3 - 3,8883x^2 + 229,79x - 4520,5$	0,992
		(б)	$y = 0,0965x^2 - 12,394x + 408,47$	0,997
AlLn ₂	$T_{\text{гуд.}}$	(a)	$y = 1,4145x^3 - 249,5x^2 + 14686x - 287491$	0,997
		(б)	$y = 1,4001x^2 - 162,85x + 5916,5$	0,993
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	(a)	$y = 0,0244x^3 - 4,3198x^2 + 255,61x - 5037,3$	0,994
		(б)	$y = 0,0839x^2 - 10,666x + 348,76$	0,996
AlLn ₃	$T_{\text{гуд.}}$	(a)	$y = -1,2014x^2 + 181,75x - 5614,8$	0,995
		(б)	$y = 1,8171x^2 - 232,44x + 8535,8$	0,981
	$\Delta H^0_{\text{гуд.}}$	(a)	$y = 0,0218x^3 - 3,8878x^2 + 231,81x - 4606$	0,996
		(б)	$y = 0,0824x^2 - 10,601x + 349,16$	0,996

Барои мисол, тасвири намоёни хати тамоюл (тренд) барои хусусияти ИМ дар расми 10 оварда шудааст.



Расми 10. – Хати тамоюли (—) тағйирёбии ҳарорати гудозиши (а) эвтектика (дар доираи Ln бой) ва энthalпияи гудозиши ИМ таркиби AlLn₃ (б), аз рақами тартибии (N) Ln-и зергурӯҳҳои серий

ХУЛОСА

1. Бо усулҳои дақиқи таҷрибавӣ муайян карда шуд: таркиби химиявӣ, морфологияи сатҳ ва сохтии ҳӯлаҳои системаи Al-Ln (дар ин ҷо Ln – La, Ce ва Pr). Иловаҳои лантанидҳо ба сохтори ҳӯлаҳои алюминий таъсири тағйирдиҳандагӣ мерасонад. Дар қатори ҳӯлаҳои La, Ce, Pr, Nd, сохтии ҳӯлаҳои алюминий дар гузариши $La \rightarrow Ce \rightarrow Pr$ меафзояд ва дар $Pr \rightarrow Nd$ кам мешавад [1-М, 2-М, 3-М, 4-М].

2. Гармигунҷоиши ҳӯлаҳои системаи Al-Pr муайян, муодилаи вобастагии ҳароратӣ ва дар асоси он хусусияти термодинамикии ҳӯлаҳо ҳисоб карда шуд [8-М, 9-М, 20-М, 21-М].

3. Муқаррар шуд, ки афзоиши миқдори лантанидҳо дар ҳӯлаҳои алюминий, суръати оксидшавӣ зиёд ва энергияи зоҳирии фаъолшавии ҳӯлаҳо кам мешаванд. Қимати нисбатан ками энергияи оксидшавиро ҳӯлаҳои системаи алюминий-лантан ва алюминий-серий дороанд [8-М, 20-М, 21-М].

4. Бо усули калориметрии ҳалшавӣ қимати энталпияи ҳалшавӣ муайян ва тибқи он бузургии энталпияи ташаккули ҳӯлаҳои системаи Al-Ln (дар ин ҷо Ln – Ce ва Pr) ҳисоб карда шудаанд. Дар ҳӯлаҳо бо афзоиши миқдори лантанид қимати энталпияи ташаккули онҳо мутаносибан зиёд мешаванд [8-М, 9-М, 18-М, 20-М, 21-М].

5. Маълумотҳои нисбатан пурра оиди ҳарорат, энталпияи ғудозиши интерметаллидҳо ва ҳӯлаҳои таркиби эвтектикии системаи Al-Ln, дар доираи аз лантаниди бой имконият доданд, ки қонуниятҳои тағйирёбии онҳо вобаста аз табиати лантанидҳо муқаррар карда шавад. Муҳимияти ин қонуниятҳо дар ҷудо намудани онҳо вобаста ба зергурӯҳҳои лантанидҳо бо зухуроти «тетрад-эффekt» асос ёфтааст [1-М, 5-М, 6-М, 14-М, 15-М, 16-М, 25-М].

6. Ҳарорати ғудозиши ИМ ва ҳӯлаҳои таркиби эвтектикии аз лантанидҳо бой вобаста аз афзоиши рақами тартибӣ, яъне аз табиати лантанидҳо дар ҳудуди ҳамаи қаторҳои $La \rightarrow Lu$ зиёд мегардад. Бо афзоиши миқдори лантанид дар ҳӯлаҳо камшавии ҳарорати ғудозиши ИМ мушоҳида мешаванд [5-М, 6-М, 14-М, 15-М, 18-М, 23-М, 24-М].

7. Муодилаҳои математикии қонуниятҳои муайяншудаи тағйирёбии ҳарорат ва энталпияи ғудозиши ҳӯлаҳои эвтектикӣ ва ИМ системаи Al-Ln, дар доираи аз лантанид бой, вобаста аз табиати лантанидҳо дар ҳудуди зергурӯҳҳои имконият медиҳанд, ки ҳӯлаҳои дорои тавсифҳои муайян, «барномарезишуда» ҳосил карда шаванд [2-М, 3-М, 7-М, 10-М, 13-М, 17-М].

8. Маълумоти термикӣ ва термодинамикии ҳӯлаҳои алюминий бо иловаи лантанидҳо табиати бунёдӣ доранд ва ҳазинаи бузургҳои термодинамикии ҳӯлаҳои металлро бо маълумотҳои нав ғанӣ мегардонад [9-М, 10-М, 19-М, 22-М].

Тавсияҳо оид ба истифодабарии амалии натиҷаҳои кори рисола:

- усули ҳосил намудани ҳӯлаҳо дар асоси алюминий бо иловаи лантанидҳо таҳия карда шуд, ки дорои тавсифи беҳтари амалӣ мебошанд;
- маълумоти пурра оиди ҳарорати гудозиш, энталпияи гудозиши интерметаллидҳо ва ҳӯлаҳои таркиби эвтектикии системаи алюминий-лантанидҳои (аз лантанид бой) дорои аҳамияти бунёдиву амалӣ буда, ҳазинаи бузургҳои термодинамикии системаҳои металлро бо маълумотҳои нав ғанӣ мегардонад;
- муқарраркунии тағйирёбии қонуниятҳои тавсифи термикӣ ва термодинамикии ҳӯлаҳо дар асоси алюминий бо иловаи лантанидҳо вобаста аз табиати лантанидҳо ва таркиби ҳӯлаҳо имконияти оқилона интиҳоб намудани ҷузьҳо - лантанидҳо ва консентрастияи онҳо дар ҳӯлаҳо мувофиқ ба талаботи истифодабарӣ дорад.

МУНДАРИҶАИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ ДАР ИНТИШОРОТИ ЗЕРИН ТАҲИЯ КАРДА ШУДААСТ:

*Мақолаҳои дар рӯйхати маҷаллаҳои тақризиавандаи КОА назди
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ва КОА назди Вазорати маориф ва
илми Федератсияи Россия:*

[1-М]. Ахмедов, Ш.А. Установление закономерности изменения термохимических характеристик интерметаллидов систем алюминий – лантаноиды составов $Al_{11}Ln_3$ и Al_3Ln / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Ш.З. Нажмутдинов, А. Бадалов // Горные науки и технологии. Россия, Москва, МИСиС, нац. иссл. технол. универс. 2018. – №2. – С. 42-50. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2018-2-42-50>

[2-М]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры и энтальпии плавления интерметаллидов систем алюминий – лантаниды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов, А.Б. Бадалов // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018. – Т. 22. – №12 (143). – С. 221-230. ISSN 1814-3520. DOI:10.21285/1814-3520-2018-12-221-230.

[3-М]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры плавления интерметаллидов систем магний-лантаноиды,

богатых магнием / И.Р. Исмоилов, Ш.А. Ахмедов, Х.А. Зоиров, А.Б. Бадалов // Политехнический вестник. Серия: Инженерные исследования, ТТУ им. акад. М.С. Осими, – Душанбе, 2018. – №1 (41). – С. 104-113. ISSN 2520-2227.

[4-М]. Ахмедов, Ш.А. Температуры плавления интерметаллидов систем магний – лантаниды / Ш.А. Ахмедов, И.Р. Исмоилов, Ш.И. Мирзоев, А. Бадалов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2018. – №4 (80), – С. 147-151. ISSN 2074-5435.

[5-М]. Ахмедов, Ш.А. Закономерность изменения температуры плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды и их моделирование / Б.Б. Эшов, М.А. Бадалова, Ш.А. Ахмедов, М.Ч. Чаманова, Ш.И. Мирзоев // Политехнический вестник. Серия Инженерные исследования, ТТУ им. акад. М.С. Осими, – Душанбе 2019. – №3 (47). – С. 70-74. ISSN 2520-2227.

[6-М]. Ахмедов, Ш.А. Уточнение и закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем алюминий – лантаниды, богатых лантаноидом / Ш.А. Ахмедов, М.А. Бадалова, Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, А. Бадалов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2019. – №3 (83), – С. 99-102. ISSN 2074-5435.

[7-М]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения энтальпии плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды, богатых лантаном / Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, Б.А. Гафуров, А. Бадалов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Н. Хусрав (научный журнал) Серия естественных наук. 1/1 (66), 2020. – С. 73-77. ISSN 2663-6417.

[8-М]. Ахмедов, Ш.А. Получение теплофизических свойств и окисление сплавов систем алюминий-церий / Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, Ш.А. Ахмедов, А. Бадалов // Теоретический и научно – практический журнал «Кишоварз», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2020. – №3 (88), – С. 129-133. ISSN 2074-5435.

[9-М]. Ахмедов, Ш.А. Механические, теплофизические свойства и термодинамические функции сплавов системы алюминий – празеодим / Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, Ш.А. Ахмедов, М.С. Исломова, А. Бадалов // Научно-практический журнал “Вестник Технологического университета Таджикистана”, – Душанбе, 2020. – №2 (41). – С. 28-34. ISSN 2707-8000.

[10-М]. Ахмедов, Ш.А. Системный анализ теплофизических свойств сплавов эвтектического состава систем алюминий-лантаниды, богатых лантаноидом и их моделирование / Ш.А. Ахмедов // Теоретический и

научно – практический журнал «Кишоварз», Таджикский аграрный университет им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2021. – №3 (92), – С. 11-15. ISSN 2074-5435.

[11-М]. Ахмедов, Ш.А. Получение и физико-химические свойства сплавов системы алюминий – церий / Ахмедов Ш.А., Мирзоев Ш.И., Эшов Б.Б., Рузматова Г.К., Бадалов А. // Вестник Хорогского Университета, – Хорог, 2024. – №1 (29). – С.207-211. ISSN 2664-5696

Интишорот дар маводҳои конференсияҳои илмӣ:

[12-М]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения энтальпии плавления интерметаллидов систем магний – лантаноиды иттриевой подгруппы / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, А.Х. Бобоева, А.Б. Бадалов // Материалы III-ей научно-практической конференции на тему «Наука – основа инновационного развития». - Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 26-27.04.2018. – Ч. II. – С. 170-172.

[13-М]. Ахмедов, Ш.А. Температура плавления интерметаллидов систем алюминий-лантаноиды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, И.Р. Исмоилов, А.Б. Бадалов // Материалы международной научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и учёных «Мухандис 2019», Часть 3, - Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 14-16.03.2019. – С. 86-90.

[14-М]. Ахмедов, Ш.А. Закономерности в изменениях температуры плавления эвтектических сплавов систем алюминий – лантаниды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, А.Х. Бобоева, А. Бадалов // Материалы IV-ой международной научно-практической конференции «Наука – основа инновационного развития». - Душанбе: ТНУ, 3-4.05.2019. – С. 167-171.

[15-М]. Ахмедов, Ш.А. Закономерность изменения энтальпии плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды, богатых лантаноидом / Тсуюн Тингжи, Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, М.Ч. Чаманова, А. Бадалов // Материалы международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования», - Душанбе: ТТУ имени академик М.С. Осими, 27-28.11.2019. – С. 43-45.

[16-М]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов, Ш.И. Мирзоев, А. Бадалов // Материалы международной научно-практической конференции «Перспектива развития науки и образования», - Душанбе: ТТУ им. академик М.С. Осими, 27-28.11.2019. – С. 57-60.

[17-М]. Ахмедов, Ш.А. Закономерности изменения температуры и энтальпии плавления эвтектики систем алюминий – лантаниды, богатых лантанидами / Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, А.Б. Бадалов // Сборник научных статей. Материалы республиканской научно-практической конференции на тему: «Инновационное развитие сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата: современное состояние, проблемы и пути их решения». Душанбе: ТАУ им. Ш.Шотемур, 30.04.2020. – С. 262-266.

[18-М]. Ахмедов, Ш.А. Синтез и термодинамические характеристики сплавов систем алюминий – церий / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов, А. Бадалов // Сборник научных статей. Материалы республиканской научно-практической конференции на тему: «Роль инженерной науки в сельскохозяйственном производстве: актуальные проблемы и развитие отрасли». Душанбе: ТАУ им. Ш.Шотемур, 29.09.2020. – С. 115-119.

[19-М]. Ахмедов, Ш.А. Получение и теплофизические свойства сплавов систем алюминий – лантаниды (лантаниды – Ce, Pr) / Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, З. Низомов, А. Бадалов // Материалы V-ой международной конференции по «Оптическим фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах». Республика Узбекистан, Фергана, 13-14.11.2020. – С. 342-345.

[20-М]. Ахмедов, Ш.А. Получение и свойства сплавов систем алюминий – лантан / Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, Ш.А. Ахмедов, М.А. Бадалов, Ш.К. Шарофов // Сборник научных статей. Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Адаптация сельскохозяйственной отрасли к изменениям климата: проблемы и пути решения». Душанбе: ТАУ им. Ш.Шотемур, 23-25.10.2021. – С. 341-343.

[21-М]. Ахмедов, Ш.А. Закономерности изменения термохимических свойств сплавов систем алюминия–лантаноидов / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, М.Ч. Чаманова, А.Э. Бердиев, А.Б. Бадалов // Материалы международной научно-практической конференции на тему: «Новые достижения в области естественных наук и информационных технологий». Душанбе: РТСУ, 30.05.2023. – С.132-134.

[22-М]. Ахмедов, Ш.А. Особенности закономерности изменения температуры плавления интерметаллидов систем алюминий – лантаниды / Ш.И. Мирзоев, Б.Б. Эшов, Ш.А. Ахмедов, М.Ч. Чаманова, А.Б. Бадалов // 3-я международная научно-практическая конференция “Редкие металлы и материалы на их основе: технологии, свойства и применение”,

посвященная памяти академика Н.П. Сажина (РЕДМЕТ-2024): Сб. тез. Москва, 3-5.04.2024, “Гиредмет”, – С.163-164.

[23-М]. Ахмедов, Ш.А. Синтез и физикохимические свойства алюминиевых сплавов с добавками празеодима / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов // Материалы международной научно-практической конференции на тему “Роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны”, посвященная провозглашению 2020-2040 годов “двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования”. Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 24.05.2024. – С.304-307.

[24-М]. Ахмедов, Ш.А. Синтез и термодинамические характеристики алюминиевых сплавов с добавками церия / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, Б.Б. Эшов, М. Чаманова // Материалы международной научно-практической конференции на тему “Роль химии и химической промышленности в ускоренной индустриализации страны”, посвященная провозглашению 2020-2040 годов “двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования”. Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 24.05.2024. – С.316-319.

[25-М]. Ахмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры плавления эвтектических сплавов систем алюминий – лантаниды / Ш.И. Мирзоев, Ш.А. Ахмедов, М. Чаманова, А.Э. Бердиев, А.Б. Бадалов // Республиканской научно–практической конференции «Проблемы и тенденции развития точных, математических и естественных наук», посвященной двадцатилетию изучения и развития естественных, точных и математических наук. Душанбе: РТСУ, 28.05.2024. – С.33-37.

ШАРҲИ МУХТАСАРИ

диссертатсияи Абдухалилзода Шараф Абдухалил дар мавзӯи:
«Хусусияти теплофизикии интерметаллидҳо ва ҳӯлаҳои эвтектикии
системаи алюминий-лантанидҳо (дар доираи лантанидҳои бой),
моделсозии қонуниятҳои тағйирёбии онҳо»

Калимаҳои калидӣ: алюминий, лантанидҳо, ҳӯлаҳо, хосияти гармифизикавӣ, оксидшавӣ, тавсифи термохимиявӣ, таҳлили системавӣ, қонуният, табиат, таркиб, моделҳои математикӣ.

Объекти таҳқиқот: интерметаллидҳо (ИМ) ва ҳӯлаҳои эвтектикӣ (ХЭ) системаи алюминий (Al) – лантанидҳо (Ln), дар ин ҷо Ln - La, Ce ва Pr, аз лантанидҳо бой.

Мавзӯи таҳқиқот: ҳосилкунии ҳӯлаҳои системаи Al-Ln, дар доираи аз Ln бой, омӯзиши хусусиятҳои гармофизикавӣ ва раванди оксидшавии ҳӯлаҳо. Муайянкунӣ ва муқарраркунии қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои термикӣ ҳӯлаҳо аз табиат ва миқдори лантанидҳо, моделсозии математикӣ онҳо.

Мақсади кор: ҳосил кардани ҳӯлаҳои системаи Al-Ln (дар дораи аз лантанид бой), муқаррар кардани сохтори кристаллӣ, таркиб ва сахтии механикӣ ҳӯлаҳо; муайян кардани тавсифи оксидшавӣ ва хусусиятҳои темикӣ – энталпия ва ҳарорати гудозиши ИМ ва ХЭ; муқаррар намудани қонуниятҳои хосиятҳои тағйирёбии термикӣ ҳӯлаҳо аз табиату таркиби ҳӯлаҳо ба шумор меравад.

Вазифаҳои диссертатсия дар ҳалли масъалаҳои зерин зоҳир мегардад:

- ҳосил намудани ҳӯлаҳои системаҳои Al-La, Al-Ce ва Al-Pr, муқаррар намудани навъи сохтор, муайян кардани таркиб ва тавсифҳои механикӣ;
- муайянсозии гармиғунҷоиши ҳӯлаҳои системаи Al-Pr, вобастагии ҳарорати он ва аз рӯйи он ҳисоб намудани тавсифҳои термодинамикӣ;
- механизми раванди оксидшавии ҳӯлаҳои системаҳои Al-Ce ва Al-Pr ва дар асоси онҳо муайян намудани тавсифҳои энергетикӣ ва кинетикӣ;
- ченкунии самараи гармии ҳалшавии ҳӯлаҳои дар кислотаҳо ва дар асоси онҳо ҳисоб намудани ташаккулёбии энталпияи объектҳо оид ба даврияти термохимиявӣ;
- муайянсозӣ ё мушаххас намудани бузургии тавсифҳои термодинамикӣ ҳӯлаҳои таркиби эвтектикӣ ва интерметаллидҳои системаи Al-Ln, (дар доираи Ln бой);
- муайянсозии қонуниятҳои тағйирёбии таркиби гармофизикии ҳӯлаҳо ва моделсозии онҳо вобаста аз табиати лантанидҳо;

Маводҳои диссертатсия дар раванди фаъолияти амалии КВД «Қоргоҳи мошинасозӣ», Маркази илмӣ технологияҳои инноватсионӣ ва механикони кишоварзии АИКТ, натиҷаҳои кори таҳқиқотӣ барои ихтисосҳои металлургӣ ва мошинсозии ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ ва факултети механикони кишоварзии ДАТ ба номи Ш.Шоҳтемур истифода бурда мешавад.

АННОТАЦИЯ

**на диссертацию Абдухалилзода Шараф Абдухалил на тему:
«Теплофизические свойства интерметаллидов и эвтектических сплавов
систем алюминий – лантаниды (в области богатых лантанидом),
моделирование закономерности их изменения»**

Ключевые слова: алюминий, лантаниды, сплавы, теплофизические свойства, окисление, термохимические характеристики, системный анализ, закономерность, природа, состав, математические модели

Объекты исследования: интерметаллиды (ИМ) и эвтектические сплавы (ЭС) систем алюминий (Al) – лантаниды (Ln), где Ln - La, Ce и Pr, богатых лантанидом,

Предмет исследования: получение сплавов систем Al - Ln, в области богатых Ln, изучение теплофизических свойств и процесса окисления сплавов. Определение и установление закономерности изменения термических свойств сплавов от природы и содержания лантанидов, их математическое моделирование.

Цель работы: получение сплавов систем Al-Ln (в области богатых Ln), установление кристаллической структуры, состава и механической твёрдости сплавов; определение характера окисления и термических свойств - энтальпии и температуры плавления ИМ, ЭС; установление закономерности изменения термических свойств сплавов от природы и состава сплава.

Задачи диссертации заключается в решение следующем:

- получение сплавов систем Al-La, Al-Ce и Al-Pr, установление типа структуры, определение состава и механических характеристик;
- определение теплоёмкости сплавов систем Al-Pr, её температурная зависимость и по ним рассчитать термодинамические характеристики;
- механизм процесса окисления сплавов систем Al-Ce и Al-Pr и на их основе определить энергетические и кинетические характеристики;
- измерение теплового эффекта растворения сплавов в кислотах и на их основе рассчитать энтальпию образования объектов по термохимическому циклу;
- выявление и/или уточнение величин термодинамических характеристик сплавов ЭС и ИМ систем Al-Ln (в области богатой Ln);
- установление закономерности изменения теплофизических свойств сплавов и их математическое моделирование в зависимости от природы лантанидов.

Материалы диссертации применяются в практической деятельности ГУП «Коргохи мошинасози», Научном центре инновационных технологий и механизации сельского хозяйства ТАСХН, и в научных учебных процессах для металлургических и машиностроительных специальностей ТТУ имени академика М.С. Осими и на факультете механизации сельского хозяйства ТАУ имени Ш. Шотемур.

ANNOTATION

**on the dissertation of Abdukhalilzoda Sharaf Abdukhalil on the topic:
«Thermophysical properties of the intermetallic compounds and eutectic alloys
of aluminum – lanthanide systems (in the area of rich - lanthanide), modeling
the patterns of their changes»**

Key words: aluminum, lanthanides, alloys, thermophysical properties, oxidation, thermochemical characteristics, system analysis, legitimacy, nature, compounds, mathematical models.

Objects of research: intermetallics (IM) and eutectic alloys (EA) of aluminum (Al) - lanthanide (Ln) systems, where Ln is La, Ce and Pr, rich in lanthanide,

Subject of research: obtaining alloys of Al - Ln systems, in the area rich in Ln, studying the thermophysical properties and oxidation process of alloys. Determination and establishment of the pattern of change in the thermal properties of alloys from the nature and content of lanthanides, their mathematical modeling.

The aim of the work: obtaining alloys of the Al-Ln systems (in the region of rich Ln), establishing the crystal structure, composition and mechanical hardness of the alloys; determining the nature of oxidation and thermal properties - enthalpy and melting point of IM, ES; establishing the pattern of change in the thermal properties of alloys depending on the nature and composition of the alloy.

The objectives of the dissertation are to solve the following:

- obtaining alloys of the Al-La, Al-Ce and Al-Pr systems, establishing the type of structure, determining the composition and mechanical characteristics;
- determining the heat capacity of alloys of the Al-Pr systems, its temperature dependence and calculating the thermodynamic characteristics based on them;
- the mechanism of the oxidation process of alloys of the Al-Ce and Al-Pr systems and, based on them, determining the energy and kinetic characteristics;
- measuring the thermal effect of dissolution of alloys in acids and, based on them, calculating the enthalpy of formation of objects according to the thermochemical cycle;
- identification and/or clarification of the values of thermodynamic characteristics of alloys of the EA and IM systems Al-Ln (in the region of rich Ln);
- establishment of patterns of change in the thermophysical properties of alloys and their mathematical modeling depending on the nature of lanthanides.

The dissertation materials are used in the practical activities of the State Unitary Enterprise "Korgokhi Moshinasozi", the Scientific Center for Innovative Technologies and Mechanization of Agriculture of Academy of Agricultural Sciences of the Tatarstan, and in scientific educational processes for metallurgical and mechanical engineering specialties of the TTU named after Academician M.S. Osimi and at the Faculty of Agricultural Mechanization of the TAU named after Sh. Shotemur.

