

**ТАДЖИКСКИЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ШИРИНШОХ ШОТЕМУР**

**ТАДЖИКСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.С. ОСИМИ**

УДК: 536.8:620.1:621

На правах рукописи



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 - отрасль машиностроения)**

Душанбе – 2022

Работа выполнена на кафедрах электрификации и автоматизации сельского хозяйства Таджикского аграрного университета (ТАУ) имени Шириншох Шотемур, общей и неорганической химии Таджикского технического университета (ТТУ) имени академика М.С. Осими.

Научный руководитель: Мирзоев Шамсулло Изатович,

кандидат технических наук, доцент, декан факультета механизации сельского хозяйства Таджикского аграрного университета имени Шириншох Шотемур

Научный консультант: Бадалов Абдулхайр,

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

**Официальные
оппоненты:**

Джураев Тухтасун Джураевич,

доктор химических наук, профессор, профессор кафедры металлургии Таджикского технического университета имени академика М.С. Осими

Бердиев Асадкул Эгамович,

доктор технических наук, доцент, заведующей кафедрой химии и биологии Российско-Таджикского (Славянского) университета

Ведущая организация: Горно-металлургического института Таджикистана в городе Бустон

Защита состоится «02» февраля 2023 года в 11⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.КОА-028 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими по адресу: 734042, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых, 10. E-mail: adlia69@mail.ru

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

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

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



Бабаева А.Х.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Научно-технический и технологический прогресс требует создания новых материалов с особыми эксплуатационными характеристиками, превосходящих используемых. Создание таких материалов основывается на фундаментальном исследовании свойств каждого компонента поликомпонентных систем. Установление закономерности изменения прикладных характеристик материалов, в зависимости от влияния отдельных компонентов и параметров - внутренних и внешних, приобретает особое значение для поликомпонентных металлических систем, являющимися основными конструкционными материалами. Полученные сведения позволяют создать новые материалы с заданными, «запрограммированными» характеристиками.

Алюминий и его сплавы, легированные лантанидами проявляют важные прикладные характеристики и широко применяются, в качестве конструкционных и технологических материалов, в современных областях техники и технологии: атомной энергетики, полупроводниковая, лазерная, люминофорная и военных отраслях производства, для получения конструкционных, магнитных и сверхпроводящих материалов, в медицине и аграрной промышленности.

Исследование термических и термодинамических свойств алюминиевых сплавов с добавками лантанидов, установление закономерности изменения свойств сплавов от природы и содержания лантанидов, и разработка математической модели этих закономерностей, определяет актуальность темы диссертационной работы. Полученные результаты позволяют подобрать легирующую добавку лантанида, его концентрацию и технологические условия для создания алюминиевых сплавов с заданными характеристиками, соответствующими прикладным требованиям.

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

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 учёным академиком НАНТ Ганиевым И.Н. со своими учениками, д.х.н., профессор Джураевым Т.Дж. и другие. 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 способствует решению четвертой стратегической задачи по развитию металлургической и машиностроительной промышленности, на основе местного сырья. Диссертационная работа соответствует тематическому плану НИР ТАУ им. Ш.Шотемур по теме «Разработка и усовершенствование конструкции технических средств», утвержденной Учёным советом ТАУ имени Шириншох Шотемур, протоколи №10, от 25 февраля 2017 года.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью настоящей работы являются получение сплавов систем алюминий (Al) – лантаниды (Ln), богатых лантанидом, определению их состава, структуры, твердости, изучение теплофизических свойств – температуры и энтальпии плавления интерметаллидов (ИМ), эвтектических сплавов, установлению закономерности их изменения, в зависимости от природы и содержания лантанидов.

Задачи исследований. Для достижения поставленной цели работы, были решены следующие задачи:

- разработка оптимальных условий получения сплавов систем Al-La, Al-Ce и Al-Pr, определение их состава, структуры и твердости;
- изучение теплофизических свойств сплавов – температура плавления, теплоемкость и их термодинамические характеристики;
- исследование кинетики процесса окисления полученных сплавов и определение их энергетических характеристик;
- измерение энтальпии растворения сплавов в кислотах, составление термохимического цикла, с целью определения энтальпии образования сплавов;
- определение и/или уточнение теплофизических свойств лантанидов, и их сплавов – эвтектик, и интерметаллидов систем Al-Ln, богатых лантанидом;
- установление закономерности изменения теплофизических свойств сплавов, в зависимости от природы и содержания лантанидов, их математическое моделирование.

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, в области богатых лантанидом. Установление закономерности

изменения 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 (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 (Т) 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 – лантаноиды, 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 Al-Ln (где Ln – La, Ce и Pr), имеющая направленность, мелкодисперсность и однородность, которые указывают о повышении их механических свойств;

-определение удельной теплоёмкости, её температурная зависимость и термодинамические свойства сплавов систем Al-Ln (где Ln – La, Ce и Pr).

-определение энтальпии растворения и образования сплавов систем Al-Ce, Al-Pr, составление термохимического цикла;

-определение кинетические и энергетические характеристики процесса окисления полученных сплавов. Окисление сплавов протекает в диффузионной области. Сплавы, с добавками лантаном быстрее подвергаются коррозией по сравнению с чистым алюминием;

-определение и/или уточнение теплофизические характеристики – температура и энтальпия плавления эвтектик и ИМ систем Al-Ln, богатых лантанидом. Закономерности изменения теплофизических свойств сплавов в зависимости от природы лантанидов имеют сложный характер с проявлением «тетрад-эффект»-а;

-математическим моделированием методом регрессионного анализа по стандартной программе MICROSOFT EXCEL получены уравнения, которые с высокой достоверностью описывают установленные закономерности изменения теплофизических свойств эвтектик и ИМ систем Al-Ln, богатых лантанидом.

Теоретическая значимость работы заключается в определении:

-теплофизических свойств - удельной теплоёмкости, её температурной зависимости и термодинамических характеристик сплавов систем Al-Ln (где Ln – La, Ce и Pr);

-кинетических, энергетических характеристиках и механизма процесса окисления сплавов систем Al-Ln (где Ln – La, 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 технологии и механизации сельского хозяйства ТАСХН (имеются акты внедрения).

На защиту выносятся следующие основные положения:

-получение и результаты определения химического состава, структуры и твёрдости сплавов систем Al-La, Al-Ce и Al-Pr, их зависимость от природы и концентрации лантанидов;

-удельная теплоёмкость, её температурная зависимость и величины термодинамических свойств полученных сплавов;

-кинетические и энергетические характеристики процесса окисления сплавов;

-энтальпия растворения, термохимический цикл и энтальпия образования сплавов систем Al-Ce и Al-Pr;

-системный анализ теплофизических свойств – температуры и энтальпии плавления эвтектик и ИМ систем Al-Ln, богатых лантанидом;

-закономерности изменения теплофизических свойств эвтектик и интерметаллидов систем Al-Ln, богатых лантанидом, в зависимости от природы лантанидов, 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. Выводы и рекомендации сделаны на основе научного анализа и обработки теоретических, и экспериментальных материалов, с использованием современных средств вычислительной техники и цифровизации.

Отрасль исследования. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.02.01 - Материаловедение (05.02.01.02 - отрасль машиностроения). 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 2017-2021 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 кафедр: общая и неорганическая химия, Таджикского технического университета имени

академика М.С. Осими, и электрификация и автоматизация сельского хозяйства, Таджикского аграрного университета имени Ш. Шотемур.

Личный вклад автора заключается в непосредственном участии на всех этапах выполнения работы: формулировке 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. Им сформулированы выводы и предложения.

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», ТТУ имени акад. М.С. Осими, Душанбе, 26-27.04.2018г.; научно-практическая конференция студентов, магистрантов, аспирантов и учёных «Мухандис 2019», ТТУ имени 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», ТТУ имени 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», ТАУ имени Ш. Шотемур, Душанбе, 23-25.10.2021г..

республиканских: научно-практическая конференция «Инновационное развитие сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата: современное состояние, проблемы и пути их решения», ТАУ имени Ш. Шотемур, Душанбе, 30.04.2020г.; научно-практическая конференция «Роль инженерной науки в сельскохозяйственном производстве: актуальные проблемы и развитие отрасли», ТАУ им. Ш. Шотемур, Душанбе, 29.09.2020г.

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 19 научных работ, в том числе 8 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях, включенных в перечень ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 2 - в журналах, рекомендованных ВАК РФ, и в материалах научных конференций различного уровня - 9.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов и списка использованной литературы, включающего 212 наименований. Изложена на 146 страницах компьютерного набора, иллюстрирована 45 рисунками и 33 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, степень разработанности, изложены цель, задачи, научная новизна, теоретическая и практическая ценность диссертации, апробации и публикации материалов.

В первой главе проведен анализ литературных сведений об электронном строении, минералов и способов получения лантанодов 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. Описано расчётные и полуэмпирические методы системного анализа теплофизических характеристик сплавов.

Третья глава диссертации посвящена определению состава, морфологии поверхности и твёрдости сплавов систем Al-Ln (где Ln – La, Ce и Pr) и теплоты растворения полученных сплавов. Приведены результаты изучения кинетических и энергетических характеристик процесса окисления сплавов.

В четвёртой главе диссертации приведены результаты системного анализа литературных и полученных нами теплофизических свойств – температуры и энтальпии плавления эвтектик и интерметаллидов систем Al-Ln, богатых лантанидом. Составлены математические модели закономерности их изменения в зависимости от природы лантанидов.

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

Сплавы были получены в вакуумной печи сопротивления в среде инертного газа в корундовых тиглях. Методом сканирующего электронного микроскопа определено химический состав (таблица 1) сплавов. Дифрактограммы и микроструктура сплавов приведено на рисунках 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты анализа химического состава и интенсивность линий компонентов алюминиевых сплавов, легированных Ln

Система	Единицы измерения	Концентрация элемента	Ошибка опыта	Интенсивность линии	Линия
Al-Ce	масс.%	99.506	42.198	4.541.03	K α
	масс.%	0.494	0.991	1.27	L α
Итого	масс.%	100.0			
Al-Pr	масс.%	97.941	21.203	1.126.86	K α
	масс.%	2.059	1.114	3.33	L α
Итого	масс.%	100.0			
Al-Pr	масс.%	99.009	20.025	1.213.25	K α
	масс.%	0.991	0.754	1.18	L α
Итого	масс.%	100.0			

Однородность и монолитность поверхностной морфологии сплавов, показывает об улучшение механических свойств сплавов.

В пределах исследованных составов структура сплавов состоит из твердого раствора α Al+эвт.(α Al+Al₁₁Ln₃). С ростом концентрации лантанида доля включения указанной эвтектики в твердом растворе алюминия увеличивается (рисунок 2б) и оказывают модифицирующее влияние на структуру и свойства сплавов. 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).

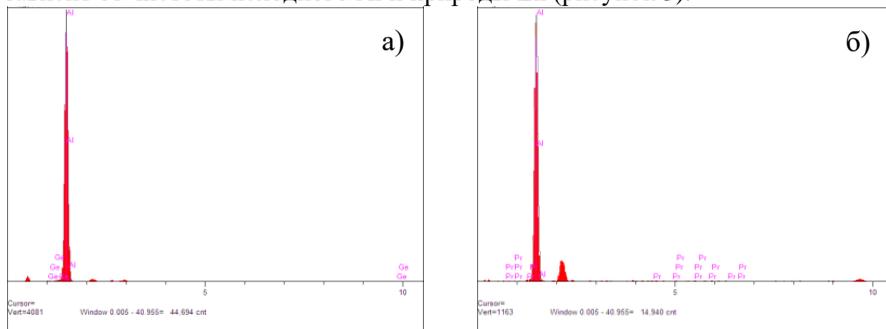


Рисунок 1 – Дифрактограммы алюминиевых сплавов, содержащих 0,5 масс.% Ce (а) и 2,0 масс.% Pr (б).

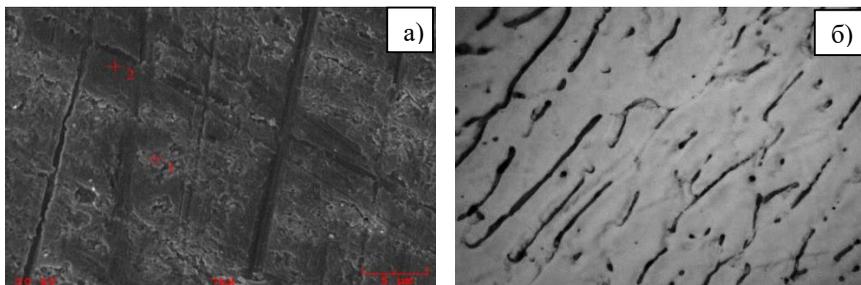


Рисунок 2 – Поверхностная морфология алюминиевых сплавов, содержащих 2.0 масс.% Pr (а) и 1.0 масс.%: La (б) (x 500)
Таблица 2 – Твердость (кг/мм²) сплавов алюминия, легированных лантанидами (по Бринеллю)

C, масс. %	Твердость 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

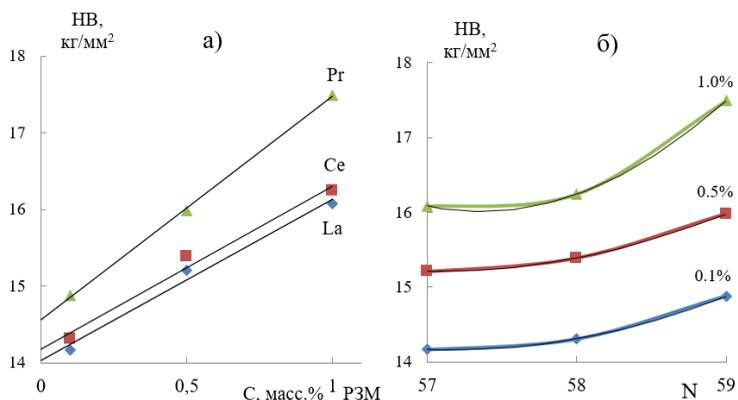


Рисунок 3 – График изменения твердости сплавов алюминия, легированных лантанидами в зависимости от содержания добавки (а) и природы (N) (б) лантанидов

На рисунке 4 приведены графики кривых зависимости температуры сплавов систем Al-Pr от времени (а) и скорости охлаждения (б). По значениям коэффициента теплоотдачи (α) образцов составлены уравнения их скорости охлаждения (\dot{Y}) и удельной теплоемкости. Рассчитанные значения термодинамических функций образцов сплавов приведены в таблице 3.

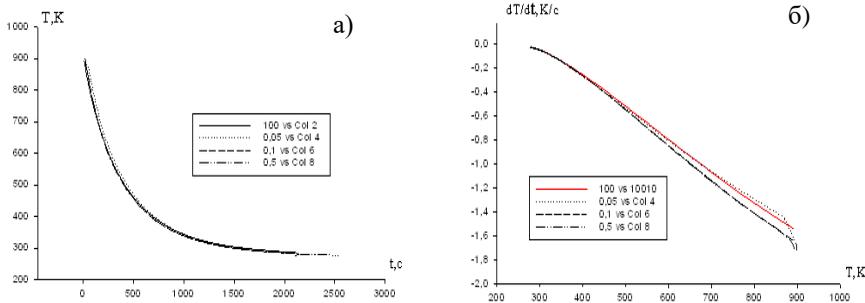


Рисунок 4 – Зависимости температуры (а) и скорости охлаждения (б) сплавов системы Al-Pr во времени

Таблица 3 – Уравнения температурной зависимости функции объектов

Объект	Функция	Уравнения
Al	\dot{Y}	$Y = 555,477 \cdot \exp(-0,0028t) + 340,113 \cdot \exp(-9,981 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.05Pr	\dot{Y}	$Y = 613,6556 \cdot \exp(-0,0027255t) + 322,5755 \cdot \exp(-6,5357 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.1Pr	\dot{Y}	$Y = 577,9058 \cdot \exp(-0,0030140t) + 342,2162 \cdot \exp(-9,9387 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.5Pr	\dot{Y}	$Y = 575,3124 \cdot \exp(-0,0029876t) + 337,5390 \cdot \exp(-8,8334 \cdot 10^{-5}t)$
Al	C_p	$C_p = 822,400 + 0,500T + 0,0002T^2 + 2,431 \cdot 10^{-7}T^3$
Al+0.05Pr	C_p	$C_p = 822,0364 + 0,5T + 1,9959 \cdot 10^{-4}T^2 + 2,4324 \cdot 10^{-7}T^3$
Al+0.1Pr	C_p	$C_p = 821,6729 + 0,4999T + 1,9918 \cdot 10^{-4}T^2 + 2,4324 \cdot 10^{-7}T^3$
Al+0.5Pr	C_p	$C_p = 818,7643 + 0,4997T + 1,9591 \cdot 10^{-4}T^2 + 2,4378 \cdot 10^{-7}T^3$
Al	(α)	$ \alpha(T) = -11,5583 + 0,0396T + 1,2468 \cdot 10^{-5}T^2 - 1,6252 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.05Pr	(α)	$ \alpha(T) = -11,4001 + 0,0390T + 1,9478 \cdot 10^{-5}T^2 - 2,5130 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.1Pr	(α)	$ \alpha(T) = -9,8504 + 0,0299T + 3,3942 \cdot 10^{-5}T^2 - 4,1983 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.5Pr	(α)	$ \alpha(T) = -8,2521 + 0,0188T + 5,7057 \cdot 10^{-5}T^2 - 4,1983 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.05Pr	S	$S(T) = 22,179 \ln T + 0,013T + 2,696 \cdot 10^{-6}T^2 + 2,186 \cdot 10^{-9}T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,179T + 0,007T^2 + 1,790 \cdot 10^{-6}T^3 + 1,639 \cdot 10^{-9}T^4$
	G	$G(T) = -22,179T(\ln T - 1) - 0,007T^2 - 8,989 \cdot 10^{-7}T^3 - 5,46510^{-10}T^4$
Al+0.1Pr	S	$S(T) = 22,171 \ln T + 0,013T + 2,659 \cdot 10^{-6}T^2 + 2,185 \cdot 10^{-9}T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,171T + 0,007T^2 + 1,797 \cdot 10^{-6}T^3 + 1,638 \cdot 10^{-9}T^4$
	G	$G(T) = -22,171T(\ln T - 1) - 0,007T^2 - 8,984 \cdot 10^{-7}T^3 - 5,46210^{-10}T^4$
Al+0.5Pr	S	$S(T) = 22,099 \ln T + 0,013T + 2,683 \cdot 10^{-6}T^2 + 2,178 \cdot 10^{-9}T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,099T + 0,007T^2 + 1,789 \cdot 10^{-6}T^3 + 1,634 \cdot 10^{-9}T^4$
	G	$G = -22,099T(\ln T - 1) - 0,007T^2 - 8,94910^{-7}T^3 - 5,44510^{-10}T^4$

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

Метод калориметрии определены энтальпии растворения и образования сплавов систем Al-Ce и Al-Pr в 0.5M раствор соляной кислоты. Навески исследуемых веществ были очень малы $(1-6) \cdot 10^{-3}$ моль по сравнению с количеством взятого растворителя (150 см³). Можно считать, что процесс растворения сплавов происходит при большом разбавлении порядка 1:1100. Результаты и условия процесса растворения сплавов и ИМ систем Al-Ce и Al – Pr приведены в таблицах 4 и 5, соответственно.

Таблица 4 - Теплота растворения сплавов системы алюминий - лантанид

Al-Ln	C, масс. %	№ опыта	м, г	μ, г/моль	Q, Дж	$\Delta H_{298, \text{рас.}}^0$, Дж/моль	Среднее- $-\Delta H_{298, \text{рас.}}^0$
Al-Ce	0.1	1	0.0132	27.10	8691	1762.49	1668.46±100
		2	0.0140		9649	1584.70	
		3	0.0398		12270	1658.20	
	0.5	1	0.0135	27.55	9205	1878.61	1792.03±90
		2	0.0160		10334	1779.60	
		3	0.0204		12719	1717.86	
1.0	1	0.0144	28.12	8883	1734.76	1804.45±70	
	2	0.0158		9426	1777.71		
	3	0.0172		12298	1900.90		
Al-Pr	1.0	1	0.0142	28.11	6646	1316.09	1319.35±30
		2	0.0155		7745	1350.22	
		3	0.0185		8499	1291.725	
	2.0	1	0.0280	29.26	7193	7321.24	7058.3±500
		2	0.0334		8627	7567.87	
		3	0.0410		10001	7143.78	
		4	0.0568		11161	6734.42	
		5	0.0644		12188	6523.86	
	4.0	1	0.0220	31.54	5429	7627.16	6679.0±100
		2	0.0362		8244	6869.90	
		3	0.0396		7985	6423.42	
		4	0.0456		9140	6342.21	
		5	0.0506		9854	6132.34	
	6.0	1	0.0198	33.82	5115	7856.69	7457.7±600
		2	0.0310		7128	8100.01	
3		0.0351	7509		7508.96		
4		0.0461	8284		6944.20		
5		0.0610	10213		6878.56		

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

Таблица 5 – Энтальпия процесса растворения ИМ систем Al-Ln

Состав ИМ	№ опыта	м, г	М, г/моль	Q, кДж	$-\Delta H_{298, \text{рас.}}^0$ Дж/моль	Среднее- $-\Delta H_{298, \text{рас.}}^0$
AlCe ₂	1	0.3767	307.2	3.99	3226.8	3229.0 ± 5
	2	0.3988		4.19	3231.9	
	3	0.3296		3.44	3232.8	
	4	0.4601		4.86	3224.7	
	5	0.3911		4.04	3228.0	
AlCe ₃	1	0.5398	447.4	7.86	6524.9	6526.7 ± 9
	2	0.5992		8.62	6535.5	
	3	0.5289		7.69	6519.8	
	4	0.4894		7.34	6601.3	
AlPr	1	0.2936	167.89	2332	1334.7	1338.1 ± 10
	2	0.5406		4412	1336.0	
	3	0.6598		5273	1342.3	
	4	0.4840		3834	1330.8	
	5	0.2192		1761	1346.7	
AlPr ₂	1	0.2764	308.8	4322	2912.7	2854.1 ± 60
	2	0.3099		4214	2827.2	
	3	0.4307		5623	2832.9	
	4	0.3894		4734	2873.3	
	5	0.2564		4132	2824.4	

Значения энтальпии растворения и литературные сведения позволили по составленным термохимический цикл рассчитать величину энтальпии образования ИМ систем Al – Ln (таблица 6).

Таблица 6 - Стандартная энтальпия образования ИМ систем Al-Ln

ИМ	$-\Delta fH_{298}^0, \frac{\text{кДж}}{\text{моль-атомов}}$		ИМ	$-\Delta fH_{298}^0, \frac{\text{кДж}}{\text{моль-атомов}}$	
	Литер.	Экспер.		Литер.	Экспер.
AlCe	32.51	34.01 ± 6	Al ₂ Pr	62.77	58.13
	47.23		AlPr	-	38.52
AlCe ₂	21.29	20.57 ± 4	AlPr ₂	-	24.69
	16.62		AlPr ₃	-	17.03
β-AlCe ₃	15.01	14.82 ± 3			

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

Методом термогравиметрии проведено исследование процесса окисления сплавов систем Al-Ln (Ln – Ce, Pr) в воздухе при температурах 573, 673 и 773К. Результаты (таблице 7) показывают, что увеличение содержания лантанидов (с, масс. %) приводит к повышению скорости

окисления (v) и уменьшению кажущейся энергии активации ($E_{\text{акт}}$, кДж/моль) сплавов.

Таблица 7 – Параметры процесса окисления алюминия и сплавов

	C_{Ln} , %	T, K	$K \cdot 10^{-6}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$	$E_{\text{акт}}$		C_{Ln} , %	T, K	$K \cdot 10^{-6}$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$	$E_{\text{акт}}$	
Al	-	573	2.03	96±5		0.05	573	2.01	114±3	
		673	3.28				673	3.21		
		773	4.26				773	4.29		
Al-Ce	0.05	573	2.06	104±6	Al-Pr	0.1	573	2.76	84±4	
		673	3.09				673	3.79		
		773	4.15				773	4.97		
	0.1	573	3.04	75±5		0.5	573	3.87	73±4	
		673	4.09				673	4.31		
		773	5.11				773	5.72		
	0.5	573	4.01	55±6		1.0	573	4.24	52±2	
		673	4.71				673	5.03		
		773	6.08				773	6.25		
	1.0	573	4.70	39±6						
		673	5.31							
		773	6.83							

Системный анализ термических и термодинамических характеристик эвтектик и интерметаллидов систем Al – Ln, богатых лантанидом, моделирование закономерности их изменения

Сведения о физико-химических свойствах металлических систем, позволяет установить закономерности их изменения в зависимости от влияния различных факторов. Эти исследования приобретают особое значение для металлических систем на основе алюминия, легированные лантанидами, проявляющие важные прикладные характеристики, необходимые для более широкого применения в современных областях техники и технологии. Математическое моделирование этих позволяет, не проводя сложные экспериментальные исследования, подобрать наиболее рациональные способы синтеза материалов с заданными, «запрограммированными» характеристиками.

Анализ литературных сведений по диаграммам состояния системы Al-Ln, показывает, что наряду с образованием ИМ составов AlLn_3 , AlLn_2 , Al_2Ln_3 , AlLn , Al_2Ln , Al_3Ln , $\alpha\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ и $\beta\text{-Al}_{11}\text{Ln}_3$ имеет место и эвтектические превращения. Диаграммы состояния некоторых систем Al-Ln изучены не в полном виде в области богатой лантанидом. Термические и термодинамические характеристики некоторых ИМ и многих эвтектических сплавов отсутствуют.

Системный анализ температуры и энтальпии плавления эвтектических сплавов систем Al – Ln в области богатой лантанидом

Анализ литературных источников показывает о полном (для Al-Pm, Al-Lu) или частичном (для Al-Eu, Al-Tb и Al-Tm, в области богатой лантанидом) отсутствии сведений по температуре плавления эвтектических сплавов. Только в системах Al-La, Al-Ce, Al-Sm, Al-Dy и Al-Er обнаружены три эвтектических превращения. Сведения об энтальпии плавления эвтектических сплавов систем Al-Ln вовсе отсутствуют.

Отсутствующее значение температуры плавления виртуального эвтектического сплава системы Al-Lu оценено нами методами сравнительного расчёта и разностей (обозначено в таблице 8(*)). Расчёт основан на линейном характере изменения свойств La, Gd, Lu от порядкового номера лантанидов. Такой подход основан на сходство электронного строения внешних электронных орбиталей ($6s^25d^1$) и доминирующее влияние имеющихся электронов 4f-орбитали ($4f^0$; $4f^7$; $4f^{14}$) на свойства атомов элементов и их соединений.

Данные для сплавов La, Gd, Lu являются базовыми для расчёта характеристики аналогичных сплавов других лантанидов полуэмпирическим методом. График закономерности изменения температуры плавления ($T_{пл.}$) эвтектических сплавов для системы Al-La, Al-Gd и Al-Lu в зависимости от их порядкового номера (N) имеет прямолинейный характер. Математическая обработка данных позволила составить уравнения этой закономерности, которое имеет вид $y = 32,357x - 923,86$ при степени достоверности $R^2 = 1$.

В таблице 8 приведены имеющиеся сведения о температуре плавления, области и типах эвтектических превращений в системах Al-Ln.

Таблица 8 – Температура плавления эвтектики систем Al-Ln, в области богатой лантанидом: (а) – литература, (б) – расчёт

Система	Превращения	% ат. Ln	$T_{пл.}, K$	
			(а)	(б)
Al-La	La + AlLa ₃	-	820; 912	920
Al-Ce	Ж=βAlCe ₃	70	918	920
	Ж = (Ce) + β AlCe ₃	89,0	853	
Al-Pr	AlPr ₂ + αPr	82	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	

Продолжение таблицы 8

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*

Определение и/или уточнение температуры плавления (Т_{пл.}) эвтектики систем Al – Ln в области богатой лантанидом проведено полуэмпирическим методом по следующему корреляционному уравнению:

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

Значения коэффициентов уравнения [1] равны $\alpha=32,357$; $\beta=0,429$; $\gamma'=-21,629$ и $\gamma''=-0,694$. На рисунке 5 изображён график закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем Al-Ln, богатых Ln, в зависимости от природы лантанидов. Совпадение литературных и расчётных величин свидетельствует о достоверности полученных результатов, за исключением системы Al-Yb.

График показывает проявление «тетрад-эффект»-а в установленной закономерности:

-с повышением порядкового номера Ln наблюдается значительный рост температуры плавления эвтектических сплавов. В пределах группы Ln от лантана до лютеция этот рост составляет около $\Delta T = 450$ градусов;

-разделение закономерности по подгруппам Ln: цериевой и иттриевой;

-выпадение характеристики для систем Al-Eu и Al-Yb из общей закономерности, обусловленное их электронным строением;

-для цериевой подгруппы (Al-La – Al-Eu) с ростом порядкового номера лантанида наблюдается незначительное уменьшение величины температуры плавления эвтектик до середины подгруппы Al-Pr и заметное её повышение во второй части подгруппы;

-для иттриевой подгруппы (Al-Gd – Al-Lu) закономерность имеет почти прямолинейный характер с симбатным повышением температуры плавления эвтектик в пределах $\Delta T_{пл.} = 225$ К.

Имеющиеся или уточнённые величины температуры и энтальпии плавления лантанидов, алюминия и рассчитанные нами температуры плавления эвтектик систем Al-Ln, в области богатой лантанидом (таблица 8) позволили рассчитать их энтальпию плавления ($\Delta H_{пл.}^0$) по уравнению (расчёт -1):

$$\Delta H_{пл., \text{эвт.}}^0 Al_x Ln_y = T_{пл., \text{эвт.}} (y \Delta H_{пл., Ln}^0 / T_{пл., Ln}^0 + x \Delta H_{пл., Al}^0 / T_{пл., Al}^0) / (x + y) \quad (2)$$

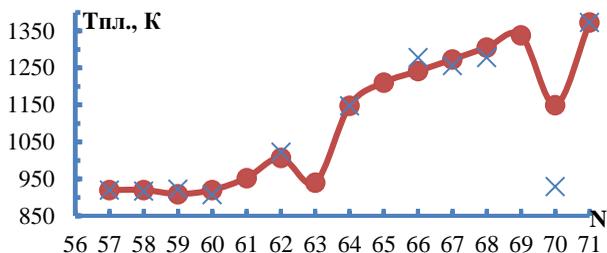


Рисунок 5 – Закономерности изменения температуры плавления эвтектики систем Al-Ln, богатых Ln, от природы лантанидов: x-литература; ● – расчёт

Для сопоставления результатов рассчитаны также энтальпии плавления эвтектик систем Al-Ln полуэмпирическим методом (расчёт-2) по уравнению:

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

Коэффициенты уравнения [3], которые равны $\alpha = 0,5543$, $\beta = 0,4543$, $\gamma' = -0,4432$ и $\gamma'' = -0,6034$, учитывают влияние: - α - 4f - электронов, β - и γ - спин (S)-и орбитальных (L)-моментов движения атомов и ионов лантанидов на значение величины энтальпии плавления эвтектик. Коэффициенты относятся: γ' - к лантанидам цериевой подгруппы, а γ'' - к металлам иттриевой подгруппы.

Результаты расчётов значений энтальпии плавления эвтектик систем Al-Ln, богатых лантанидом приведены в таблице 9. Полученные сведения позволили определить закономерность изменения данной характеристики эвтектик в зависимости от природы лантанидов, график которой приведен на рисунке 6.

Из данных таблицы 9 и рисунка 6 видно хорошее совпадение расчётных величин полученных результатов двумя методами. График закономерности изменения энтальпии плавления эвтектик систем Al-Ln, богатых лантанидами в зависимости от природы лантанидов идентичен с графиком закономерности изменения температуры плавления эвтектик (рисунок 5) и протекает с проявлением «тетрад - эффект»-а.

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

(а)-расчёт – 1, (б) – расчёт – 2.

Система	Эвтектические превращения	Ln, %	$\Delta H_{\text{пл.Т}}$, кДж/моль-атомов	
			(а)	(б)
Al-La	La + AlLa ₃		6,22	6,22
Al-Ce	Ж=βAlCe ₃	70	6,41	5,73
	Ж = (Ce) + β AlCe ₃	89,0		
Al-Pr	AlPr ₂ + αPr	82	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 = (αGd) + Al ₃ Gd ₂	77,0	8,74	8,74
Al-Tb	-	-	9,37	9,47
Al-Dy	Ж — (Dy) + AlDy ₂ , Ж— AlDy ₂ + Al ₂ Dy ₃	81,0 61,0	9,66	9,69
Al-Ho	AlHo ₂ + Ho Al ₂ Ho ₃ + Al ₂ Ho	76,0	10,19	10,23
Al-Er	-	88,0	10,94	10,78
	-	58,0		
Al-Tm	-	-	11,91	11,98
Al-Yb	-	-	9,33	9,33
Al-Lu	-	-	13,98	13,98

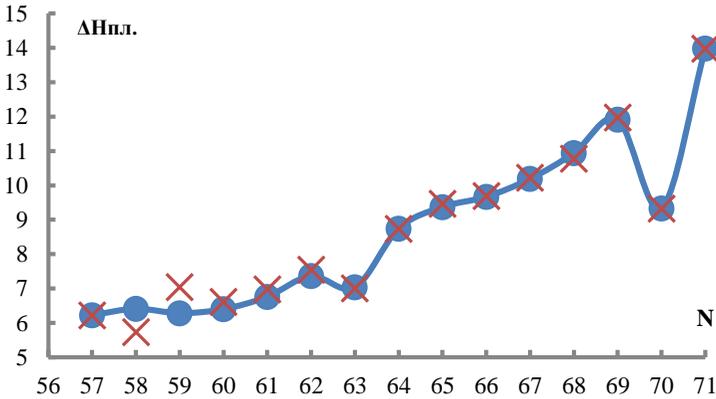


Рисунок 6 – График изменения энтальпии плавления эвтектики систем Al-Ln, богатых Ln, в зависимости от природы Ln: x-расчёт-1; ●-расчёт-2
Определение и системный анализ температуры и энтальпии плавления интерметаллидов систем Al-Ln, богатых лантанидом

Приведённые в литературе и уточнённые нами значения температуры плавления ИМ систем Al-Ln, в области богатой лантанидом, позволили рассчитать энтальпию плавления ($\Delta H_{\text{пл.}}^0$, кДж/моль-атомов) ИМ систем Al-Ln, богатых лантанидом по следующему уравнению (расчёт - 1)

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

Результаты расчёта значений энтальпии плавления ИМ составов AlLn₃, AlLn₂, Al₂Ln₃ и AlLn, проведённых по формуле [4], приведены в таблице 10.

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

Вещество			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu
Лантаниды	$T_{пл.}$	P-2	1193	1198	1208	1245	1301	1385	1099
		Лит.	1191	1071	1204	1294	1315	1347	1095
	$\Delta H_{пл.}^0$	P-2	6,20	6,38	6,91	7,20	7,75	8,56	9,21
		Лит.	6,20	5,46	6,89	7,14	7,62	8,62	9,21
AlLn	$T_{пл.}$	P-2	1146	1146	1174	1184	1202	1232	1246
		Лит.	1146	1118	1178	1213	-	-	-
	$\Delta H_{пл.}^0$	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 ₂ Ln ₃	$T_{пл.}$	P-2	1065	1085	1089	1104	1131	1169	1124
	$\Delta H_{пл.}^0$	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	$T_{пл.}$	P-2	984	1016	1025	1047	1081	1128
Лит.			-	-	-	1008	1068	-	-
$\Delta H_{пл.}^0$		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	$T_{пл.}$	P-2	873	909	927	950	978	1012	971
		Лит.	823	928	903	948	-	-	-
	$\Delta H_{пл.}^0$	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
Лантаниды	$T_{пл.}$	P-2	1585	1629	1683	1722	1770	1830	1094	1928
		Лит.	1586	1629	1685	1747	1802	1818	1092	1936
	$\Delta H_{пл.}^0$	P-2	10,04	10,79	11,11	11,89	13,15	14,87	7,66	18,83
		Лит.	10,04	10,79	11,06	17,00	19,92	16,86	7,66	22,00
AlLn	$T_{пл.}$	P-2	1348	1368	1372	1388	1417	1457	1424	1548
		Лит.	1348	-	-	1388	1338	-	-	-
	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	11,98	12,35	12,37	12,73	13,37	14,25	13,13	16,41
		P-2	11,98	12,28	12,37	12,73	13,36	14,27	13,13	16,41
Al ₂ Ln ₃	$T_{пл.}$	P-2	1253	1273	1277	1292	1320	1357	1387	1441
		Лит.	1253	-	1286	1267	1333	-	-	-
	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	10,49	10,88	10,90	11,26	11,92	12,82	12,17	15,03
		P-2	10,49	10,80	10,89	11,26	11,91	12,82	12,17	15,03
AlLn ₂	$T_{пл.}$	P-2	1223	1251	1259	1280	1314	1361	1295	1412
		Лит.	1223	-	1413	1291	1303	-	-	-
	$\Delta H_{пл.}^0$	P-1	9,82	10,29	10,34	10,77	11,52	12,56	10,98	14,57
		P-2	9,82	10,25	10,41	10,83	11,51	12,45	10,98	14,57

AlLn ₃	T _{пл}	P-2	1098	1098	1103	1116	1133	1156	1092	1193
		Лит.	-	-	-	-	-	-	-	-
	ΔH ⁰	P-1	8,35	8,59	8,61	8,97	9,55	10,35	8,85	12,15
	пл	P-2	8,35	8,62	8,68	8,97	9,52	10,30	8,85	12,15

Для сопоставления значения энтальпии плавления ИМ рассчитаны также полуэмпирическим методом по следующему уравнению (расчёт-2)

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

Коэффициенты уравнения [5] (таблица 11) учитывают влияние: $-\alpha - 4f$ – электронов, β - и γ – спин (S) – и орбитальных (L) – моментов движения атомов и ионов лантанидов на величину энтальпии плавления ИМ систем Al – Ln. Коэффициенты γ' относятся к лантанодам цериевой подгруппы, а γ'' – к иттриевой подгруппы.

При расчётах использованы уточнённые нами значения термодимических характеристик лантанидов, так как они оказывают существенное влияние на результаты. Соответствующие данные для алюминия взяты справочника. Хорошее совпадение литературных и расчётных (P-2) значений температуры плавления лантанидов (таблицы 10) (за исключением Nd и Pm) является доказательством достоверности полученных результатов и правомочности применяемого метода.

Таблица 11 – Значение коэффициентов корреляционного уравнения (5)

Вещество	Параметры	α	β	γ'	γ''	Примечание
Лантаниды	T _{пл.} , К	52,51	7,02	-28,11	-10,63	$\gamma'_{\text{Ce}}=-74,8$; $\gamma''_{\text{Tb}}=-19,2$
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$, 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.} , К	28,71	0,31	-9,72	-12,41	-
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$, кДж/моль-атомов	0,49	-0,28	-0,17	-0,27	$\gamma'_{\text{Ce}}=-0,26$; $\gamma'_{\text{Eu}}=0,075$
Al ₂ Ln ₃	T _{пл.} , К	26,86	0	-11,38	-11,38	-
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$, кДж/моль-атомов	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	-
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$, кДж/моль-атомов	0,52	-0,29	-0,14	-0,26	$\gamma'_{\text{Eu}}=0,1$ $\gamma''_{\text{Yb}}=-1,14$
AlLn ₃	T _{пл.} , К	22,85	11,41	-5,16	-5,16	-
	$\Delta H_{\text{пл.}}^0$, кДж/моль-атомов	0,46	-0,15	-0,07	-0,24	$\gamma'_{\text{Eu}}=0,14$ $\gamma''_{\text{Yb}}=-1,07$

Для наглядности на рисунках 7 и 8 изображены графики закономерности изменения температуры плавления ИМ в зависимости от природы лантанидов (рисунок 7) и от состава сплава (рисунок 8).

Из рисунка 7 видно, что с ростом порядкового номера лантанидов наблюдается симбатное повышение температуры плавления ИМ.

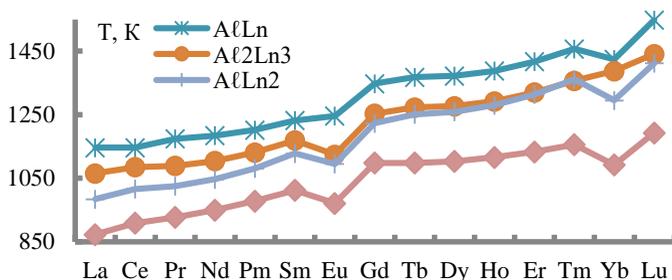


Рисунок 7 – Кривые зависимости температуры плавления ($T_{пл}$) ИМ систем Al – Ln, богатых лантанидом от природы лантанидов

Из графика изменения температуры плавления ИМ в зависимости от концентрации лантанида в сплаве (рисунке 8) видно, что с повышением содержания лантанида в ИМ температура плавления сплавов уменьшается.

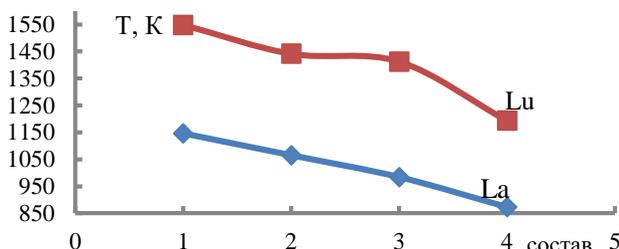


Рисунок 8 – Графики зависимости изменения температуры плавления ($T_{пл}$) ИМ систем Al-Ln, богатых лантанидом от состава: 1-AlLn; 2-Al₂Ln₃; 3-AlLn₂; 4-AlLn₃

Зависимости энтальпия плавления ИМ изученных составов системы Al-Ln от природы лантанидов имеют аналогичный характер, приведённый на рисунке 9. В целом, с ростом порядкового номера лантанидов наблюдается пропорциональное увеличение величины энтальпии плавления ИМ.

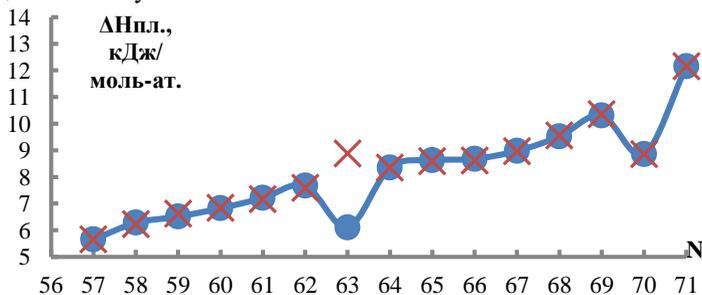


Рисунок 9 – График изменения энтальпия плавления ИМ состава AlLn₃ от природы лантанидов: x – расчёт-1; • – расчёт-2

**Моделирование закономерности изменения термических характеристик
эвтектики и интерметаллидов систем Al – Ln, богатых лантанидом в
зависимости от состава и природы лантанидов**

Полученные полные сведения по температуре и энтальпии плавления эвтектик и ИМ систем Al - Ln позволили провести математическое моделирование закономерности их изменения в зависимости от природы лантанидов. Математические уравнения рассчитаны по стандартной программе MICROSOFT EXCEL. Исходя из разного характера закономерностей в изменениях свойств, обработка данных проведена отдельно для цериевой и иттриевой подгруппы лантанидов. При расчётах не учтены значения характеристик для ИМ европия и иттербия, так как они выпадают из общих закономерностей. Отличие обусловлено особенностями электронного строения атомов данных металлов.

Математическим моделированием получены уравнения (таблица 12), которые с высокой достоверностью выражают установленные закономерности по подгруппам лантанидов.

В качестве примера на рисунках 10, 11 приведены линии тренда, показывающие характер изменения температуры ($T_{пл.,K}$) и энтальпии плавления ($\Delta H^0_{пл.}$, кДж/моль-ат.) ИМ, соответственно, в зависимости от природы лантанидов по подгруппам. Из рисунков видно, что линия тренда с высокой точностью описывают закономерности изменения изученных характеристик ИМ в пределах групп лантанидов.

Таблица 12 – Уравнения зависимости изменения термических характеристик лантанидов и ИМ систем Al-Ln от природы лантанидов

Вещество	Функция		Вид уравнений	ЛТ	R ^{2*}
Лантаниды	T _{пл.}	(а)	$y = -7x^3 + 1262x^2 - 75750x + 2E+06$	П	0,897
		(б)	$y = 49,078x - 1559,9$	Л	0,998
	$\Delta H^0_{пл.}$	(а)	$y = -0,0551x^3 + 9,9096x^2 - 593,29x + 11830$	П	0,900
		(б)	$y = 0,1571x^2 - 19,975x + 645,23$	П	0,997
Эвтектика	T _{пл.}	(а)	$y = 8,0291x^2 - 939,84x + 28410$	П	0,996
		(б)	$y = -2,4886x^2 + 367,21x - 12154$	П	0,995
	$\Delta H^0_{пл.}$	(а)	$y = 0,0256x^3 - 4,5066x^2 + 263,95x - 5146,8$	П	0,986
		(б)	$y = 0,1277e^{0,0658x}$	П	0,982
AlLn	T _{пл.}	(а)	$y = 1,3289x^3 - 232,46x^2 + 13561x - 262657$	П	0,995
		(б)	$y = 3,7313x^2 - 475,95x + 16531$	П	0,994
	$\Delta H^0_{п.}$	(а)	$y = 0,0228x^3 - 4,0237x^2 + 237,03x - 4646,6$	П	0,992
		(б)	$y = 0,0944x^2 - 12,126x + 401,42$	П	0,997
Al ₂ Ln ₃	T _{пл.}	(а)	$y = 1,2436x^3 - 218,71x^2 + 12832x - 250063$	П	0,996
		(б)	$y = 3,3586x^2 - 427,29x + 14848$	П	0,994

$\Delta H_{\text{пл}}^0$	(а)	$y = 0,0219x^3 - 3,8883x^2 + 229,79x - 4520,5$	П	0,992
	(б)	$y = 0,0965x^2 - 12,394x + 408,47$	П	0,997
$T_{\text{пл.}}$	(а)	$y = 1,4145x^3 - 249,5x^2 + 14686x - 287491$	П	0,997
	(б)	$y = 1,4001x^2 - 162,85x + 5916,5$	П	0,993
$\Delta H_{\text{пл}}^0$	(а)	$y = 0,0244x^3 - 4,3198x^2 + 255,61x - 5037,3$	П	0,994
	(б)	$y = 0,0839x^2 - 10,666x + 348,76$	П	0,996
$T_{\text{пл.}}$	(б)	$y = -1,2014x^2 + 181,75x - 5614,8$	П	0,995
	(а)	$y = 1,8171x^2 - 232,44x + 8535,8$	П	0,981

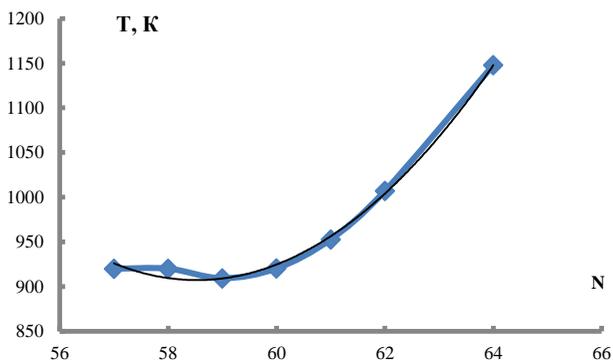


Рисунок 10 – Линия тренда (—) изменения температуры плавления эвтектики, в области богатой Lp, от порядкового номера (N) Lp цериевой подгруппы: \blacklozenge – расчёт (2)

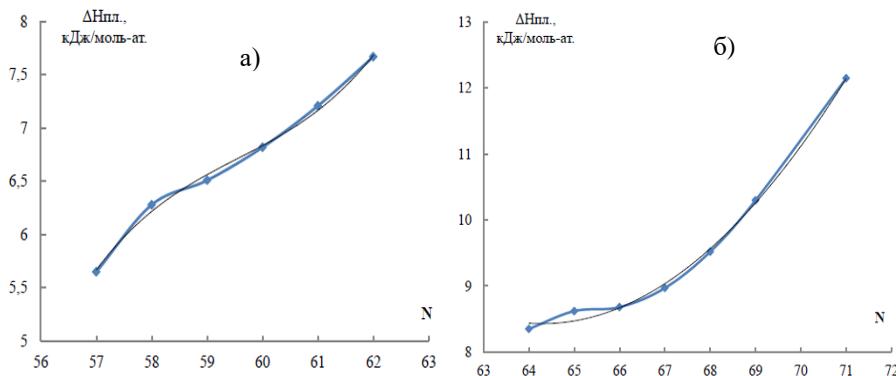


Рисунок 11 – Линия тренда (—) изменения энтальпии плавления ИМ состава AlL_3 , в области богатой лантанидом от порядкового номера (N) лантанидов цериевой (а) и иттриевой (б) подгруппы: \blacklozenge – расчёт (2)

ВЫВОДЫ:

1. Литературные сведения по диаграммам состояний некоторых систем Al-Ln и термическим свойствам ИМ и эвтектических сплавов, особенно в области богатой лантанидом, изучены недостаточно для установления закономерности их изменения в зависимости от природы лантанидов.

2. 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 La→Ce→Pr и уменьшается – Pr→Nd.

3. Методом охлаждения, определена теплоемкость и получены уравнения температурной зависимости термодинамических характеристик сплавов систем Al-Pr.

4. 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 системы алюминий-лантан и алюминий-церий.

5. Методом калориметрии растворения, определены значения энтальпии растворения и, по ним, рассчитана величина энтальпии образования сплавов систем Al-Ln (где Ln – Ce и Pr). С ростом содержания лантанида в сплавах, пропорционально повышаются значения их энтальпии образования.

6. Полуэмпирическими и расчётными методами, получены наиболее полные сведения о температуре и энтальпии плавления эвтектических сплавов и интерметаллидов систем Al-Ln, в области богатой лантанидом. Закономерности изменения указанных характеристик ИМ и эвтектик систем Al-Ln, в зависимости от природы лантанидов, протекает с проявлением «тетрад-эффект»-а, в четком разделении и разного характера изменений свойств в пределах всего ряда лантанидов.

7. С ростом порядкового номера лантанидов, наблюдается симбатное повышение температуры плавления ИМ. В пределах подгрупп лантанидов наблюдается незначительное понижение температуры плавления ИМ, с пиком в середине подгруппы, с последующим её повышением. С повышением содержания лантанида в ИМ, температура плавления сплавов уменьшается.

8. Математические уравнения, с высокой достоверностью описывают установленные закономерности 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.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

-полученные сплавы на основе алюминия, с улучшенными эксплуатационными характеристиками, могут быть применены в различных наукоёмких областях техники и материаловедении;

-полученные сведения о теплофизических и термодинамических характеристиках алюминиевых сплавов с добавками лантанидов, в области богатой лантанидом, являются справочным материалом и пополняют банк термодинамических свойств металлических сплавов новыми данными;

-установленные закономерности изменения теплофизических и термодинамических свойств алюминиевых сплавов в зависимости от природы и содержания лантанидов, позволяют получать сплавы с заранее заданными характеристиками.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

Статьи, в рецензируемых научных журналах из перечня ВАК при Президенте Республики Таджикистан:

[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. 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, ТГУ им. акад. М.С. Осими, – Душанбе, 2018. – №1 (41). – С.104-113.

[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», ТАУ им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2018. – №4 (80), – С.147-151.

[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.

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

[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.

[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», ТАУ им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2020. – №3 (88), – С.129-133.

[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. Исломова, А. Бадалов // Научно-практический журнал “Вестник Технологического университета Таджикистана”, ТУТ, – Душанбе, 2020. – №2 (41) . – С.28-34.

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

Публикации в материалах научной конференции:

[11-А]. 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.

[12-А]. 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 имени академик М.С. Осими, 14-16.03.2019. – С.86-90.

[13-А]. 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.

[14-А]. 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 им. академик М.С. Осими, 27-28.11.2019. – С.43-45.

[15-А]. 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.

[16-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.

[17-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.

[18-А]. Ахмедов, Ш.А. Получение и теплофизические свойства сплавов систем алюминий – лантаниды (лантаниды – Се, 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.

[19-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.

**ДОНИШГОҶИ АГРАРИИ ТОҶИКИСТОН
БА НОМИ ШИРИНШОҶ ШОҶТЕМУР**

**ДОНИШГОҶИ ТЕХНИКИИ ТОҶИКИСТОН
БА НОМИ АКАДЕМИК М.С. ОСИМӢ**

УДК: 536.8:620.1:621

Бо ҳуқуқи дастнавис



АХМЕДОВ Шарафҷон Абдухалилович

**ХУСУСИЯТҶОИ ТЕПЛОФИЗИКИИ ИНТЕРМЕТАЛЛИДҶО ВА
ХӢЛАҶОИ ЭВТЕКТИКИИ СИСТЕМАИ АЛЮМИНИӢ –
ЛАНТАНИДҶО (ДАР ДОИРАИ ЛАНТАНИДҶОИ БОӢ),
МОДЕЛСОЗИИ ҚОНУНИЯТҶОИ ТАӢИРӢБИИ ОНҶО**

АВТОРЕФЕРАТИ

**диссертатсия барои дарӢфти дараҷаи илмий
номзади илмӢҳои техникаӢ аз рӯи ихтисоси
05.02.01 – МаводшиносӢ (05.02.01.02 - саноати мошинасозӢ)**

Душанбе – 2022

Диссертатсия дар кафедраҳои барқиқунонӣ ва автоматиқунонии кишоварзии Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон (ДАТ) ба номи Ш.Шоҳтемур, химияи умумӣ ва ғайриорганикии Донишгоҳи техникий Тоҷикистон (ДТТ) ба номи академик М.С. Осимӣ иҷро карда шудааст.

Роҳбари илмӣ:

Мирзоев Шамсулло Изатович,

номзади илмҳои техникий, дотсент, декани факултети механикони кишоварзии Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Шириншоҳ Шоҳтемур

Мушовири илмӣ:

Бадалов Абдулхайр,

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

Муқарризони расмӣ:

Чураев Тухтасун Чураевич,

доктори илмҳои химия, профессор, профессори кафедраи металлургияи Донишгоҳи техникий Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ

Бердиев Асадкул Эгамович,

доктори илмҳои техникий, дотсент, мудири кафедраи химия ва биологияи Донишгоҳи (славянии) Россия ва Тоҷикистон

Муассисаи пешбар:

Донишкадаи кӯҳию металлургии Тоҷикистон дар шаҳри Бустон

Ҳимояи диссертатсия «02» феввали соли 2023, соати 11⁰⁰ дар чаласаи Шӯрои диссертатсионии бД.КOA-028 назди Донишгоҳи техникий Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, дар суроғи: 734042, ш. Душанбе, хиёбони Академик Раҷабовҳо, 10 баргузор мегардад. E-mail: adlia69@mail.ru

Бо матни диссертатсия ва автореферат метавонед дар китобхона ва сомонаи Донишгоҳи техникий Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ шинос шавед: www.ttu.tj

Автореферат санаи «___» _____ соли 2022 фиристонида шуд.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионӣ,
номзади илмҳои техникий



Бабоева А.Х.

МУҚАДДИМА

Муҳимияти мавзӯ. Пешрафти илмӣ-техникӣ ва технологӣ офаридани маводҳои навро бо хусусиятҳои махсуси истифодабарияшон, ки аз истифодашавандаҳо бартарӣ дорад, талаб мекунад. Ба вучуд овардани ин гуна маводҳо дар доираи таҳқиқотҳои бунёдии хусусиятҳои ҳар як ҷузъи системаи бисёркомпонентӣ асос ёфтааст. Муқаррар намудани қонуниятҳои тағйирёбии тавсифии амалии маводҳо, вобаста аз таъсири ҷузъҳо ва мушаххасотҳои (параметрҳои) алоҳида – дохилӣ ва берунӣ аҳамияти махсусро соҳиб гашта, барои системаи металлӣ бисёркомпонентҳо, маводҳои асосии конструксионӣ мебошад. Маълумоти бадастомада имкон медиҳад, ки маводҳои нави дорои тавсифи «барномарезишуда» ба вучуд оварда шаванд.

Алюминий ва ҳулаҳои он, ки бо лантанидҳо омехта шудаанд, тавсифҳои муҳими амалиро нишон дода ва ба сифати маводҳои конструксионӣ ва технологӣ дар соҳаҳои муносири техника ва технология: энергетикаи атомӣ, нимноқилҳо, лазерӣ, фосфорӣ ва соҳаи истехсолоти ҳарбӣ, барои ба даст овардани маводҳои қобилияти баландгузаронанда, конструксионӣ, магнитӣ дар саноати тибу кишоварзӣ васеъ истифода бурда мешвад.

Таҳқиқи хусусиятҳои термикӣ (ҳароратӣ) ва термодинамикии ҳулаҳои алюминий бо иловаҳои лантанидҳо, муқаррар кардани қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои ҳулаҳо аз табиат ва таркиби лантанидҳо, инчунин коркарди модели математикии ин қонуниятҳо муҳимияти мавзӯи қори диссертатсиониро муайян мекунад. Натиҷаҳои бадастомада имкон медиҳанд, ки омехтаи лантанид, концентратсияи он ва шароитҳои технологияи ба вучуд овардани ҳулаҳои алюминий бо хосиятҳои додшуда, ки ба талаботи татбиқ ҷавобгӯ мебошанд, интиҳоб карда шаванд.

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

Таваҷҷуҳи таҳқиқотчиён ва таҷрибадорони бисёр давлатҳои ҷаҳон ба ҷустуҷӯи усулҳои оқилонаи ба даст овардани ҳулаҳои нави алюминий бо иловаи моно- ва бисёркомпонента, 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 лантаноидҳои допиниравӣ, имконият медиҳад, ки қонуниятҳои тағйирёбии онҳо зеро таъсири омилҳои гуногуни дохилию

берунӣ муайян гардад. Дар ин радиф имконияти ба дастоврадани хӯлаҳои дорои хусусиятҳои қаблан «барномарезишуда» пайдо мешавад.

Алоқамандии кор бо барномаҳо ва мавзӯҳои илмӣ. Кори диссертатсионӣ баҳри ҳалли вазифаҳои стратегии чорум вобаста ба рушди саноати металлургию мошинасозӣ дар асоси ашёи маҳалӣ сахм мегузорад. Мавзуи кори диссертатсионӣ мувофиқ ба нақшаи КИТ тахти унвони “Тарҳрезӣ ва такмилдиҳии конструксияҳои воситаҳои техникӣ буда, бо қарори Шӯрои олимони Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш. Шохтемур, протокол №10 аз 25.02.2017 тасдиқ карда шуда аст.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Мақсади кори мазкур иборат аз ба даст овардани хӯлаҳои системаи алюминий (Al) – лантанидҳо (Ln) бо лантанидҳои бой, муайянкунии таркиби онҳо, сохтор, сахтӣ, омӯзиши хусусиятҳои теплофизикӣ – ҳарорат ва энталпияи гудозиши интерметаллидҳо (пайваستاҳои байниметаллӣ), хӯлаҳои эвтектикӣ, муқаррар намудани қонуниятҳои тағйирёбии онҳо вобаста аз табиат ва таркиби лантанидҳо мебошад.

Вазифаҳои таҳқиқот. Барои ноил шудан ба ҳадафи кор вазифаҳои зерин ҳал карда шуданд:

- кор карда баромадани шароити оптималии ба даст овардани хӯлаҳои системаҳои Al-La, Al-Ce ва Al-Pr, муайянкунии таркиб, сохтор ва сахтии онҳо;

- омӯхтани хусусиятҳои теплофизикии хӯлаҳо – ҳарорати гудозиш, гармигунҷоиш ва тавсифҳои термодинамикии онҳо;

- омӯхтани раванди кинетикии оксидшавии хӯлаҳои бадаст овардашуда ва муайян кардани тавсифҳои энергетикии онҳо;

- ченкунии энталпияи ҳалшавии хӯлаҳо дар кислотаҳо, тартиб додани даврияти термохимиявӣ бо мақсади муайян кардани энталпияи ташаккули хӯлаҳо;

- муайянкунии ва/ё мушаххас кардани хусусиятҳои теплофизикии лантанидҳо ва хӯлаҳои онҳо – эвтектика ва интерметаллидҳои системаи Al-Ln, ки аз лантанид бой мебошанд;

- муқаррар намудани қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои теплофизикии хӯлаҳо вобаста аз табиат ва таркиби лантанидҳо, инчунин моделсозии математикии онҳо.

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

Мавзуи таҳқиқот. Технологияи гирифтани хӯлаҳои системаи алюминий, дар доираи лантанидҳои бой. Муқаррар намудани

қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои хӯлаҳо аз табиат ва таркиби лантанидҳо, инчунин моделсозии математикии онҳо.

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

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

Гармиғунҷоиши ҳоси хӯлаҳо бо усули хунуккунӣ дар ҳамкорӣ бо кормандони Донишгоҳи милли Тоҷикистон муайян гардид. Қоркарди 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 хӯлаҳо омӯхта шуд. Энталпияи ҳалшавии хӯлаҳо бо усули ҳалшавии калориметрии дорой қабати изотермӣ дошта муайян карда шуд.

Таҳлили системавии тавсифи теплофизикии хӯлаҳои системаи алюминий-лантанидҳо, дорой лантанидҳои бой бо истифода аз усули нимэмперикӣ ва ҳисобӣ гузаронида шуд. Моделсозии математикии қонуниятҳои тағйирёбии тавсифи теплофизикии хӯлаҳо бо усули таҳлили регрессионӣ амалӣ карда шуд.

Навгонии илмӣ кори диссертатсионӣ иборат аст аз:

- муқаррарсозии морфологии сатҳи болоии хӯлаҳои системаи Al-Ln (дар ин ҷо Ln – La, Ce ва Pr), дорой самти хурддисперсиявӣ ва яқчинса, ки ба баландшавии хусусиятҳои механикии онҳо ишора мекунад;

- муайян кардани гармиғунҷоиши ҳос, вобастагии ҳарорати онҳо ва хусусиятҳои термодинамикии хӯлаҳои системаи Al-Ln (дар ин ҷо Ln – La, Ce ва Pr);

- муайян намудани энталпияи ҳалшавӣ ва ташаккули хӯлаҳои системаҳои Al-Ce, Al-Pr тартиб додани даврияти термохимиявӣ;

- муайян намудани тавсифи кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳои бадастовардашуда. Оксидшавии хӯлаҳо дар минтақаи диффузионӣ мегузарад. Хӯлаҳо бо иловаи лантанҳо дар муқоиса бо алюминий тоза ба зангзанӣ зудтар дучор мешавад;

- муайянкунӣ ва ё мушаххас кардани тавсифи теплофизикӣ – ҳарорату энталпияи гудозиши эвтектикӣ ва ИМ системаи Al-Ln дорой лантанидҳои бой. Қонунияти тағйирёбии хусусиятҳои теплофизикии

хӯлаҳо вобаста аз табиати лантанидҳо, бо бавучуъ омадани «тетрад-эффект» дорои тавсифи мураккаб мегардад;

- бо ёрии моделсозии математикӣ, усули таҳлили регрессионӣ аз рӯи барномаи стандартии MICROSOFT EXCEL муодила ба даст оварда шуд, ки бо эътимодияти баланд қонуниятҳои муқарраркардашудаи тағйирёбии хусусияти теплофизикии эвтектикӣ ва ИМ-и системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бойро тасвир менамояд.

Аҳамияти назариявии қор аз чунин муайянкунӣ иборат аст:

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

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

- тавсифи теплофизикӣ – ҳарорат ва энталпияи гудозиши эвтектика ва ИМ системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой, қонуниятҳои тағйирёбии онҳо вобаста аз табиати лантанидҳо, омодакунии модели математикии қонуниятҳои муқарраршуда.

Аҳамияти амалии қор аз он иборат аст, ки натиҷаҳои бадастовардашудаи параметрҳои теплофизикӣ ва зангзании хӯлаҳои системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой тавсифи маълумотномавӣ дошта, метавон онҳоро ҳангоми ҳисоби хусусиятҳои теплофизикии хӯлаҳо ва речаҳои гармии истифодабарии конструксия ва маснуоти металлӣ истифода бурд. Маълумот дар бораи гармию энталпияи ҳалшавии эвтектикӣ ва ИМ системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой, бонки бузургиҳои термодинамикии системаи хӯлаҳоро дар асоси алюминий бо маълумоти нав пурра менамояд.

Моделҳои математикии муқарраркунандаи қонуниятҳои тағйирёбии тавсифҳои теплофизикии хӯлаҳо, 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 «Қоргоҳи мошинасозӣ», Маркази илмии технологияҳои инноватсионӣ ва механиконикии кишоварзии АИКТ амалӣ шудаанд (санадҳои татбиқ мавҷуд аст).

Нуқтаҳои асосии ҷимояшавандаи диссертатсия:

-натиҷаҳои муайянкунии таркиби химиявии бадастовардашуда, сохторҳо ва сахтии хӯлаҳои системҳои Al-La, Al-Ce ва Al-Pr, вобастагии онҳо аз табиат ва консентратсияи лантанидҳо;

-гармиғунҷоиши хос, ҳарорати вобастагии он ва бузургиҳои хусусиятҳои термодинамикии хӯлаҳои бадастовардашуда;

-тавсифи кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаҳо;

-энталпияи ҳалшавӣ, даврияти термохимиявӣ ва энталпияи ташаккулёбии хӯлаҳои системаи Al-Ce ва Al-Pr;

-таҳлили системавии хусусияти теплофизикӣ – ҳароратҳо ва энталпияи гудозиши эвтектикӣ ва ИМ-и системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой;

-қонуниятҳои тағйирёбии хусусияти теплофизикии эвтектикӣ ва интерметаллидҳои системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой вобаста аз табиати лантанидҳо ва 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 маводҳои новобаста бо истифодаи методҳои (усулҳои) муосири дақиқи таҳқиқотӣ, мувофиқаи натиҷаҳо, инчунин методҳои (усулҳои) нимаэмпирикӣ ва ҳисоби термодинамикӣ таъмин карда шудааст. Хулоса ва пешниҳодот дар асоси таҳлили илмӣ ва коркарди маводҳои назариявӣ озмоишӣ бо истифодаи воситаҳои техникаи ҳисоббарори ва рақамикунонии муосир таҳия карда шудааст.

Соҳаи таҳқиқот. Кори диссертатсионӣ ба шиносномаи ихтисоси 05.02.01 – Маводшиносӣ (05.02.01.02 – саноати мошинасозӣ) мувофиқат мекунад. Хӯлаҳои 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 2017-2021 бо марҳилаҳои зерин гузаронида шудааст:

- омӯхтан ва таҳлили маълумотҳои адабиётӣ дар бораи хӯлаҳои дар асоси алюминий бо иловаи лантанидҳо;

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

-муайянкунии таркиб ва омӯхтани хусусиятҳои теплофизикии хӯлаҳои бадастомада;

-гузаронидани таҳлили системавӣ ва муқарраркунии қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои теплофизикӣ ва термодинамикии интерметаллидҳо ва таркиби эвтектикии хӯлаҳои 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 хӯлаҳои алюминий тааллуқ дорад (умқи ҷустуҷӯ зиёда аз 20 сол).

Кори диссертатсионӣ дар пойгоҳи кафедраҳои химияи умумӣ ва ғайриорганикии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик

М.С. Осимӣ, барқикунонӣ ва автоматикунонии кишоварзии Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш.Шоҳтемур иҷро карда шудааст.

Саҳми шахсии муаллиф дар иштироки бевоситаи ӯ дар ҳамаи давраҳои иҷроиши кор чуни наст: 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 ҳӯлаҳои системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой. Инчунин дар истифодаи усулҳои ҳисоб, коркард ва таҳлили маълумотҳои озмоишӣ ва ҳисоби маълумотҳо, таҳияи модели математикӣ маълумотҳои тавсифи қонуниятҳои тағйирёбандаи ҳӯлаҳо, таҳияи ҳулосаҳо ва интишори маводҳои диссертатсионӣ мебошад. Аз тарафи он ҳулосабарорӣ карда шуда, ақидаҳои илмӣ асоснокгардида пешниҳод карда шудааст.

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 ҷунин конференсияҳои илмӣ маъруза ва муҳокима карда шудааст:

сатҳи байналмилалӣ: III-юмин конференсияи илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Илм-асоси рушди инноватсионӣ», ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, Душанбе, 26-27.04.2018с.; конференсияи илмӣ-амалии донишҷӯён, магистрантҳо, аспирантҳо ва олимони «Муҳандис 2019», ДТТ ба номи академик 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» ДТТ ба номи академик М.С. Осимӣ, Душанбе, 27-28.11.2019с.; 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», ДАТ ба номи Ш. Шоҳтемур, Душанбе, 23-25.10.2021с..

сатҳи ҷумҳуриявӣ: конференсияи илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Рушди инноватсионии кишоварзӣ дар шароити тағйирёбии ҷаҳонии иқлим: ҳолати кунунӣ, мушкилот ва роҳҳои ҳалли онҳо» ДАТ ба номи Ш.Шоҳтемур, Душанбе, 30.04.2020с.; конференсияи илмӣ-амалӣ дар мавзӯи «Нақши илми муҳандисӣ дар истеҳсолоти кишоварзӣ: мушкилоти мубрам ва рушди соҳа», ДАТ ба номи Ш. Шоҳтемур, Душанбе, 29.09.2020с..

Маводҳои диссертатсия дар раванди тадрили ихтисосҳои мошинсозӣ ва металлургияи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи

М.С. Осимӣ, дар факултети химия ва физикаи Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва факултети механикони кишоварзии Донишгоҳи аграрии Тоҷикистон ба номи Ш.Шоҳтемур истифода бурда мешавад. Инчунин натиҷаҳои кори таҳқиқотӣ дар фаъолияти амалии КВД «Қоргоҳи мошинасозӣ», Маркази илми технологияҳои инноватсионӣ ва механикони кишоварзии АИКТ мавриди истифода қарор мешавад, ки инҳоро санадҳои тадбиқ собит менамояд.

Интишороти натиҷаҳои таҳқиқот. Дар асоси таҳқиқоти гузаронида шуда ва натиҷаҳои ба даст оварда шуда аз рӯи мавзӯи рисолаи диссертатсионӣ ҳамагӣ 19 кори илмӣ нашр карда шудааст, аз ҷумла 8 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои тақризшавандаи дар феҳристи ҚОА назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ба қайд гирифта шуда, 2 мақолаи илмӣ дар маҷаллаҳои тақризшавандаи ҚОА Федератсияи Россия ва 9 мақолаи илмӣ дар маводҳои конференсияҳои сатҳи гуногун нашр карда шудааст.

Соҳтор ва ҳаҷми рисолаи диссертатсионӣ. Рисолаи диссертатсионӣ аз муқаддима, чор боб, хулоса ва рӯйхати адабиёти истифодашудаи иборат аз 212 номгӯй, дар ҳаҷми 146 саҳифаи чопи компютерӣ, 45 расм ва 33 ҷадвал таҳия карда шудааст.

ҚИСМИ АСОСИИ ТАҲҚИҚОТ

Дар сарсухан муҳимияти мавзӯ, дараҷаи коркард, мақсад, вазифаҳо, наwgонии илмӣ, аҳамияти назариявӣ ва амалии диссертатсия, тавсиб ва интишори маводҳо асоснок карда шуда шудааст.

Дар боби якум таҳлили маълумотҳои адабиётӣ оид ба сохтани электронии минералҳо ва усулҳои ба даст овардани лантанидҳо ва хӯлаҳои он аз алюминий гузаронида шудааст. Маълумотҳо оид ба таркиби физико-кیمیёвӣ ва термодинамҳои интерметаллидҳои системаи Al-Ln, инчунин вазифаи диссертатсия оварда шудааст.

Дар боби дуум маълумотҳо оид ба усулҳои ба даст овардани хӯлаҳои Al-La, Al-Ce ва Al-Pr, оид ба истифодаи усулҳои таҷрибавии сканеркунонии микроскопии электронӣ, оид ба усулҳои хунуккунӣ, термогравиметрия, таҳлили ренгению фазавӣ ва калориметрияи ҳалшавӣ оварда шудааст. Усулҳои ҳисоб ва нимаэмпирикии таҳлили системавии тавсифи теплофизикии хӯлаҳо тавсир карда шудааст.

Боби сеюми диссертатсия ба муайянсозии таркиби морфологии сатҳи болоӣ ва сахтии хӯлаҳои системаи Al-Ln (где Ln – La, Ce и Pr) ва гармии ҳалшавии хӯлаҳои ба даст овардашуда бахшида шудааст. Натиҷаҳои омӯзиши тавсифи кинетикӣ ва энергетикӣи раванди оксидшавии хӯлаҳо оварда шудааст.

Дар боби чоруми диссертатсия натиҷаҳои таҳлили системавии адабиётӣ ва хусусияти теплофизикии аз тарафи мо ҳосилшуда – ҳарорат

ва энталпияи гудохтани эвтектикҳо ва интерметаллидҳои ситемаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой оварда шудааст. Модели математикии шаклҳои тағйирёбии онҳо дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо таҳия карда шудааст.

Ҳосилкунӣ, таркиб ва хусусияти физикӣ-химиявии ҳӯлаҳои системаи Al – Ln (дар ин ҷо Ln – La, Ce ва Pr)

Ҳӯлаҳо дар печи вакуми муковимат дар муҳити гази инерти ва тигли корунди ба даст оварда шудааст. Бо усули сканеркунии микроскопии электронӣ таркиби химиявии ҳӯлаҳо муайян карда шудааст (ҷадвали 1).

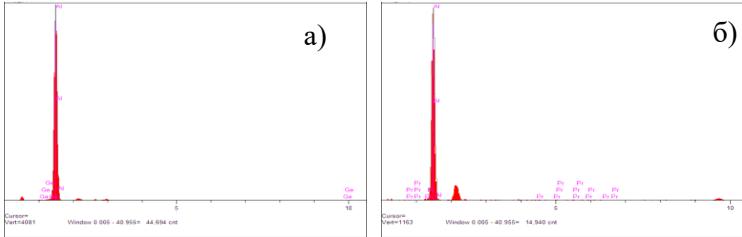
Диафрагмаҳо ва микроструктураи ҳӯлаҳо дар расмҳои 1 ва 2 нишон дода шудааст.

Ҷадвали 1 - Натиҷаи таҳлили таркиби химиявӣ ва фаълшавии хати компонентҳои ҳӯлаҳои алюминийи омехташудаи Ln

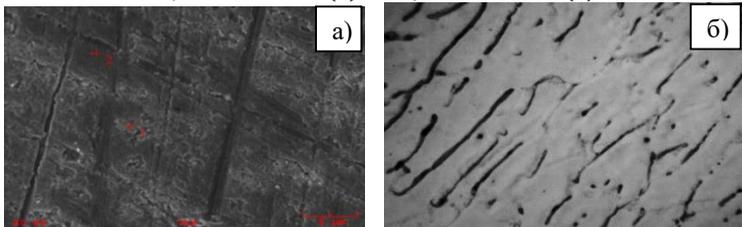
Система	Воҳиди ченак	Контсентратсияи элемент	Иштибоҳи таҷриба	Фаълнокии хат	Хат
Al-Ce	масс.%	99.506	42.198	4.541.03	Kα
	масс.%	0.494	0.991	1.27	Lα
ҳамагӣ	масс.%	100.0			
Al-Pr	масс.%	97.941	21.203	1.126.86	Kα
	масс.%	2.059	1.114	3.33	Lα
ҳамагӣ	масс.%	100.0			
Al-Pr	масс.%	99.009	20.025	1.213.25	Kα
	масс.%	0.991	0.754	1.18	Lα
ҳамагӣ	масс.%	100.0			

Якзайлӣ ва сахтии сатҳи болоии морфологии ҳӯлаҳо беҳтаршавии таркиби механикии ҳӯлаҳоро нишон медиҳад.

Дар доираи таҳқиқоти таркибӣ сохтори ҳӯлаҳо аз маҳлули сахти αAl+эвт.(αAl+Al₁₁Ln₃) иборат мебошад. Бо афзоишҳои концентратсияи лантанидҳо ҳиссаи ҳамроҳкунии эвтектикаи нишондодашуда дар маҳлули сахти алюминий зиёд мешавад (расми 2б) ва ба сохтор ва таркиби ҳӯлаҳо таъсири тағйирёбандагӣ мерасонад. Сахтии ҳӯлаҳо (ҷадвали 2) аз рӯи натиҷаҳои 3-4 ченкунӣ муайян ва бо афзоиши концентратсияи иловаҳо зиёд шуда, ки он вобаста аст, аз тозагии аслии Al ва табиати Ln (расми 3).



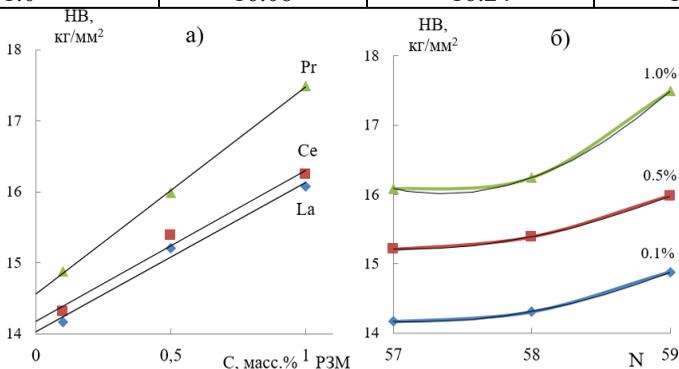
Расми 1 - Дифрактограммаи хӯлаҳои алюминий, дорони 0,5 масс.% Ce (а) ва 2,0 масс.% Pr (б)



Расми 2 – Морфологияи сатҳи болои хӯлаҳои алюминий, дорони 2.0 масс.% Pr (а) ва 1.0 масс.%: La (б) (x 500)

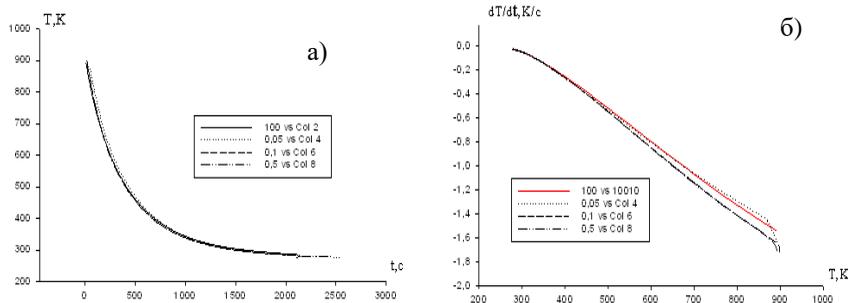
Ҷадвали 2 – Сахтии (кг/мм²) хӯлаҳои алюминий бо лантанидҳо омехта карда шуда (аз рӯи Бринеллӣ)

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 хӯлаҳои алюминий бо лантанидҳо омехта карда шуда дар вобастагӣ аз таркиби иловакунии (а) ва табиати (N) (б) лантанидҳо

Дар расми 4 графики вобастагии качтатаи ҳарорати хӯлаҳои системаи Al-Pr аз вақт (а) ва суръати хунукшавӣ (б) нишон дода шудааст. Аз рӯи қимати коэффитсиенти (зариви) интиқоли гармии (а) намунаҳо, муодилаи суръати хунукшавии (Ҷ) онҳо ва ҳаҷми гармигунҷоиш таҳия карда шудааст. Қиматҳои ҳисобшудаи функцияҳои термодинамикии намунаҳои хӯлаҳо дар ҷадвали 3 оварда шудааст.



Расми 4 – Вобастагии ҳарорат (а) ва суръати хунуккунии (б) хӯлаҳои системаи Al-Pr дар вақташ

Ҷадвали 3 – Муодилаи аз ҳарорат вобаста будани функцияҳои объектҳо

Объект	Функсия	Муодила
Al	Ҷ	$Y = 555,477 \cdot \exp(-0,0028t) + 340,113 \cdot \exp(-9,981 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.05Pr	Ҷ	$Y = 613,6556 \cdot \exp(-0,002725t) + 322,5755 \cdot \exp(-6,5357 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.1Pr	Ҷ	$Y = 577,9058 \cdot \exp(-0,0030140) + 342,2162 \cdot \exp(-9,9387 \cdot 10^{-5}t)$
Al+0.5Pr	Ҷ	$Y = 575,3124 \cdot \exp(-0,0029876) + 337,5390 \cdot \exp(-8,8334 \cdot 10^{-5}t)$
Al	C_p	$C_p = 822,400 + 0,500T + 0,0002T^2 + 2,431 \cdot 10^{-7}T^3$
Al+0.05Pr	C_p	$C_p = 822,0364 + 0,5T + 1,9959 \cdot 10^{-4}T^2 + 2,4324 \cdot 10^{-7}T^3$
Al+0.1Pr	C_p	$C_p = 821,6729 + 0,4999T + 1,9918 \cdot 10^{-4}T^2 + 2,4324 \cdot 10^{-7}T^3$
Al+0.5Pr	C_p	$C_p = 818,7643 + 0,4997T + 1,9591 \cdot 10^{-4}T^2 + 2,4378 \cdot 10^{-7}T^3$
Al	(α)	$ \alpha(T) = -11,5583 + 0,0396T + 1,2468 \cdot 10^{-5}T^2 - 1,6252 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.05Pr	(α)	$ \alpha(T) = -11,4001 + 0,0390T + 1,9478 \cdot 10^{-5}T^2 - 2,5130 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.1Pr	(α)	$ \alpha(T) = -9,8504 + 0,0299T + 3,3942 \cdot 10^{-5}T^2 - 4,1983 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.5Pr	(α)	$ \alpha(T) = -8,2521 + 0,0188T + 5,7057 \cdot 10^{-5}T^2 - 4,1983 \cdot 10^{-8}T^3$
Al+0.05Pr	S	$S(T) = 22,179 \ln T + 0,013T + 2,696 \cdot 10^{-6}T^2 + 2,186 \cdot 10^{-9}T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,179T + 0,007T^2 + 1,790 \cdot 10^{-6}T^3 + 1,639 \cdot 10^{-9}T^4$
	G	$G(T) = -22,179T(\ln T - 1) - 0,007T^2 - 8,989 \cdot 10^{-7}T^3 - 5,46510 \cdot 10^{-10}T^4$

Al+0.1Pr	S	$S(T) = 22,171 \ln T + 0,013T + 2,659 \cdot 10^{-6} T^2 + 2,185 \cdot 10^{-9} T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,17T + 0,007T^2 + 1,797 \cdot 10^{-6} T^3 + 1,638 \cdot 10^{-9} T^4$
	G	$G(T) = -22,17T(\ln T - 1) - 0,007T^2 - 8,984 \cdot 10^{-7} T^3 - 5,46210^{-10} T^4$
Al+0.5Pr	S	$S(T) = 22,099 \ln T + 0,013T + 2,683 \cdot 10^{-6} T^2 + 2,178 \cdot 10^{-9} T^3$
	H	$H(T) = H(0) + 22,099T + 0,007T^2 + 1,789 \cdot 10^{-6} T^3 + 1,634 \cdot 10^{-9} T^4$
	G	$G = -22,099T(\ln T - 1) - 0,007T^2 - 8,94910^{-7} T^3 - 5,44510^{-10} T^4$

Муайянсозии калориметрии энталпияи ҳалшавӣ ва ташаккули хӯлаҳои системаи Al – Ln (дар ин ҷо Ln – Ce ва Pr)

Бо усули калориметрӣ энталпияи ҳалшавӣ ва ташаккулёбии хӯлаҳои системаҳои Al-Ce ва Al-Pr муайян карда шудааст. Ҳалқунандаи муносиби маҳлули 0.5M кислотаи намаки (шур) будааст. Вазни моддаҳои таҳқиқшаванда бошад $(1-6) \cdot 10^{-3}$ мол нисбат ба шумораи ҳалқунандаи гирифташуда (150 cm^3) хело кам будааст. Ҳисоб кардан мумкин аст, ки раванди ҳалшавии хӯлаҳо ҳангоми иловакуниҳои зиёд, бо тартиби 1:100 сурат мегирад. Натиҷаҳо ва шароитҳои раванди ҳалшавии хӯлаҳо ва ИМ системаҳои Al-Ce ва Al-Pr дар ҷадвалҳои 4 ва 5 оварда шудааст.

Ҷадвали 4 – Гармии ҳалшавии хӯлаҳои системаи алюминий-лантанидҳо

Al-Ln	C, ҳачм.%	№ таҷриба	м, г	μ, г/мол	Q, Ҷ	$\Delta H_{298, \text{max}}^0$ Ҷ/мол	Миёнаи- $\Delta H_{298, \text{max}}^0$
Al-Ce	0.1	1	0.0132	27.10	8691	1762.49	1668.46±100
		2	0.0140		9649	1584.70	
		3	0.0398		12270	1658.20	
	0.5	1	0.0135	27.55	9205	1878.61	1792.03±90
		2	0.0160		10334	1779.60	
		3	0.0204		12719	1717.86	
1.0	1.0	1	0.0144	28.12	8883	1734.76	1804.45±70
		2	0.0158		9426	1777.71	
		3	0.0172		12298	1900.90	
Al-Pr	1.0	1	0.0142	28.11	6646	1316.09	1319.35±30
		2	0.0155		7745	1350.22	
		3	0.0185		8499	1291.725	
		1	0.0280		7193	7321.24	
	2.0	2	0.0334	29.26	8627	7567.87	7058.3±500
		3	0.0410		10001	7143.78	
		4	0.0568		11161	6734.42	
		5	0.0644		12188	6523.86	

Идомаи ҷадвали 4

	4.0	1	0.0220	31.54	5429	7627.16	6679.0±100
		2	0.0362		8244	6869.90	
		3	0.0396		7985	6423.42	
		4	0.0456		9140	6342.21	
		5	0.0506		9854	6132.34	
	6.0	1	0.0198	33.82	5115	7856.69	7457.7±600
		2	0.0310		7128	8100.01	
		3	0.0351		7509	7508.96	
		4	0.0461		8284	6944.20	
		5	0.0610		10213	6878.56	

Эзоҳ: С – контсентратсия; м – вазни намунавӣ; μ – вазни молярӣ;

Q – гармии ҳалшавӣ; $-\Delta H_{298, \text{рас.}}^0$ – энталпияи ҳалшавӣ.

Ҷадвали 5 – Раванди энталпияи ҳалшавии ИМ системаи Al-Ln

Таркиб и ИМ	№ таҷриба	м, г	М, г/мол	Q, кҶ	$-\Delta H_{298, \text{мах.}}^0$ Ҷ/мол	Бузургии миёнаи- $-\Delta H_{298, \text{мах.}}^0$
AlCe ₂	1	0.3767	307.2	3.99	3226.8	3229.0 ± 5
	2	0.3988		4.19	3231.9	
	3	0.3296		3.44	3232.8	
	4	0.4601		4.86	3224.7	
	5	0.3911		4.04	3228.0	
AlCe ₃	1	0.5398	447.4	7.86	6524.9	6526.7 ± 9
	2	0.5992		8.62	6535.5	
	3	0.5289		7.69	6519.8	
	4	0.4894		7.34	6601.3	
AlPr	1	0.2936	167.89	2332	1334.7	1338.1 ± 10
	2	0.5406		4412	1336.0	
	3	0.6598		5273	1342.3	
	4	0.4840		3834	1330.8	
	5	0.2192		1761	1346.7	
AlPr ₂	1	0.2764	308.8	4322	2912.7	2854.1 ± 60
	2	0.3099		4214	2827.2	
	3	0.4307		5623	2832.9	
	4	0.3894		4734	2873.3	
	5	0.2564		4132	2824.4	

Аҳамияти энталпияи ҳалшавӣ ва маълумотҳои адабиёти имкон доданд, ки аз рӯи даврияти тартибдодашудаи термохимиявӣ бузургии энталпияи пайдошавии ИМ системаи Al-Ln (ҷадвали б) ҳисоб карда шавад.

Ҷадвали 6 – Энталпияи стандартии ташаккули ИМ системаи Al-Ln

ИМ	$-\Delta fH_{298}^0, \frac{\text{кҶ}}{\text{мол-атомхо}}$		ИМ	$-\Delta fH_{298}^0, \frac{\text{кҶ}}{\text{мол-атомхо}}$	
	Адабиёт	Таҷриба		Адабиёт	Таҷриба
AlCe	32.51	34.01 ± 6	Al ₂ Pr	62.77	58.13
	47.23		AlPr	-	38.52
AlCe ₂	21.29	20.57 ± 4	AlPr ₂	-	24.69
	16.62		AlPr ₃	-	17.03
β-AlCe ₃	15.01	14.82 ± 3			

**Омӯзиши раванди оксидшавии хӯлаҳои системаи Al-Ln
(дар ин ҷо Ln – Ce ва Pr)**

Тавассути усули термогравиметрӣ раванди оксидшавии хӯлаҳои системаи Al-Ln (Ln – Ce, Pr) дар фазо (хаво) дар ҳарорати 573, 673 ва 773 К. таҳқиқ гузаронида шуд. Натиҷаҳои ҷадвали 7 нишон медиҳанд, ки бо зиёдшавии таркиби лантанидҳо (аз рӯи вазни %) ба афзоишбии суръати оксидшавии (v) ва камшавии намоёни энергияи фаъолашавии ($E_{\text{фаъол.}}$, кҶ/мол) хӯлаҳо бурда мерасонад.

Ҷадвали 7- Параметрҳои раванди оксидшавии алюминий ва хӯлаҳо

	$C_{Ln}, \%$	T, K	$K \cdot 10^{-6}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сон}^{-1}$	$E_{\text{фаъ.}}$		$C_{Ln}, \%$	T, K	$K \cdot 10^{-6}, \text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сон}^{-1}$	$E_{\text{фаъ.}}$
Al	-	573	2.03	96 ± 5		0.05	573	2.01	114 ± 3
		673	3.28				673	3.21	
		773	4.26				773	4.29	
Al-Ce	0.05	573	2.06	104 ± 6	Al-Pr	0.1	573	2.76	84 ± 4
		673	3.09				673	3.79	
		773	4.15				773	4.97	
	0.1	573	3.04	75 ± 5		0.5	573	3.87	73 ± 4
		673	4.09				673	4.31	
		773	5.11				773	5.72	
	0.5	573	4.01	55 ± 6		1.0	573	4.24	52 ± 2
		673	4.71				673	5.03	
		773	6.08				773	6.25	
1.0	573	4.70	39 ± 6						
	673	5.31							
	773	6.83							

**Таҳлили системавии таъсири термикӣ ва термодинамикии
эвтектикҳо ва интерметаллидҳои системаи Al-Ln бо лантанидҳои бой,
моделсозии қонуниятҳои тағйирёбии онҳо**

Маълумот оид ба таркиби физикӣ-химиявии системаи металлӣ, имконият медиҳад, ки қонуниятҳои тағйирёбии онҳо вобаста аз

таъсиррасони омилҳои гуногун муайян карда шаванд. Ин гуна таҳқиқотҳо барои системаи металлӣ аҳамияти махсус пайдо намуда, дар асоси омехтасозии алюминий бо лантанидҳои, ки тавсифи муҳими дақиқро нишон медиҳанд, барои истифодаи васеъ дар соҳаҳои техникӣ ва технологияи муосир зарур аст. Моделсозии математикии онҳо имкон медиҳад, ки таҳқиқи таҷрибавии мураккаб нагузаронида, усулҳои боз ҳам оқилонаи синтези маводҳои дорои тавсифи «барномарезишуда» интихоб карда шаванд.

Таҳлили маълумотҳои адабиёти оид ба диаграммаҳои ҳолати системаи Al-Ln, нишон медиҳад, ки дар баробари ба вучуд овардани ИМ таркиби $AlLn_3$, $AlLn_2$, Al_2Ln_3 , $AlLn$, Al_2Ln , Al_3Ln , $\alpha-Al_{11}Ln_3$ ва $\beta-Al_{11}Ln_3$ дигаргуншавии эвтектикӣ низ мавқеи худро дорад. Диаграммаи ҳолати баъзе системаи Al-Ln дар доираи лантанидҳои бой ба таври нопурра омӯхта шудааст. Тавсифҳои термикӣ ва термодинамикии баъзе ИМ ва бисёр хӯлаҳои эвтектикӣ вучуд надоранд.

Таҳлили системавии ҳарорат ва энталпияи гудохтани хӯлаҳои эвтектикии системаи Al – Ln дар доираи лантанидҳои бой

Таҳлили сарчашмаҳои адабиёти ба пурра (барои Al-Pm, Al-Lu) ва ё қисман (барои Al-Eu, Al-Tb ва Al-Tm, дар доираи лантанидҳои бой) мавҷуд набудани маълумот оид ба ҳарорати гудохтани хӯлаҳои эвтектикиро нишон медиҳад. Танҳо дар системаҳои Al-La, Al-Ce, Al-Sm, Al-Dy ва Al-Er се намуд дигаргуншавии эвтектикӣ ошкор карда шуд. Маълумот дар бораи гудохтани хӯлаҳои энталпияи системаи Al-Ln муман вучуд надорад.

Мавҷуд набудани қимати ҳарорати гудозиши виртуалии хӯлаҳои эвтектикии системаи Al-Lu тавассути усулҳои ҳисоби қиёсӣ ва фарқиятҳо аз тарафи мо баҳо дода шудааст (дар чадвали 8 (*) нишон дода шудааст). Ҳисоб дар тавсифи тағйирёбии хаттии хусусияти La, Gd, Lu аз рақами тартибии лантанидҳо асос ёфтааст. Чунин равиш дар мутобиқати (шабоҳати) ҷойгиршавии электронии орбиталҳои берунаи электронии ($6s^25d^1$) ва таъсири бартариятноки электронҳои 4f-орбитали ($4f^0$; $4f^7$; $4f^{14}$) ба хусусияти атомҳои элементҳо ва пайваستшавии онҳо асос меёбад.

Маълумотҳо барои хӯлаҳои La, Gd, Lu барои ҳисоби тавсифи хӯлаҳои ҳамшабеҳи дигар лантанидҳо бо усули нимэмпирикӣ, заминавӣ мебошанд. Графики тағйирёбии ҳарорати гудозиши ($T_{пл.}$) хӯлаҳои эвтектикӣ барои системаҳои Al-La, Al-Gd ва Al-Lu дар вобастагӣ бо рақами тартибии онҳо (N) тавсифи ростхаттагӣ доранд. Коркарди математикии маълумотҳо имкон дод, ки муодилаи ин қонуниятро таҳия намоем, ки шакли $y = 32,357x - 923,86$ –ро дар ҳоли дараҷаи эътимодият $R^2 = 1$ бошад, мегирад.

Дар чадвали 8 маълумотҳо оид ба ҳарорати гудохтан, шакл ва доираи табилёбии эвтектикӣ дар системаи Al-Ln оварда шудааст.

Ҷадвали 8 – Ҳарорати гудозиши эвтектикии системаи Al-Ln, дар доираи лантанидҳои бой: (а) – адабиёт, (б) – ҳисоб.

Система	Тағйирёбӣ	% ат. Ln	T _{гуд.} , К	
			(а)	(б)
Al-La	La + AlLa ₃		820; 912	920
Al-Ce	Ж=βAlCe ₃	70	918	920
	Ж = (Ce) + β AlCe ₃	89,0	853	
Al-Pr	AlPr ₂ + αPr	82	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	1278	1305
	-	58,0	1318	
Al-Tm	-	-	-	1338
Al-Yb	-	-	930	1150
Al-Lu	-	-	-	1373*

Муайянкунӣ ё дақиқкунии ҳарорати гудозиши (Тпл.) эвтектикии системаи Al-Ln дар доираи лантанидҳои бой тавассути усули нимэмпирикӣ бо муодилаи коррелиатсионии зерин оварда шудааст:

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

Қимати коэффитсиенти муодила [1] $\alpha=32,357$; $\beta=0,429$; $\gamma'=-21,629$ ва $\gamma''=-0,694$ баробар мебошад. Дар расми 5 графики қонуниятҳои тағйирёбии ҳарорати гудозиши эвтектикии системаи Al-Ln дорои Ln бой дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо оварда шудааст. Мувофиқати бузургиҳои адабиётӣ ва ҳисобҳо аз эътимоднокии натиҷаҳои ба даст овардашуда, бидуни системаи Al-Yb шаҳодат медиҳанд.

График пайдоиши «тетрад-эффект»-ро дар қонунияти муқаррар кардашуда нишон медиҳад:

-бо афзоиши рақами тартибии Ln баландшавии ҳарорати гудозиши ҳулаҳои эвтектики мушоҳида мегардад. Дар доираи гурӯҳи Ln аз лантан то лютетсия ин гуна баландшавӣ тақрибан $\Delta T = 450$ дараҷа ташкил медиҳад;

-тақсимооти қонуният аз рӯи зергурӯҳи Ln: серий ва иттрий;

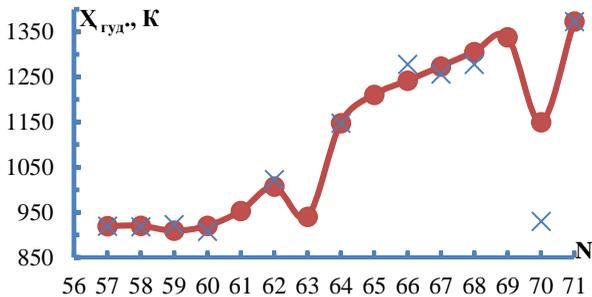
-тавсифи бернушавии системаҳои Al-Eu ва Al-Yb аз қонуниятҳои умумӣ, бо сабаби электронии онҳо;

-барои зергурӯҳи серий (Al-La – Al-Eu) бо болоравии тартиби рақамии лантанид камшавии на онқадар назарраси бузургии ҳарорати гудозиши эвтектикӣ то байни зергурӯҳи Al-Pr ва болоравии назарраси он дар қисмати дуёми зергурӯҳ мушоҳида мешавад;

-барои зергурӯҳи иттрий (Al-Gd – Al-Lu) қонуният тавсифи қариб ростхатагиро бо афзоиши ҳарорати симбатии гудозиши эвтектикҳо дар доираи $\Delta T_{пл.} = 225 \text{ K}$ дорад.

Бузургии мавҷуда ва ё муайянкардашудаи ҳарорат, энталпияи гудозиши лантанидҳо, алюминий ва аз тарафи мо ҳарорати гудозиши эвтектикии системаи Al – Ln ҳисобшуда, имконият фароҳам оварданд, ки энталпияи гудозиши онҳо ($\Delta H_{пл.}^0$) аз рӯи формулаи (ҳисоби-1) ҳисоб карда шавад:

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



Расми 5 – Қонунияти тағйирёбии ҳарорати гудозиши эвтектикии системаҳои Al-Ln бо Ln бой аз табиати лантанидҳо: x - адабиёт; ● - ҳисоб

Барои муқоисакунии натиҷаҳо, инчунин энталпияи гудозиши эвтектикии системаи Al-Ln бо усули нимэмпириқӣ (ҳисоб-2) аз рӯи формулаи зерин ҳисоб карда шуд:

$$\Delta H_{пл., \text{эвтек.}}^0 Al_x Ln_y = \Delta H_{пл., Al}^0 x + \Delta H_{пл., Ln}^0 y + \alpha N_L + \beta S + \gamma' S_{(Ce-Eu)} (\gamma'' L_{(Tb-Yb)}) \quad (3)$$

Коэффитсиентҳои муодилаи [3], ки ба $\alpha = 0,5543$, $\beta = 0,4543$, $\gamma' = -0,4432$ ва $\gamma'' = -0,6034$ баробар аст, таъсири α – $4f$ –электронҳо, β - ва γ – спин (S)–и лаҳзаҳои (L) орбиталии ҳаракати атомҳо ва ионҳои лантанидҳо ба қимати бузургии энталпияи гудозиши эвтектикҳо ба инобат мегирад. Коэффитсиентҳои γ' ба лантанидҳои зергурӯҳи серий тааллуқ дошта ва γ'' бошад, ба металҳои зергурӯҳи иттриевӣ дохил мешавад.

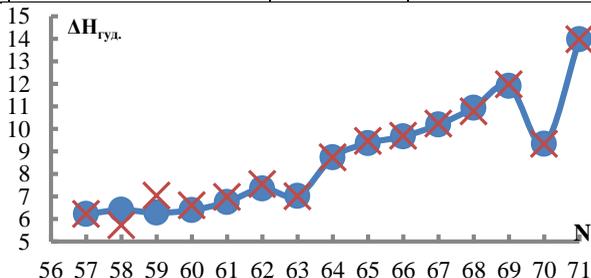
Натиҷаҳои ҳисоби нишондиҳандаҳои энталпияи гудозиши эвтектикии системаи Al-Ln бо лантанидҳои бой дар ҷадвали 9 оварда шудааст. Маълумотҳои ба дастовардашуда имкон доданд, ки хусусияти тағйирёбии тавсифи ин эвтектикҳо дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо

муайян карда шавад, ки дар шакли график дар расми 6 нишон дода шудааст.

Аз маълумотҳои ҷадвали 9 ва расми 6 дидан мумкин аст, ки бузургиҳои ҳисоби натиҷаҳои ду усул ба ҳамдигар хуб мувофиқ омадаанд. Графики қонуниятҳои тағйирёбии гудозиши энталпияи эвтектикии системаи Al-Ln бо лантанидҳои бой дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо ба графики қонуниятҳои тағйирёбии гудозиши энталпияи эвтектикии системаи Al-Ln дорои лантанидҳои бой яқхела аст (расми 5) ва бо пайдошавии «тетрад - эффект» зуҳур меёбад.

Ҷадвали 9 – Гудозиши энталпияи эвтектикӣ дар системаи Al-Ln: (а)-ҳисоб ба -1, (б)-ҳисоб ба -2

Система	Табдилёбии эвтектикӣ	Ln, %	$\Delta H_{пл.Т}$, кҶ/мол-атом.	
			(а)	(б)
Al-La	La + AlLa ₃		6,22	6,22
Al-Ce	Ж=βAlCe ₃	70	6,41	5,73
	Ж = (Ce) + β AlCe ₃	89,0		
Al-Pr	AlPr ₂ + αPr	82	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 = (αGd) + Al ₃ Gd 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 ₂ Dy ₃	61,0		
Al-Ho	AlHo ₂ + Ho	76,0	10,19	10,23
	Al ₂ Ho ₃ + Al ₂ Ho			
Al-Er	-	88,0	10,94	10,78
	-	58,0		
Al-Tm	-	-	11,91	11,98
Al-Yb	-	-	9,33	9,33
Al-Lu	-	-	13,98	13,98



Расми 6 - Графикаи тағйирёбии энталпияи гудозиши эвтектикии системаҳои Al-Ln бо Ln бой дар вобастагӣ аз табиати Ln: x-ҳисоб-1; •-ҳисоб-2

**Таҳлил ва муайянсозии ҳарорат ва энталпияи гудозиши
интерметаллидҳои системаи Al–Ln бо лантанидҳои бой**

Қиматҳои муайянсозии ҳарорати гудозиши ИМ системаи Al–Ln дар доираи лантанидҳои бойи дар адабиёт овардашуда ва аз тарафи мо дақиқ карда шуда, имкон доданд, ки энталпияи гудохтани ($\Delta H^0_{пл.}$, кҶ/мол-атом) ИМ системаи Al–Ln, дар доираи лантанидҳои бой, тибқи муодилаи зерин ҳисоб намоем (ҳисоб - 1).

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

Натиҷаи ҳисоби қимати энталпияи гудохтани ИМ таркиби $AlLn_3$, $AlLn_2$, Al_2Ln_3 ва $AlLn$ -и бо формулаи [4], дар ҷадвали 10 оварда шудааст.

Ҷадвали 10 – Таъсири термохимиявии ИМ системаи Al–Ln дар доираи лантанидҳои бой ($T_{пл.}$, К; $\Delta H^0_{пл.}$, кҶ/мол-атом)

Модда			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu
Лантанидҳо	$T_{пл.}$	X-2	1193	1198	1208	1245	1301	1385	1099
		Ад.	1191	1071	1204	1294	1315	1347	1095
	$\Delta H^0_{пл.}$	X-2	6,20	6,38	6,91	7,20	7,75	8,56	9,21
		Ад.	6,20	5,46	6,89	7,14	7,62	8,62	9,21
AlLn	$T_{пл.}$	X-2	1146	1146	1174	1184	1202	1232	1246
		Ад.	1146	1118	1178	1213	-	-	-
	$\Delta H^0_{пл.}$	X-1	9,53	9,60	10,07	10,19	10,45	10,85	12,34
		X-2	9,53	9,85	9,86	10,03	10,38	10,90	10,11
Al ₂ Ln ₃	$T_{пл.}$	X-2	1065	1085	1089	1104	1131	1169	1124
	$\Delta H^0_{пл.}$	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	$T_{пл.}$	X-2	984	1016	1025	1047	1081	1128	1095
		Ад.	-	-	-	1008	1068	-	-
	$\Delta H^0_{пл.}$	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	$T_{пл.}$	X-2	873	909	927	950	978	1012	971
		Ад.	823	928	903	948	-	-	-
	$\Delta H^0_{пл.}$	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
Лантанидҳо	$T_{пл.}$	X-2	1585	1629	1683	1722	1770	1830	1094	1928
		Ад.	1586	1629	1685	1747	1802	1818	1092	1936
	$\Delta H^0_{пл.}$	X-2	10,04	10,79	11,11	11,89	13,15	14,87	7,66	18,83
		Ад.	10,04	10,79	11,06	17,00	19,92	16,86	7,66	22,00
AlLn	$T_{пл.}$	X-2	1348	1368	1372	1388	1417	1457	1424	1548
		Ад.	1348	-	-	1388	1338	-	-	-

	$\Delta H^0_{\text{пл}}$	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	$T_{\text{пл}}$	X-2	1253	1273	1277	1292	1320	1357	1387	1441
		Ад.	1253	-	1286	1267	1333	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{пл}}$	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	$T_{\text{пл}}$	X-2	1223	1251	1259	1280	1314	1361	1295	1412
		Ад.	1223	-	1413	1291	1303	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{пл}}$	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	$T_{\text{пл}}$	X-2	1098	1098	1103	1116	1133	1156	1092	1193
		Ад.	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\Delta H^0_{\text{пл}}$	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

Барои муқоисаи қиматҳои энталпияи ғудохтани ИМ, инчунин бо методи нимэмпирикӣ аз рӯи муодилаи зерин ҳисоб карда мешавад (ҳисоб-2).

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

Коэффитсиенти муодилаи [5] (ҷадвали11) чунин таъсиррасонино ба инобат мегирад: α – $4f$ –электронҳо, β – ва γ – спин (S) – и орбиталии (L) – ҳолатҳои ҳаракати атомҳоро ва ионҳои лантанидҳоро дар бузургии энталпияи ғудохтани ИМ системаи Al-Ln. Коэффитсиенти γ' ба лантанидҳои зергурӯҳи серий ва γ'' бошад ба зергурӯҳи иттрий тааллуқ дорад.

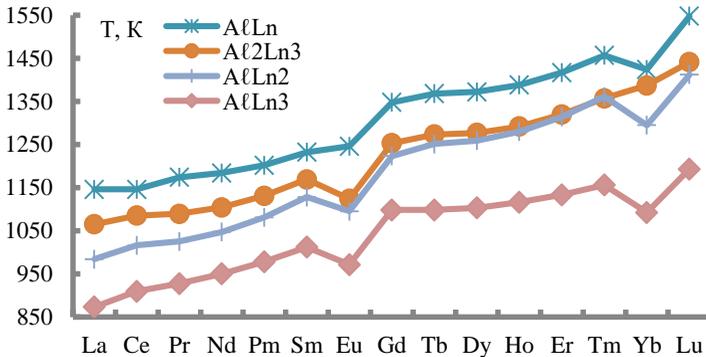
Ҳангоми ҳисобҳо қиматҳои термохимиявии тавсифи лантанидҳои аз тарафи мо муайян кардашуда истифодабурда шудааст, зеро онҳо ба натиҷаҳои ниҳой моҳиятан таъсир мерасонанд. Маълумотҳои мавҷуда барои алюминий аз маълумотномаи (справочник) гирифта шудааст. Бо ҳам мувофиқ омадани маълумотҳои адабиётӣ ва ҳисобӣ (P-2), қимати ҳарорати ғудохтани лантанидҳо (ҷадвали 10) (ба истиснои Nd ва Pm) натиҷаҳои ба дастовардашударо шаҳодат дода, дурусти усули истифодашударо собит менамояд.

Ҷадвали 11 – Қиматҳои коэффитсиентҳои муодилаи коррелиатсионӣ (5)

Модда	Паҳлӯҳо	α	β	γ'	γ''	Эзоҳ
Лантанидҳо	$T_{\text{пл.}}, \text{K}$	52,51	7,02	-28,11	-10,63	$\gamma'_{\text{Ce}} = -74,8;$ $\gamma''_{\text{Tb}} = -19,2$
	$\Delta H^0_{\text{пл.}}, \text{кҶ/мол}$	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.} , К	28.71	0,31	-9,72	-12,41	-
	$\Delta H^0_{пл.КЧ}$ / мол- атомҳо	0,49	-0,28	-0,17	-0,27	$\gamma'_{Ce}=-0,26;$ $\gamma'_{Eu}=0,075$
Al ₂ Ln ₃	T _{пл.} , К	26.86	0	-11,38	-11,38	-
	$\Delta H^0_{пл.КЧ}$ / мол- атомҳо	0,48	-0,32	-0,14	-0,27	$\gamma'_{Eu}=0,043$ $\gamma''_{Yb}=-0,9$
AlLn ₂	T _{пл.} , К	34.14	0	-12,2	-13,26	-
	$\Delta H^0_{пл.КЧ}$ / мол- атомҳо	0,52	-0,29	-0,14	-0,26	$\gamma'_{Eu}=0,1$ $\gamma''_{Yb}=-1,14$
AlLn ₃	T _{пл.} , К	22,85	11,41	-5,16	-5,16	-
	$\Delta H^0_{пл.КЧ}$ / мол- атомҳо	0,46	-0,15	-0,07	-0,24	$\gamma'_{Eu}=0,14$ $\gamma''_{Yb}=-1,07$

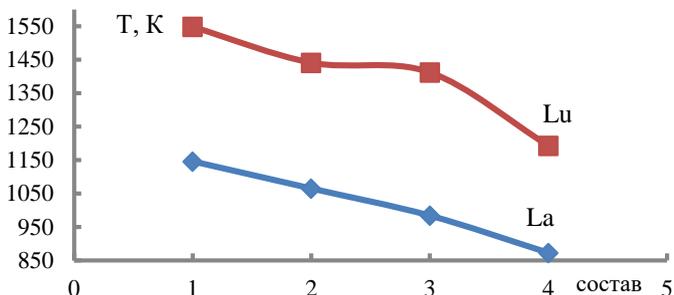
Барои равшании дуруст андохтан дар расмҳои 7 ва 8 графики намунаи қонуниятҳои тағйирёбии ҳарорати худохтани ИМ дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо (расми 7) ва аз таркиби ҳӯла (расми 8) тасвир гардидааст.



Расми 7 – Вобастагии қачхатаи ҳарорати худохтани (T_{пл}) ПБ системаи Al – Ln бо лантанидҳои бой аз табиати лантаноидҳо

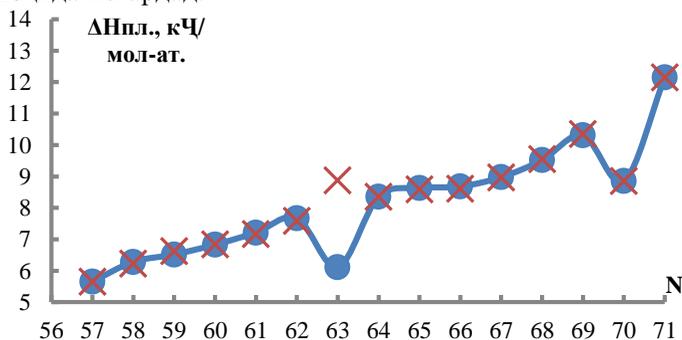
Аз расми 7 дида мешавад, ки ҳангоми афзоиши тартиби рақамии лантанидҳо баландшавии симбатии ҳарорати худохтани ИМ мушоҳида мешавад.

Дар графики тағйирёбии ҳарорати худохтани ИМ дар вобастагӣ аз консентратсияи лантанидҳо дар шакли ҳӯла (расми 8) дида мешавад, ки ҳангоми баландшавии таркиби лантанидҳо дар ИМ ҳарорати худохтани ҳӯлаҳо кам мешавад.



Расми – 8 Графикаи вобастагии тағйирёбии ҳарорати гудоизиши ($T_{пл}$) ПБ системаи Al-Ln бо лантаниди бой аз таркиби: 1-AlLn; 2-Al₂Ln₃; 3-AlLn₂; 4-AlLn₃

Вобастагии энталпияи гудохтани ИМ тақриби омӯхташудаи системаи Al-Ln аз табиати лантанидҳо тавсифи ҳаммонандӣ дорад, ки дар расми 9 оварда шудааст. Дар маҷмӯъ, ҳангоми афзоиши тартиби рақамии лантанидҳо, афзоиши ҳисавии бузургии энталпияи гудохтани ИМ мушоҳида мегардад.



Расми – 9 Графикаи тағйирёбии энталпияи гудохтани ПБ таркиби AlLn₃ аз табиати лантанидҳо: x – ҳисоб-1; ● – ҳисоб – 2

Моделсозии қонуниятҳои тағйирёбии тавсифи термикӣ эвтектикӣ ва ИМ системаи Al – Ln аз лантанидҳои бой дар вобастагӣ аз таркиб ва табиати лантанидҳо

Маълумоти пурраи ба дастовардашуда оид ба ҳарорат ва энталпияи гудохтани эвтектикҳо ва ИМ системаи Al – Ln имкон фароҳам оварданд, ки моделсозии қонуниятҳои тағйирёбии онҳо дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо гузаронида шавад. Муодилаи математикӣ тибқи барномаи стандартии MICROSOFT EXCEL ҳисоб карда шудааст. Вобаста аз тавсифҳои гуногуни қонуниятҳо дар тағйирёбии таркиб, коркарди маълумотҳо барои зергурӯҳҳои серий ва иттрийи лантанидҳо алоҳида оварда шудааст. Ҳангоми ҳисоб аҳамияти (қимати) тавсиф барои

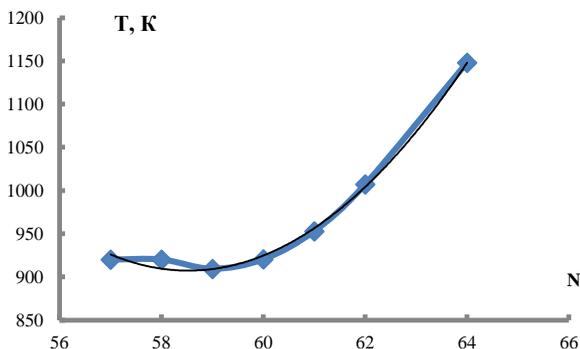
ИМ-и европия ва иттербия ба эътибор гирифта нашудааст, зеро онҳо аз қонуниятҳои умумӣ берун мебароянд. Фарқияти металҳои марбута бо хусусиятҳои тартиби электроники атомҳо ишора шудааст.

Тавассути моделсозии математикӣ, муодила ба даст омад (ҷадвали 12), ки бо эътимодияти баланд қонуниятҳои муқарраргардидаи зергурӯҳҳои лантанидҳоро ифода менамояд.

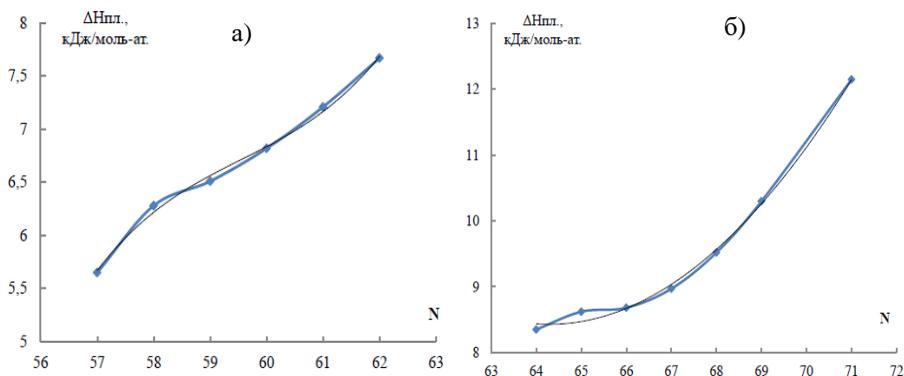
Барои мисол, дар расмҳои 10 ва 11 хати тамоюл, ки он тағйирёбии тавсифи дигаргуншавии ҳарорат ($T_{пл.}$, К) ва энталпияи ғудохтани ($\Delta H^0_{пл.}$, кҶ/мол-ат.) ИМ нишон медиҳад, дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо аз рӯи зергурӯҳҳо оварда шудааст. Аз расмҳо маълум мегардад, ки хати тамоюлооти тағйирёбии бо дақиқии баланд қонуниятҳои тағйирёбии тавсифи омӯхташудаи ИМ-ро дар доираи гурӯҳи лантанидҳо тасвир менамояд.

Ҷадвали 12 – Муодилаи вобастагии тағйироти тавсифи термикӣ лантанидҳо ва ИМ-и системаи Al-Ln аз табиати лантанидҳо

Модда	Функсия	Шакли муодила	ЛТ	R ^{2*}
Лантанидҳо	T _{пл.}	(а) $y = -7x^3 + 1262x^2 - 75750x + 2E+06$	П	0,897
		(б) $y = 49,078x - 1559,9$	Л	0,998
	$\Delta H^0_{пл.}$	(а) $y = -0,0551x^3 + 9,9096x^2 - 593,29x + 11830$	П	0,900
		(б) $y = 0,1571x^2 - 19,975x + 645,23$	П	0,997
Эвтектика	T _{пл.}	(а) $y = 8,0291x^2 - 939,84x + 28410$	П	0,996
		(б) $y = -2,4886x^2 + 367,21x - 12154$	П	0,995
	$\Delta H^0_{пл.}$	(а) $y = 0,0256x^3 - 4,5066x^2 + 263,95x - 5146,8$	П	0,986
		(б) $y = 0,1277e^{0,0658x}$	П	0,982
AlLn	T _{пл.}	(а) $y = 1,3289x^3 - 232,46x^2 + 13561x - 262657$	П	0,995
		(б) $y = 3,7313x^2 - 475,95x + 16531$	П	0,994
	$\Delta H^0_{п.}$	(а) $y = 0,0228x^3 - 4,0237x^2 + 237,03x - 4646,6$	П	0,992
		(б) $y = 0,0944x^2 - 12,126x + 401,42$	П	0,997
Al ₂ Ln ₃	T _{пл.}	(а) $y = 1,2436x^3 - 218,71x^2 + 12832x - 250063$	П	0,996
		(б) $y = 3,3586x^2 - 427,29x + 14848$	П	0,994
	$\Delta H^0_{п.}$	(а) $y = 0,0219x^3 - 3,8883x^2 + 229,79x - 4520,5$	П	0,992
		(б) $y = 0,0965x^2 - 12,394x + 408,47$	П	0,997
AlLn ₂	T _{пл.}	(а) $y = 1,4145x^3 - 249,5x^2 + 14686x - 287491$	П	0,997
		(б) $y = 1,4001x^2 - 162,85x + 5916,5$	П	0,993
	$\Delta H^0_{п.}$	(а) $y = 0,0244x^3 - 4,3198x^2 + 255,61x - 5037,3$	П	0,994
		(б) $y = 0,0839x^2 - 10,666x + 348,76$	П	0,996
AlLn ₃	T _{пл.}	(б) $y = -1,2014x^2 + 181,75x - 5614,8$	П	0,995
		(а) $y = 1,8171x^2 - 232,44x + 8535,8$	П	0,981
	$\Delta H^0_{п.}$	(а) $y = 0,0218x^3 - 3,8878x^2 + 231,81x - 4606$	П	0,996
		(б) $y = 0,0824x^2 - 10,601x + 349,16$	П	0,996



Расми 10 – Хати тамоюлоти (—) тағйирёбии ҳарорати гудохтани эвтектикӣ дар доираи Ln-и бой аз тартиби рақамии (N) Ln-и зергурӯҳи серий: ◆ – ҳисоб (2)



Расми 11 – Хати тамоюли (—) тағйирёбии энталпии гудозиши ИМ таркиби AlLn₃ дар доираи лантанидҳои бой аз тартиби рақамии (N) лантанидҳои зергурӯҳҳои серий (а) ва иттрий (б): ◆ – ҳисоб (2)

ХУЛОСА

1. Маълумоти адабиётӣ оид ба диаграммаҳои ҳолати баъзе системаи Al-Ln ва хусусияти термикии ИМ ва ҳулаҳои эвтектикӣ, бахусус дар доираи лантаниди бой, барои муайян намудани қонуниятҳои тағйирёбии онҳо вобаста аз табиати лантанидҳо ба таври номукамал омӯхта шудааст.

2. Бо усулҳои дақиқи таҷрибавӣ муайян карда шуд: таркиби химиявӣ, морфологияи сатҳ ва саҳтии ҳулаҳои системаи Al-Ln (дар қучо Ln – La, Ce ва Pr). Иловаҳои лантанидҳо ба сохтори ҳулаҳои алюминий таъсири тағйирдиҳандагӣ мерасонад. Дар қатори ҳулаҳои

La→Ce→Pr→Nd, сахтии хӯлаҳои алюминий дар ҳолати гузариш ба La→Ce→Pr меафзояд ва дар ҳолати Pr→Nd кам мешавад.

3.Тавассути усули хунуккунӣ, гармиғунҷош муайян карда шуда ва муодилаи вобастагии ҳарорати тавсифи термодинамикии хӯлаҳои системаи Al-Pr ба даст оварда шуд.

4.Муқаррар карда шуд, ки афзоиши таркиби лантанидҳо дар хӯлаҳои алюминий ба афзоиши суръати оксидшавӣ бурда расонида, энергияи намоёни фаъолшавии хӯлаҳо кам менамояд. Қимати нисбатан ками энергияи оксидшавиро хӯлаҳои системаи алюминий-лантан ва алюминий-серий доранд.

5.Бо усули калориметрии ҳалшавӣ, қимати энталпиявии ҳалшавӣ муайян карда шуда ва тибқи он бузургии энталпияи ташаккулёбии хӯлаҳои системаи Al-Ln (дар қучо Ln – Ce ва Pr) ҳисоб карда шудааст. Бо афзоиш ёфтани таркиби лантанид дар хӯлаҳо, қимати ташаккулёбии энталпияи онҳо ба таври мутаносиб зиёд мешавад.

6.Тавассути усулҳои нимэмпирикӣ ва ҳисобӣ, оид ба ҳарорат ва энталпияи гудохтани эвтективии хӯлаҳо ва ИМ системаи Al-Ln дар доираи лантаниди бой маълумотҳои нисбатан пурра ба даст оварда шудааст. Қонуниятҳои тағйирёбии дар тавсифҳои ИМ ва эвтектикҳои системаи Al-Ln дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо нишон дода шуда, бо пайдоиши «тетрад-эффekt», тақсимои дуруст ва тавсифи гуногуни тағйирёбии таркибӣ дар доираи ҳамаи қаторҳои лантанидҳо зухур меёбад.

7.Ҳангоми баландшавии тартиби рақамии лантанидҳо, афзоиши симбатии ҳарорати гудохтани ИМ мушоҳида мегардад. Дар доираи зергурӯҳи лантанидҳо камшавии нисбии ҳарорати гудохтани ИМ мушоҳида гардида, бо қуллаи мобайнии зергурӯҳ баландшавӣ дар назар аст. Ҳангоми баландшавии таркибии лантанидҳо бошад, ҳарорати гудохтани хӯлаҳо кам мешавад.

8.Муодилаи математикӣ бо саҳеҳии баланд, қонуниятҳои тағйирёбии муқаррар кардашудаи ҳарорат ва энталпияи гудохтани хӯлаҳои эвтектикӣ ва ИМ-и системаи Al-Ln, дар доираи лантанидҳои бой вобаста аз табиати лантанидҳои дар доираи зергурӯҳи онҳо буда нишон медиҳад.

Тавсияҳо оид ба истифодабарии амалии натиҷаҳо:

-хӯлаҳои дар асоси алюминий ба дастодадаи бо тавсифи истифодабарии бехтаргардонидашуда, метавонанд дар самтҳои гуногуни илмталби техникӣ ва материалшиносӣ истифода гардад;

-маълумотҳои ба даст оварда шуда оид ба тавсифоти теплофизикӣ ва термодинамикии хӯлаҳои алюминий бо иловашудаи лантанидҳо дар доираи лантаниди бой, ҳамчун маводи дастурамалӣ буда, инчунин бонки

таркибии термодинамикии хӯлаҳои металлуро бо маълумотҳои навин таъмин менамояд;

-конуниятҳои тағйирёбии муқаррар кардашудаи тавсифи термомофизикӣ ва термодинамикии хӯлаҳои алюминий дар вобастагӣ аз табиат ва таркиби лантанидҳо, имконияти ба даст овардани хӯлаҳои дорои қаблан тавсиф доштаро медиҳад.

МУНДАРИЧАИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ ДАР ИНТИШОРОТИ ЗЕРИН ТАҲИЯ КАРДА ШУДААСТ:

*Мақолаҳои дар рӯйхати маҷаллаҳои тақризшавандаи КОА назди
Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон*

[1-М]. Аҳмедов, Ш.А. Установление закономерности изменения термохимических характеристик интерметаллидов систем алюминий – лантаноиды составов $Al_{11}Ln_3$ и Al_3Ln / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Аҳмедов, 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]. Аҳмедов, Ш.А. Моделирование закономерности изменения температуры и энтальпии плавления интерметаллидов систем алюминий – лантаниды, богатых алюминием / М.Ч. Чаманова, Ш.А. Аҳмедов, Б.Б. Эшов, А.Б. Бадалов // Вестник Иркутского государственного технического университета, 2018. -Т. 22. №12(143). -С.221-230. DOI:10.21285/1814-3520-2018-12-221-230.

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

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

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

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

[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.

[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», ТАУ им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2020. – №3 (88), – С.129-133.

[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”, ТУТ, – Душанбе, 2020. – №2 (41) . – С.28-34.

[10-М]. 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», ТАУ им. Ш. Шотемур – Душанбе, 2021. – №3 (92), – С.11-15.

Интишорот дар маводҳои конференсияҳои илмӣ:

[11-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.

[12-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.

[13-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.

[14-М]. Ахмедов, Ш.А. Закономерность изменения энтальпии плавления эвтектики систем алюминий-лантаноиды, богатых лантаноидом / Тсюан Тингжи, Ш.А. Ахмедов, Ш.И. Мирзоев, М.Ч. Чаманова, А. Бадалов // Материалы международной научно-

практической конференции «Перспектива развития науки и образования», - Душанбе: ТТУ им. акад. М.С. Осими, 27-28.11.2019. – С.43-45.

[15-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.

[16-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.

[17-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.

[18-М]. Ахмедов, Ш.А. Получение и теплофизические свойства сплавов систем алюминий – лантаниды (лантаниды – Се, 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.

[19-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.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Ахмедов Шарафчон Абдухалилович дар мавзӯи: «Хусусияти теплофизикии интерметаллидҳо ва хӯлаҳои эвтектикии системаи алюминий-лантанидҳо (дар доираи лантанидҳои бой), моделсозии қонуниятҳои тағйирёбии онҳо»

Рисолаи диссертатсионӣ ба таҳияи усулҳои оптималии ба даст овардани хӯлаҳои системаи алюминий (Al) – лантанидҳо (Ln) бо Ln-и бой, аз муайянсозии таркиби онҳо, сохтор, сахтӣ ва таркиби физикӣ-химиявӣ – ҳарорати гудозиши интерметаллидҳо (ИМ) ва тақриби эвтектикӣ дар доираи Ln-и бойи онҳо бахшида шудааст. Инчунин барои муайянсозии энталпияи гудозиш ва ташаққулёбии хӯлаҳо, муқаррар намудани қонуниятҳои тағйирёбии онҳо дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо ва таркиби онҳо.

Хӯлаҳои Al-Ln, ки Ln - La, Ce ва Pr бо таркиби 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 масс. % Ln-и ба даст омадааст. Таркиби химивӣ ва микросохтори хӯлаҳо бо усули сканери микроскопи электронӣ муайян карда шудааст. Хӯлаҳо аз маҳлули саҳти α -Al+эвт. (α -Al+Al₁₁Ln₃) иборат мебошанд. Бо афзоиши консентратсияи иловакунӣ, ҳиссаи воридкунии эвтектикӣ дар маҳлули саҳт зиёд мегардад, ки таъсири дигаргунсозиро ба сохтор ва саҳтии хӯлаҳо нишон медиҳад.

Бо усули хункунӣ (сардкунӣ) суръати хункушавӣ, гармигунҷоиши нисбии хӯлаҳо муайян карда шуда, хусусияти термодинамикӣ ва муодилаи вобастагии онҳо ба ҳарорат ҳисоб карда шудааст.

Тавассути усули термогравиметрӣ раванди оксидшавии хӯлаҳо дар атмосфераи ҳаво дар ҳарорати 573, 673, ва 773 К. омӯхта шудааст. Параметрҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванд муайян карда шудааст.

Истифода аз усули калориметрӣ гармии ҳалшавии Al ва хӯлаҳои системаҳои Al-Ce ва Al-Pr дар 0.5M дар маҳлули HCl ва равандҳои баръакси барои муайянсозии энталпияи ташаққулёбии ИМ, аз рӯи сикли (давран) термохимиявӣ таъсисдодашуда муайян карда шудааст.

Тавассути усулҳои нимэмпирикӣ ва ҳисобӣ таҳлили системавии тақрибии теплофизикӣ – ҳарорат ва энталпияи эвтектикӣ ва ИМ-и лантанидҳои бой гузаронида шудааст. Қонуниятҳои тағйирёбии онҳо дар вобастагӣ аз табиати лантанидҳо аз рӯи зергурӯҳҳо ҷудо карда шудааст, ки аз зухуроти «тетрадь-эффект» бар меояд. Бо баландшавии таркиби лантанид дар ИМ ҳарорати гудохтани хӯлаҳо кам мешавад. Тавсифи қонуниятҳо, асосан дар зергурӯҳҳои лантанидҳои серий ва иттрий гуногун мебошанд. Тамоюли таркиби европия ва иттербия аз қонуниятҳо, аз соҳти электронии онҳо вобаста мебошад.

Моделҳои математикӣ қонуниятҳои тағйирёбии таркиби хӯлаҳо аз рӯи зергурӯҳҳои лантанидҳо таҳия карда шуда, имкон медиҳад, ки шароити гирифтани хӯлаҳои дорои таркиби муайянро интиҳоб намоем.

Калимаҳои калидӣ: алюминий, лантанидҳо, хӯлаҳо, хусусияти теплофизикӣ, оксидшавӣ, тавсифи термохимиявӣ, таҳлили системавӣ, қонуният, табиат ва таркиби интерметаллидҳо, моделҳои математикӣ.

АННОТАЦИЯ

на диссертацию Ахмедова Шарафджона Абдухалиловича «Теплофизические свойства интерметаллидов и эвтектических сплавов систем алюминий – лантаниды (в области богатых лантанидом), моделирование закономерности их изменения»

Диссертационная работа посвящена разработке оптимальных способов получения сплавов систем алюминий (Al) – лантаниды (Ln), богатых Ln, определению их состава, структуры, твёрдости и физико-химических свойств – температуры плавления интерметаллидов (ИМ) и эвтектических составов, в области богатой Ln. В том числе определению энтальпии плавления и образования сплавов, установлению закономерности их изменения, в зависимости от природы лантанидов и их состава.

Получены сплавы Al-Ln, где Ln - La, Ce и Pr с содержанием 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 масс. % Ln. Химический состав и микроструктура сплавов определены методом сканирующего электронного микроскопа. Сплавы состоят из твердого раствора α -Al+эвт.(α -Al+Al₁₁Ln₃). С ростом концентрации добавки увеличивается доля включения эвтектики в твердом растворе, что оказывает модифицирующее влияние на структуру и твёрдость сплавов.

Методом охлаждения определена скорость охлаждения, удельная теплоемкость сплавов, рассчитаны термодинамические свойства и уравнения их температурной зависимости.

Методом термогравиметрии изучен процесс окисления сплавов в атмосфере воздуха при температурах 573, 673 и 773К. Определены кинетические и энергетические параметры процесса.

Методом калориметрии определена теплота растворения Al и сплавов систем Al-Ce и Al-Pr в 0.5M в растворе HCl, и побочных процессов, необходимых для определения энтальпии образования ИМ, по составленному термохимическому циклу.

Полуэмпирическими и расчётными методами проведён системный анализ теплофизических свойств–температуры и энтальпии плавления эвтектики и ИМ, богатых лантанидом. Закономерности их изменения, в зависимости от природы лантанидов, разделяется по подгруппам и протекают с проявлением «тетрад-эффект»-а. С повышением содержания лантанида в ИМ, температура плавления сплавов уменьшается. Характер закономерностей, в основном, разный в цериевой и иттриевой подгруппах лантанидов. Отклонение свойств европия и иттербия от закономерностей обусловлено их электронным строением.

Составленные математические модели закономерностей изменения свойств сплавов по подгруппам лантанидов, позволяют подобрать условия получения сплавов определенного состава.

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

ANNOTATION

On the thesis of Akhmedov Sharafjon Abdukhalilovich “The 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”

The thesis is given the development of optimal methods for obtaining alloys of the aluminum (Al) – lanthanides (Ln), rich in Ln has determining their composition, structure, hardness and physic-chemical properties of the melting temperatures of intermetallic compounds (IM) and eutectic composition in the region which is rich by Ln. Also determination of the enthalpy of melting and alloy formation has been established the pattern of their varieties from the natural lanthanides and its composition.

The received alloys of Al-Ln which consist of Ln – La, Ce and Pr by consisting of 0,05; 0,1; 0,5; 1,0 mass of % Ln. Chemical composition and microstructure alloys determine the methods of the scanning electron microscope. The alloys consist of solid solution of α -Al+eut.(α -Al+Al₁₁Ln₃). By increasing the concentration of the additive, the fraction of inclusion the eutectics in the solid solution increases that has modifying effect of the structure and hardness of alloys.

The cooling method have been determine the rate of cooling, the specific heat of alloys, calculated thermodynamic properties and the equation of their temperature dependence.

The thermogravimetry methods – studying the process of oxidation process in the atmosphere air by the temperature of 573, 673 and 773 K. The definition of kinetic and energy process parameters.

The colorimetry methods is determine the heats of Al dissolution and alloys system of Al-Ce and Al-Pr in 0,5M in HCl solution and the side processes are necessary to determine the enthalpy IM formation, according to compiled thermo-chemical cycle.

Semi-empirical and computational methods is given the system analysis of thermophysical properties of temperature and enthalpy of electric melting and IM, rich in lanthanide. Legitimacy of their change is depending of natural lanthanide, divides into subgroup and proceed by development of “tetrad-effect (effect-notes)”. By increasing the contents of lanthanide and IM the temperature of floating of alloy are decreases. Drawn up the math model of legitimacy of changeable of composition properties by lanthanide’s subgroups will let select the conditions of obtaining alloys of certain compositions.

Key words: aluminum, lanthanides, alloys, thermophysical properties, oxidation, thermo-chemical character, system analysis, legitimacy, nature and intermetallic compounds, math models.