

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

*УДК: 669.017.11.544.57
ББК:34.20-24.33.2
Н-19*

На правах рукописи

НИМОНОВ РИВОЖ АМИРОВИЧ

***ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПТИМИЗАЦИИ
СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ СЕРЕБРА***

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности
05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

Душанбе – 2023

Работа выполнена на кафедре «Металлургия» Таджикского технического университета имени академика М.С.Осими.

Научный руководитель: **Джураев Тухтасун Джураевич,**
доктор химических наук, профессор,
профессор кафедры «Металлургия»
Таджикского технического университета
имени академика М.С.Осими

Официальные оппоненты: **Амонзода Илхом Темур,**
доктор технических наук, профессор, ректор
Технологического университета
Таджикистана

Рахимова Мубаширхон,
доктор химических наук, профессор,
профессор кафедры «Физическая и
коллоидная химия» Таджикского
национального университета

Ведущая организация: Государственное научное учреждение
«Центр по исследованию инновационных
технологий» Национальной академии наук
Таджикистана

Защита диссертации состоится «14» сентября 2023 года в 10⁰⁰ часов на заседании разового диссертационного совета **6D.КOA-028** по защите докторских и кандидатских диссертаций при Таджикском техническом университете имени акад. М.С. Осими по адресу: 734042, г.Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10. Зал заседаний диссертационных советов.

Отзывы направлять по адресу: 734042, г.Душанбе, ул. академиков Раджабовых, 10, ТТУ им.акад. М.С. Осими, диссертационный совет 6D.КOA-028, e-mail: adliya69@mail.ru

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

Автореферат разослан « » _____ 20__ года.

Учёный секретарь
диссертационного совета **6D.КOA-028,**
кандидат технических наук

Бабаева А.Х.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одна из наиболее распространенных областей использования серебра – это ювелирная промышленность, где применяют его в качестве покрытий от окисления (ввиду того, что оно имеет сравнительно высокую коррозионную стойкость до 150°C) и механического воздействия изделий, выполненных из неблагородных металлов. Ювелирные изделия из серебра относительно других дорогостоящих материалов (золота, платины и т.д.), наиболее доступны, хотя по своей оригинальности и изысканности не уступают вторым. Двухкилометровая тоненькая проволока, вытянутая из 1 грамма серебра, применяется как в ювелирном деле, так и в микроэлектронике. При легировании серебром белого золота повышаются механические показатели этого сплава. Для серебра основным легирующим компонентом является медь, повышающая его прочностные характеристики. Почти все сплавы серебра имеют одинаковую окраску, хотя отличаются друг от друга его содержанием. Чаще используют согласно ГОСТ 30649-99 четыре пробы серебра: 925-ая с содержанием 92.5% Ag. Этот сплав называют стандартным серебром, имеющим повышенную устойчивость к коррозии. Он широко применяется в ювелирной промышленности. 875-ая проба содержит 87.5% Ag, которое идет на изготовление ювелирных украшений, а также бытовых изделий. 830-ая проба имеет в своем составе около 83% Ag и пригодна для производства декоров; 800-ая проба состоит из 80 % Ag, т.е. количество меди в ней больше, чем в предыдущих пробах, поэтому её цвет немного желтоватый. Такое серебро быстро окисляется и применяется для изготовления столовых приборов.

При производстве ювелирных изделий приходится сталкиваться с повышенным «соперничеством» во время реализации товаров, что вынуждает производителя усовершенствовать внешний вид и технологию изготовления с целью снижения себестоимости производства, улучшения качества и конкурентоспособности новых видов изделий на собственном рынке сбыта. Это вынуждает менять старое оборудование и процессы обработки изделий на них на другие ранее не используемые. Главным же во всем остается вопрос по разработке новых или оптимизации действующих составов сплавов на основе различных компонентов.

Разработка новых составов сплавов с участием благородных металлов, в число которых входит и серебро, на основе экспериментов является очень длительным по времени и дорогим по материальным затратам процессом. Усложняется это обстоятельство тем, что существующие стандарты требуют от ювелирных изделий, предназначенных для обиходного использования в постоянном контакте с человеческой кожей, идеального химического состава, не содержащего более одного процента ядовитых Ni и Co, по принятой декларации являющихся аллергенными и канцерогенными элементами.

Из вышесказанного вытекает, что изыскание научно-подтвержденных технологических разработок, таких как создание новых сплавов с участием серебра или оптимизация уже существующих, отвечающих мировым

стандартам, для решения задач ювелирного производства является актуальной проблемой, отраженной в теме представленной диссертационной работы.

Своевременность выполненной научной работы обосновывается еще тем, что она посвящена систематизации видов взаимодействия серебра с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева (ПТ), результаты которой могут дать возможность раскрытию механизма ликвационного рафинирования стандартного серебра от различных примесей, тем самым повысить его коррозионную стойкость. Кроме того, использование на протяжении тысячелетий графитовых тиглей при плавке и заливке серебра и его сплавов до сих пор научно не обосновано. В работе на основании полученных результатов приводится такое обоснование. Теоретическим и практическим фундаментом этих исследований являются диаграммы состояния (ДС) двойных систем серебро-элементы ПТ.

Степень разработанности темы. В области разработки и оптимизации ювелирных сплавов с участием серебра имеются лишь единичные публикации, основными из которых являются труды ученого Белорусского национального технического университета Лугового В.П., а также специалистов Калининградского государственного технического университета Савченко А.Н. и Тилепалова В.Н. Поэтому задачи создания и оптимизации сплавов серебра с улучшенными технологическими свойствами для применения в ювелирной промышленности, электротехнике, приборостроении и художественном литье требуют проведения дополнительных исследований в данном направлении.

Бесспорно, что получение ювелирных изделий связано с технологиями литейного производства. Благодаря исследованиям таких ученых как: Н.С. Курнаков, Г.Ф. Баландин, А.А. Бочвар, А.Б. Гуляев, Б.Б. Гуляев, В.И. Никитин, Л.Ф. Мондольфо, А.В. Курдюмов, И.И. Новиков и др. разработаны научные основы плавки и литья, кристаллизации цветных металлов и сплавов, внесен существенный вклад в дальнейшее развитие теории и практики литейного производства, что явилось научной базой при проведении исследований, обосновании и дальнейшем совершенствовании литейных технологий в производстве ювелирных изделий из металлических сплавов с участием серебра.

Целью диссертационной работы явилась разработка комплекса научно-технологических решений, направленных на оптимизацию состава стандартного сплава марки СрМ925 и разработку состава припойного сплава, для применения в ювелирном деле.

Объектом исследования являются двойные и тройные диаграммы состояния систем серебро-элементы ПТ, новые составы литейных и припойных сплавов на основе серебра и технологии их получения.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– **систематизированы** виды взаимодействия серебра с элементами ПТ и выявлены общие закономерности в их фазовых равновесиях;

- **установлены** типы взаимодействия в ранее неизученных и малоизученных двойных системах серебра с применением различных методов прогноза, а также построены для некоторых из них ДС;
- **определены** термодинамические свойства сплавов некоторых двойных и тройных систем с участием серебра;
- экспериментально **изучено** взаимодействие компонентов сплавов систем Ag-Ge-Tl и Ag-Cu-Ni-Zn, а также исследованы их физико-механические и технологические свойства;
- **проведена** оптимизация сплавов системы Ag-Cu-Ni-Zn на основании анализа взаимодействия в двух- и трехкомпонентных системах, составляющих четырехкомпонентную;
- **разработаны** составы легкоплавких сплавов на основе системы Ag-Ge-Tl, предназначенные для пайки серебряносодержащих изделий.

Методы исследования, использованная аппаратура:

- методы компьютерного моделирования и цифровизации по прогнозу и расчету видов взаимодействия в двойных и тройных системах серебра с элементами ПТ;
- анализ химического состава полученных сплавов на рентгеновском флуоресцентном микроспектрометре «Спектромидекс»;
- микроскопический анализ для исследования микроструктуры сплавов на микроскопе Биомед «ММР-2» при 100-200 кратком увеличении;
- дифференциально-термический анализ для определения температур плавления сплавов и фазовых превращений на разработанной комплексной установке;
- измерение удельного электросопротивления на приборе С.А 6470N;
- измерение прочности на растяжение на разрывной машине Р-50;
- измерение жидкотекучести по спиральной пробе Самарина-Нехензди;
- измерение твердости на установке «Motor-driven Rokwell-Brinell-Vickers Hardness Tester Manual»;
- метод оптимальной разработки составов сплавов путем симплексного планирования экспериментов, построения поверхности ликвидуса и пространственной трехмерной модели Т-х-у диаграммы тройной системы Ag-Ge-Tl, представленной в 3D модели реальной системы;
- обработка экспериментальных и расчетных данных проведена с использованием стандартных программ Sigma Plot, Microsoft Excel и индивидуально разработанной программы «Конструктор фазовых диаграмм».

Область исследования: металлургия, металловедение и физическая химия.

Этапы исследования: **Первый этап** (2016-2017 гг.) – анализ литературы по теме работы, определение её актуальности и цели исследования. **Второй этап** (2017-2020 гг.) – систематизация видов взаимодействия серебра с элементами ПТ и выявление общих закономерностей в их фазовых равновесиях. Установление типов взаимодействия в ранее неизученных и малоизученных двойных системах серебра с применением различных методов

прогноза, построение их ДС. Определение термодинамических свойств сплавов некоторых двойных и тройных систем с участием серебра. **Третий этап** (2020-2022 гг.) – экспериментальное изучение взаимодействия компонентов, технологических и физико-механических свойств сплавов систем серебро-медь-никель-цинк и серебро-германий-таллий. Анализ и обобщение полученных результатов, подведение итогов, оформление общих выводов и диссертации.

Основная информационно-экспериментальная база. Информационной базой настоящей диссертационной работы являются научные труды: монографии, диссертации, учебники, периодические научные журналы, материалы научных симпозиумов, конференций и интернет портал, посвященных металлическим сплавам с участием серебра.

При выполнении диссертационной работы были использованы **экспериментальные базы** Испытательной лаборатории ООО «ТалКо Кабель»; лаборатории «Металлургия и технология» Научно-исследовательского института «Политехник» при ТТУ имени акад. М.С.Осими; Отдел испытаний и химической экспертизы Государственного пробирного надзора при Министерстве финансов РТ и лаборатории «Технология производства ювелирных изделий» кафедры «Металлургия» Таджикского технического университета им. акад. М.С. Осими.

Достоверность диссертационных результатов подтверждается применением более чистых исходных металлов и сплавов, современностью оборудования для проведения экспериментов с уточненными калибровками и удовлетворительным получением результатов, их достаточным объемом и хорошей согласованностью с данными других работ, а также их практической реализацией в условиях филиала ООО Равшан «Зари тольик» (г. Душанбе, РТ).

Научная новизна работы:

- впервые рассчитаны параметры взаимодействия (энергия взаимообмена, энергия связи одноимённых, разноимённых частиц и степень ближнего порядка) серебра с элементами ПТ Д.И. Менделеева;
- впервые рассчитаны и построены полные ДС для 11 двойных систем Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re;
- впервые определены термодинамические свойства (константы межчастичного взаимодействия, активность и энергия Гиббса) сплавов систем Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te из их построенных двойных ДС, и установлены в них координаты критического распада гомогенного раствора на две гетерогенные фазы;
- впервые определена максимальная растворимость элементов (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra) в серебре при кристаллизации;
- впервые получены результаты экспериментального исследования взаимодействия компонентов в тройной Ag-Ge-Tl и многокомпонентной Ag-Cu-Ni-Zn системах с применением современных методов физико-химического анализа;
- произведена оптимизация стандартного сплава марки CrM925 и впервые установлено совместное влияние никеля, цинка, кадмия, титана и бора

на физико-механические и технологические свойства стандартного серебра в сплавах с содержанием до 5.3% меди, 1.7% цинка, 0.4% никеля, 0.02% титана, 0.015% кадмия, 0.015% бора и остальное серебро;

– разработаны составы легкоплавких сплавов на основе системы Ag-Ge-Tl, предназначенные для пайки серебросодержащих изделий.

Научная и практическая значимость работы. Построенные диаграммы фазового равновесия и полученные расчётом значения термодинамических характеристик сплавов серебра способствуют снижению материальных затрат на эксперименты и повышают экономическую эффективность процессов при разработке технологии ликвационного рафинирования и синтеза сплавов, а также дополняют банк справочной литературы новыми данными. Разработанные оптимальные составы сплавов с участием серебра могут быть рекомендованы для ювелирной промышленности. На основании проведенных опытно-промышленных испытаний в филиале ООО Равшан «Зари тольик» (г. Душанбе, РТ) принят к внедрению новый серебряный сплав, защищенный малым патентом РТ № ТЖ 1265, содержащий медь, никель, цинк и кадмий, который имеет ряд преимуществ (например, высокие показатели твёрдости, прочности, жидкотекучести, формозаполняемости и устойчивость в цвете) по сравнению с известным сплавом марки СpМ925. Полученный экономический эффект свидетельствует о возможности внедрения данного оптимизированного состава серебряного сплава в другие отрасли промышленности (художественное литье, электротехнику, приборостроение и т.д.). Общие результаты работы применяются и могут быть использованы в научных исследованиях и в учебном процессе в Таджикском техническом университете им. акад. М. Осими, Таджикском национальном университете и других вузах РТ.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

– результаты статистического и термодинамического прогнозов по определению видов взаимодействия серебра с элементами ПТ в жидком и твёрдом состояниях;

– результаты по расчёту и построению полных ДС для 11 двойных систем Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re;

– результаты по определению термодинамических свойств (констант межчастичного взаимодействия, активности и энергии Гиббса) сплавов систем Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te;

– результаты по определению максимальной растворимости элементов (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra) в серебре при кристаллизации;

– результаты экспериментального исследования взаимодействия компонентов в тройной Ag-Ge-Tl и многокомпонентной Ag-Cu-Ni-Zn системах;

– результаты оптимизации стандартного сплава марки СpМ925 и совместного влияния никеля, цинка, кадмия, титана и бора на физико-механические и технологические свойства стандартного серебра в сплавах с содержанием до 5.3% меди, 1.7% цинка, 0.4% никеля, 0.02% титана, 0.015%

кадмия, 0.015% бора и остальное серебро, а также разработанные составы легкоплавких сплавов на основе системы Ag-Ge-Tl, предназначенных для пайки серебродержащих изделий.

Личный вклад автора в работу состоит в его прямом участии на всех этапах исследования, подготовке образцов и проведении экспериментов, активном участии в обсуждении и интерпретации полученных результатов, выработке ключевых выводов и положений, подготовке научных статей и докладов к публикации.

Апробация результатов. Основные результаты диссертационной работы доложены и обсуждены на: III и IV республиканских научно-практических конференциях ТГУ им. акад. М.С. Осими «Наука – основа инновационного развития» (Душанбе, 2018, 2019); Республиканской научно-практической конференции МИСиС «Проблемы горно-металлургической промышленности» (Душанбе, 2018); Республиканской научно-практической конференции ТГУ им. акад. М.С. Осими «Основные проблемы полной переработки хлопка в Республике Таджикистан» (Душанбе, 2021); Республиканской научно-практической конференции ТГУ им. акад. М.С. Осими «Повышение культуры использования водных ресурсов – важная проблема в современном мире» (Душанбе, 2021); Международной научно-практической конференции ТГУ им. акад. М.С. Осими «Современные проблемы металлургической промышленности» (Душанбе, 2021).

Публикации. По результатам работы опубликовано 15 работ, в том числе 4 научных статей в ведущих рецензируемых изданиях, определённых Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан, тезисы 10 докладов на республиканских и международных конференциях и получен 1 малый патент РТ на изобретение.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы из 115 наименований библиографических ссылок и приложений. Работа изложена на 118 страницах машинописного текста, включая 21 таблицу и 21 рисунок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, отражены научная и практическая значимости работы, изложены положения, выносимые на защиту, и места апробации основных результатов.

В первой главе работы рассмотрены основные физико-химические свойства, применение и получение серебра, а также проведен анализ литературы по его двойным диаграммам состояния с элементами ПТ, на основании чего установлено, что из 90 двойных систем серебра с элементами ПТ 56 систем в определенной степени изучено, их диаграммы состояния полностью построены. 34 двойные системы серебра еще предстоит изучить и построить их фазовые диаграммы состояния. Например, системы серебра с 19 элементами (K, Rb, Cs, Tm, Lu, Ac, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Re, Ru, C, P, O, B, N) ПТ являются

малоизученными, а неизученными являются системы серебра с 15-ю другими элементами (Fr, Ra, Pa, Np, Am, Cm, Br, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr, Tc, Po) ПТ.

Во второй главе диссертационной работы проведен анализ результатов статистической оценки типов взаимодействия серебра с 80-ю элементами ПТ при использовании металлохимических факторов, который позволил уточнить для изученных систем, а для неизученных систем спрогнозировать растворимость в жидком и твердом состояниях, виды нонвариантных превращений и образование конгруэнтных (инконгруэнтных) соединений, различных металлических фаз и фаз Лавеса. К примеру, в системах Ag-Cu, Ag-Ni, Ag-Zn, Ag-In, Ag-Tl, Ag-Ge, компоненты которых образуют сплавы с уникальными свойствами, экспериментально установлено образование ограниченных твердых растворов, перитектических или эвтектических точек, что с большей вероятностью подтверждается осуществленными в работе прогнозами. Элементы из группы редкоземельных металлов, по полученным статистическим прогнозам, склонны с серебром образовывать промежуточные фазы типа Лавеса. Это подтверждается опытными данными более ранних работ. Для малоизученных или неизученных систем, к которым, например, относятся системы серебра с щелочными металлами Ag-K, Ag-Rb, Ag-Cs и Ag-Fr, соответственно, прогнозами установлена частичная смешиваемость компонентов в жидком и твердом состояниях с наличием эвтектического типа нонвариантного превращения, как и в ранее экспериментально исследованной системе серебра с их аналогом натрием, где также рентгеновские исследования позволили установить наличие фаз Лавеса, как и в системе серебра с калием.

Третья глава работы имеет продолжение по получению расчетных данных в двойных системах с участием серебра, где установлен тип взаимодействия (гл. 2). Отличие заключается в методике применения уже не статистического, а термодинамического анализа на основании теорий идеальных, регулярных растворов и двухзонной модели растворимости. С помощью такого подхода рассчитываются термодинамические константы межчастичного взаимодействия, активности, энергия смешения, свободная энергия Гиббса и границы растворимости различных компонентов с серебром.

На рисунке 1 приведены результаты расчета значений энергии смешения (Q_{12}) для двойных систем серебра с более 80-ю элементами ПТ, которые позволили уточнить вид диаграмм состояния этих систем. Например, для положительных значений энергии смешения характерно отсутствие тесного взаимодействия между компонентами изучаемых систем. При определении степени взаимодействия в них применили критерий Джураева – степень ближнего порядка, который разграничил системы серебра с монотектическим типом взаимодействия и с полным его отсутствием в жидком и твердом состояниях. В результате были впервые построены полные диаграммы состояния малоизученных двойных систем Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re и Ag-Os. ДС системы серебра с углеродом характеризуется отсутствием взаимодействия между компонентами

как в жидком, так и в твердом состояниях (рис. 2, 3-г), а на ДС других систем можно наблюдать промежуточный вид расслоения (рис. 3-б, в и 4-5).

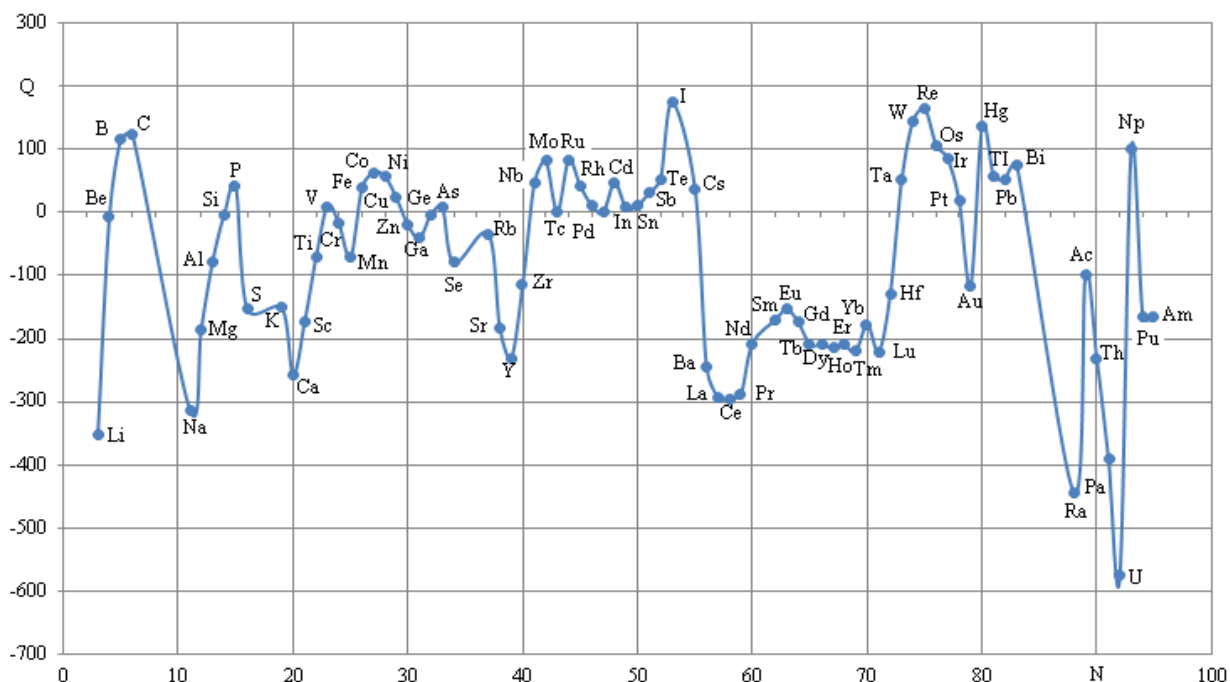


Рисунок 1 – Зависимость значений энергии смешения (Q , кДж/г-ат.) серебра с элементами ПТ от их порядкового номера (N)

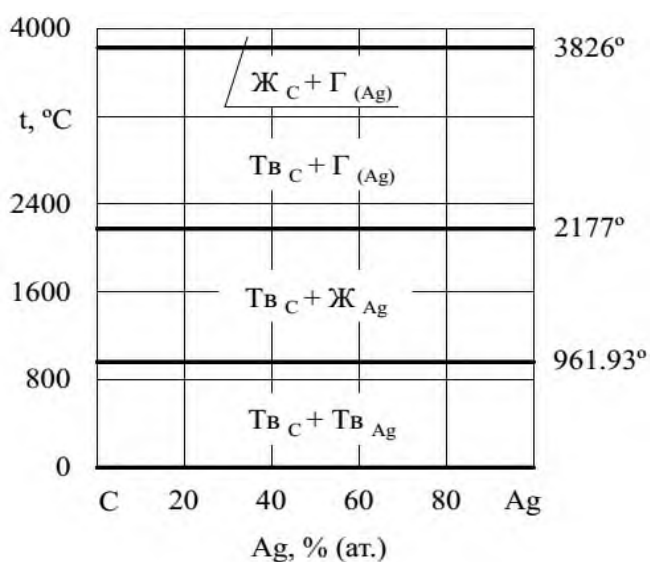


Рисунок 2 – Диаграмма состояния двухкомпонентной системы Ag-C

Изображенные на рисунках 4-5 диаграммы состояния систем Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W и Ag-Re свидетельствуют об отсутствии смешиваемости между компонентами как в жидком, так и в твердом состояниях, но при кристаллизации в них могут быть обнаружены весьма ограниченные твердые растворы. Нонвариантные превращения в них

скорее будут вырожденными, а образование интерметаллидов или промежуточных фаз маловероятно.

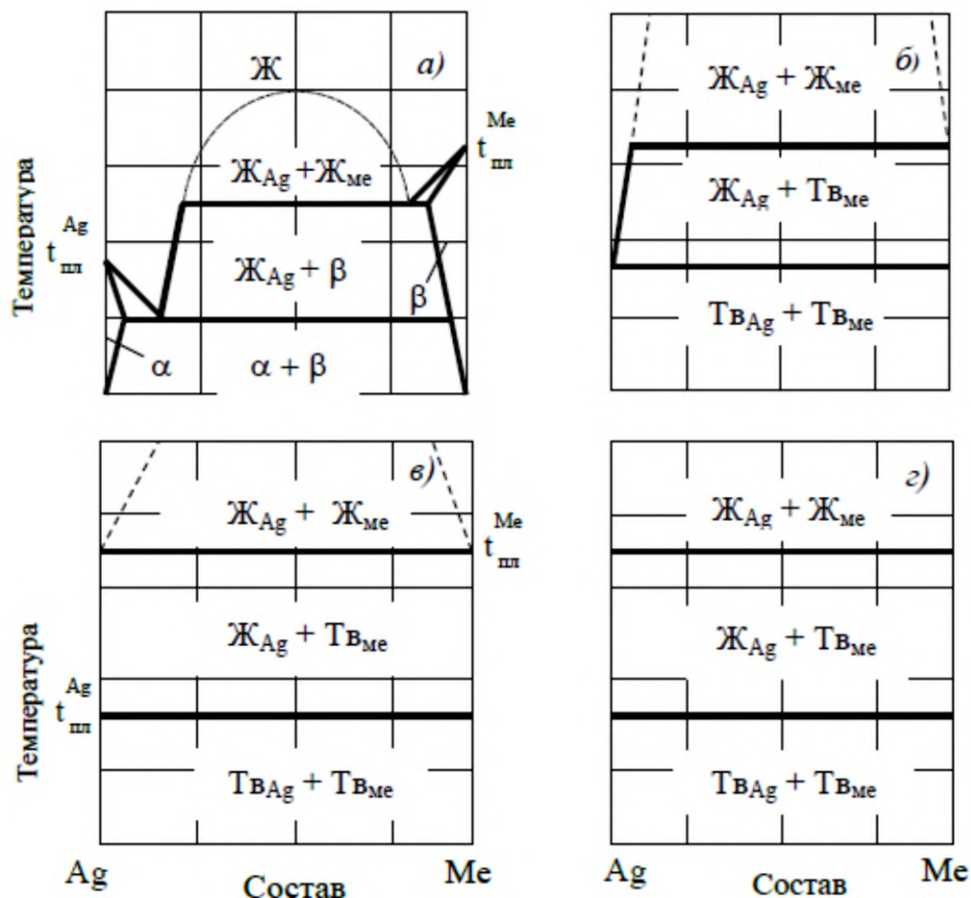


Рисунок 3 – Типовые диаграммы фазовых равновесий с расслаиванием с участием серебра: а,г – предельные и б,в - промежуточные виды расслаивания

В таблице 1 приведены значения первой (a_1) и второй (a_2) концентрационных границ в двухкомпонентных системах Ag-Sn (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra), позволившие для большинства из указанных систем впервые определить максимальную растворимость элементов в серебре при кристаллизации, необходимую для практической оптимизации составов сплавов.

В таблицах 2 и 3 представлены значения констант межчастичного взаимодействия (Q_1 и Q_2), которые позволили получить уравнения для расчета коэффициентов активности (f_i) и термодинамической активности компонентов (a_i), а также свободной энергии Гиббса (ΔG) сплавов систем серебро-халькогены, результаты которых подтвердили существование области монотектического типа (рис. 3-а) взаимодействия на ряду с образованием химических соединений и механических смесей в ранее изученных системах Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se и Ag-Te и позволили впервые установить в них координаты критического распада гомогенного раствора на две гетерогенные фазы (табл. 2 и рис.6).

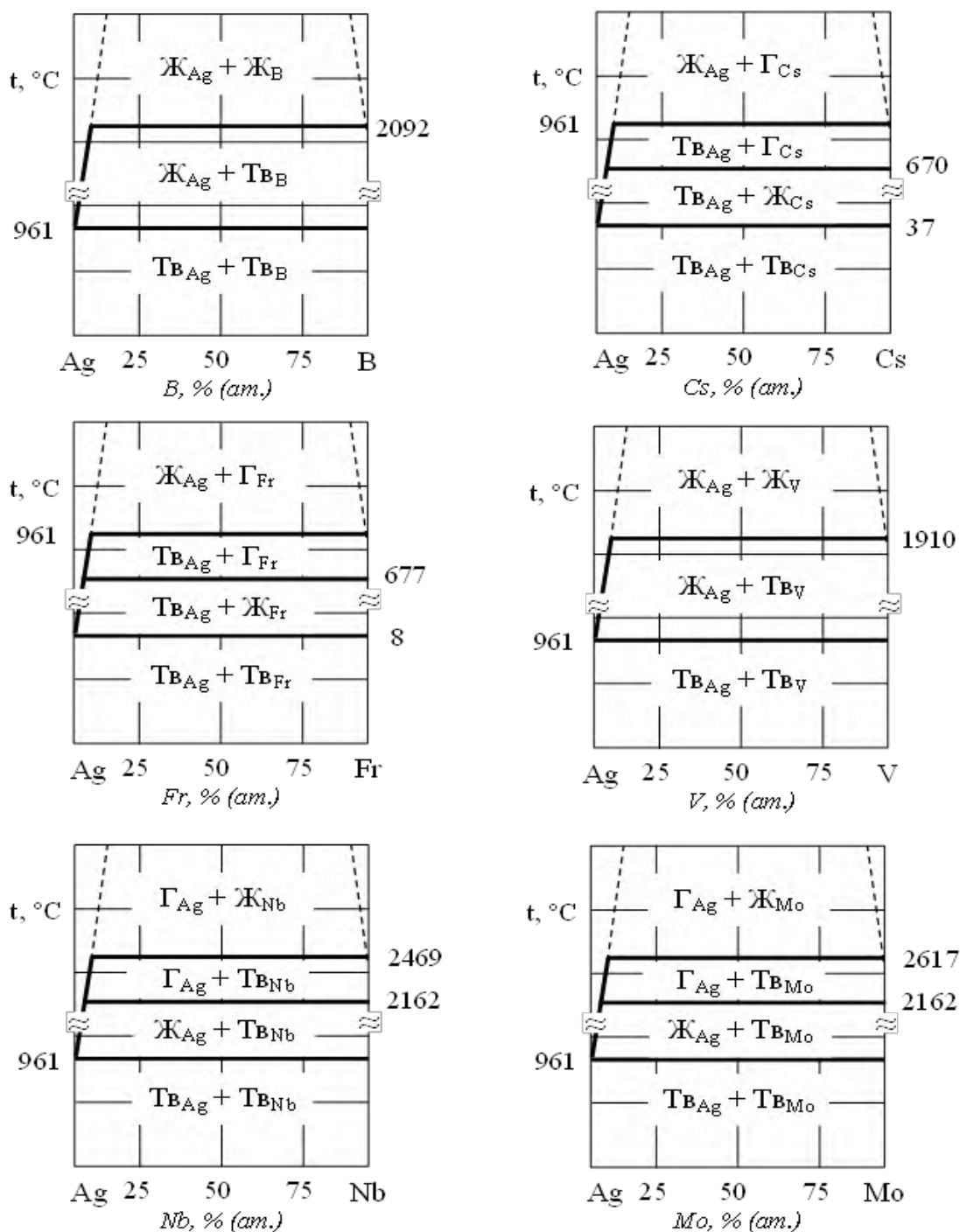


Рисунок 4 – Диаграммы состояния двухкомпонентных систем Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb и Ag-Mo

Из рисунка 6 можно видеть, что в системах наблюдаются ассиметричные знакопеременные отклонения. Большие положительные отклонения от закона Рауля характерны для областей с низкой концентрацией обоих компонентов. Участки концентрационной зависимости активностей компонентов, где $a_i > 1$, указывают на появление ограниченной растворимости в жидком состоянии и возможности расслоения раствора на две фазы. Точка пересечения кривых активностей определяет концентрацию раствора, соответствующую критическому распаду гомогенного раствора.

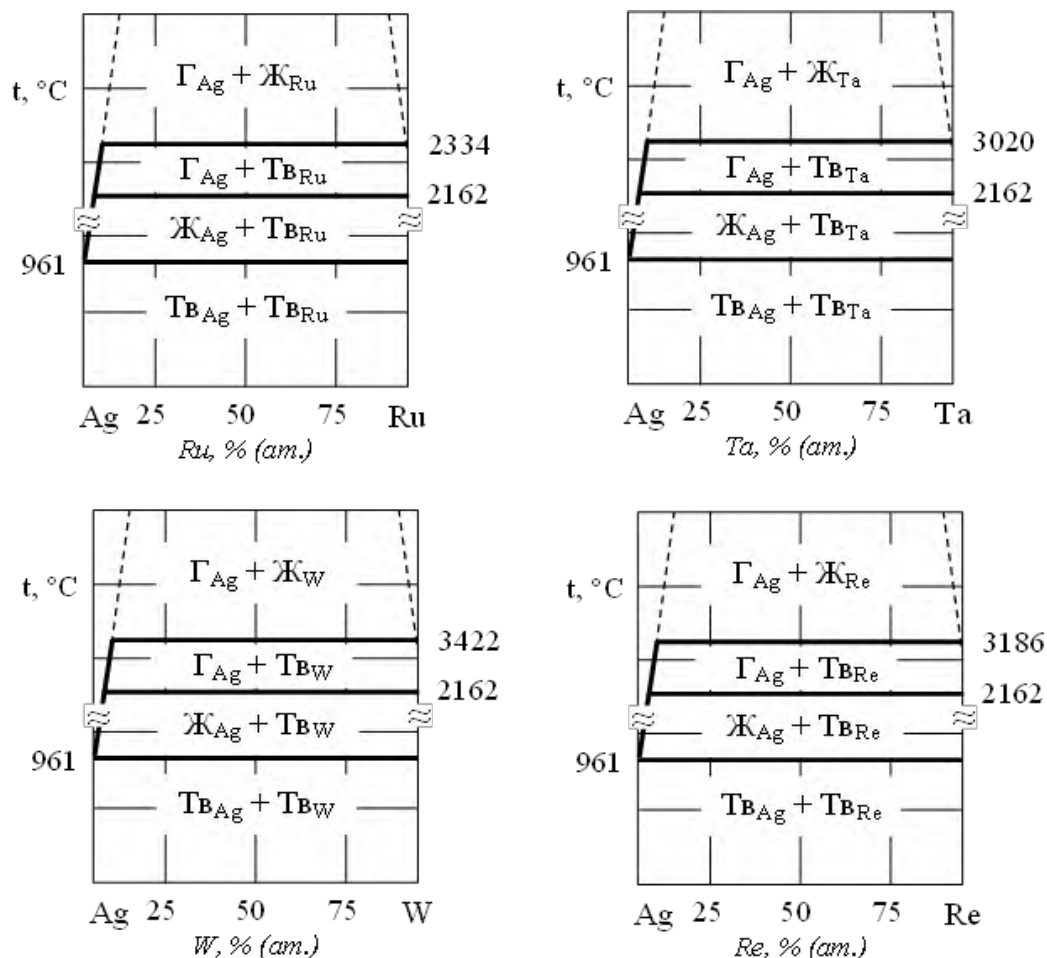


Рисунок 5 – Диаграммы состояния двухкомпонентных систем Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W и Ag-Re

Таблица 1 – Результаты расчета максимальной растворимости Ca, Sr, Ba, Ra, Eu, Yb, Si, Ge, Sn, Pb, Ge, Sn, Pb в серебре в твёрдом (x_1) и жидком (x_2) состояниях при температуре эвтектики ($t_{эв}$, °C)

Система	n_r , %	x_1 , ат.%		x_2 , ат.%		$t_{эв}$, °C	
		Экспер.	Расчет	Экспер.	Расчет	Экспер.	Расчет
Ag-Sn	4.3	-	8.400	3.80	2.60	221	219
Ag-Ge	15.2	-	0.020	24.5	18.60	651	642
Ag-Pb	17.4	0.8	0.750	4.50	4.50	304	302
Ag-Si	18.7	-	0.015	10.0	2.40	848	837
Ag-Yb	25.5	2.00	3.95	13.0	19.8	685	678
Ag-Ca	27.4	-	3.56	14.0	19.5	655	681
Ag-Eu	27.8	0.02	2.73	12.5	12.5	712	670
Ag-Sr	32.8	-	1.94	10.8	18.0	747	675
Ag-Ba	33.4	-	1.49	16.5	17.7	726	678
Ag-Ra	38.5	-	1.46	-	17.8	-	678

Таблица 2 – К расчёту констант межчастичного взаимодействия и координат критического распада в системах Ag-S, Ag-Se и Ag-Te

Система	T _м , К	Состав фаз, ат. доли		Q ₁	Q ₂	X _{кр.} , ат.доли	T _{кр.} , К
		x ₂ '	x ₂ ''				
Ag-S	1179	0.070	0.320	12852	-55616	0.1799	1365
Ag-Se	1163	0.120	0.300	16481	-38585	0.2031	1229
Ag ₂ Se-Se	889	0.170	0.930	16389	5999	0.6016	1223
Ag-Te	1166	0.090	0.310	14446	-47251	0.1889	1287

Таблица 3 – К расчету коэффициентов термодинамической активности компонентов в системах Ag-S, Ag-Se и Ag-Te

Система	T _м , К	Q ₁	Q ₂	Уравнения
		Дж/Г-ат.		
Ag-S	1179	12852	-55616	$\ln f_{Ag} = 6.98 (1 - x_{Ag})^2 - 11.35 (1 - x_{Ag})^2$ $\ln f_S = -10.04 (1 - x_S)^2 + 11.35 (1 - x_S)^2$
Ag-Se	1163	16481	-38585	$\ln f_{Ag} = 5.69 (1 - x_{Ag})^2 - 7.98 (1 - x_{Ag})^2$ $\ln f_{Se} = -6.28 (1 - x_{Se})^2 + 7.98 (1 - x_{Se})^2$
Ag ₂ Se-Se	889	16389	5999	$\ln f_{Ag} = -3.34 (1 - x_{Ag})^2 + 6.18 (1 - x_{Ag})^2$ $\ln f_{Se} = 5.94 (1 - x_{Se})^2 - 6.18 (1 - x_{Se})^2$
Ag-Te	1166	14446	-47251	$\ln f_{Ag} = 6.36 (1 - x_{Ag})^2 - 9.75 (1 - x_{Ag})^2$ $\ln f_{Te} = -8.26 (1 - x_{Te})^2 + 9.75 (1 - x_{Te})^2$

Следует отметить, что результаты, приведённые в третьей главе диссертации, могут быть рекомендованы для научной разработки технологий легирования, рафинирования, модифицирования и получения серебра и сплавов на его основе с востребованными показателями физических, механических, химических и технологических свойств. Например, в современной промышленности известен сплав серебра с медью и никелем различного состава, который широко применяют для изготовления медицинских инструментов, столовых приборов и приборов точной механики. Однако, применение этого сплава с известными составами в ювелирном деле, которое к настоящему времени в нашей республике еще более развилось по причинам востребованности изделий народного промысла, затрудняется из-за невысоких механических и литейных характеристик, что усложняет технологию получения готовых изделий в этой области.

В связи с этим, **четвертая глава** работы посвящена изучению влияния цинка на серебро и сплав системы Ag-Cu-Ni с целью разработки оптимального состава ювелирного сплава, имеющего улучшенные характеристики физико-механических и технологических свойств.

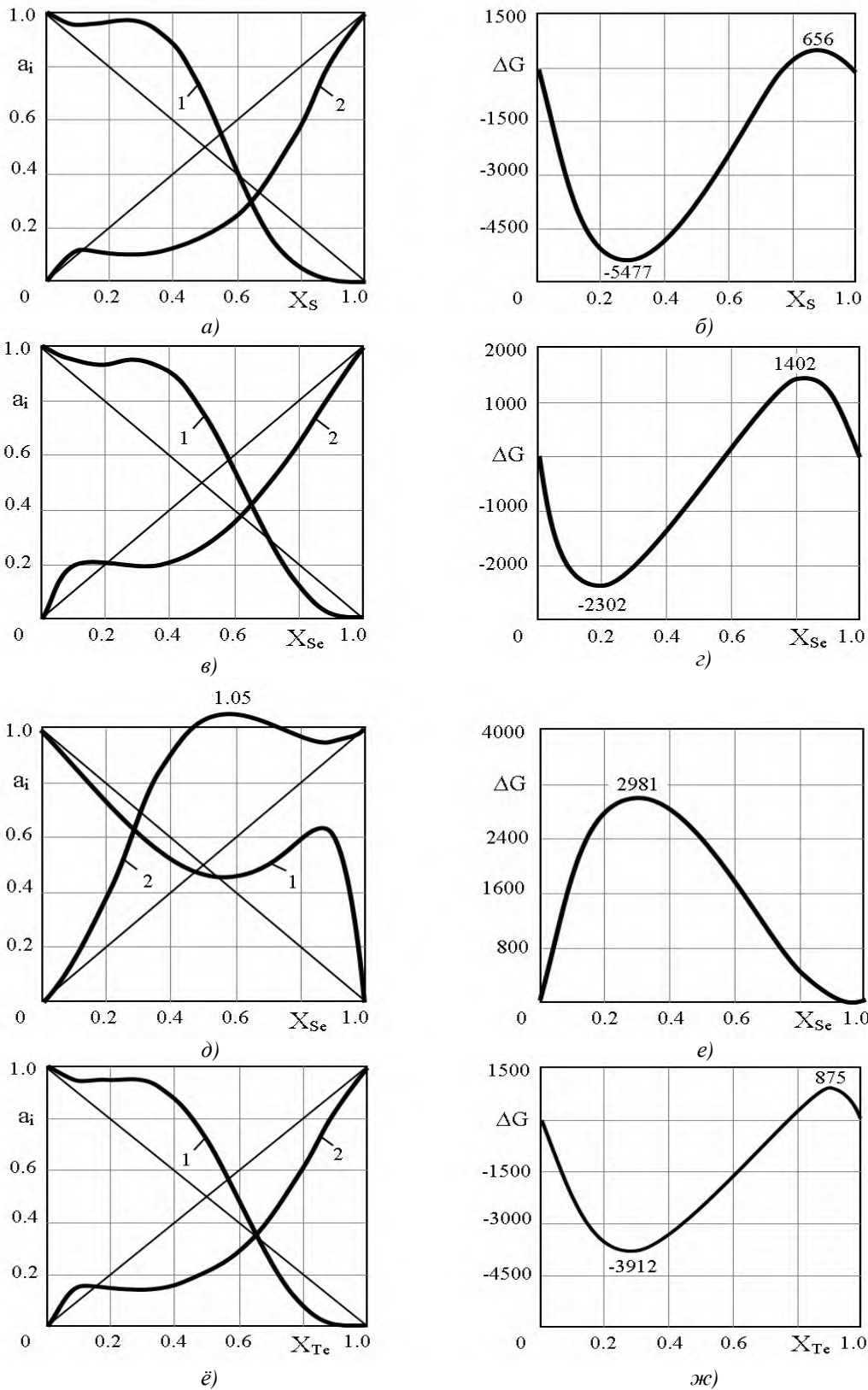


Рисунок 6 – Зависимость термодинамической активности (a_i) и свободной энергии Гиббса (ΔG , Дж/г-ат.) в системах Ag(1)-халькогены(2) от концентрации (X) 2-го компонента: Ag-S (а, б), Ag-Se (в, г), Ag₂Se-Se (д, е) и Ag-Te (ё, ж)

При разработке составов промежуточных сплавов систем Ag-Ge-Tl, Cu-Ni-Zn и оптимизации составов сплавов системы Ag-Cu-Ni-Zn в области богатой серебром исследование взаимодействия компонентов сплавов указанных систем проводилось с применением микроструктурного и дифференциально-термического (ДТА) методов анализа с измерением жидкотекучести, твердости, прочности и удельного электросопротивления.

Для приготовления сплавов использовали серебро чистотой 99.99%, медь - М199.99%, никель - Н1 99.99%, цинк - Ц1 99.99%, кадмий - Кд0 99.99%, титан - ВТ1-0- 99.9%, бор - Б1-0- 99.9%, германий - Г1- 99.99%, фосфор - Р1- 0- 99.9% и таллий-Тл1-99.99% (помассе), а также лигатуры собственного производства Cu-30%Zn, Cu-10%Cd, Cu-10%Ni, Cu-10%Ti, Cu-10% В и Cu-10% Р с температурами плавления 900,900,1150,1000,1020 и 850°C, соответственно. Шихтовка сплавов была произведена с учетом угара металлов.

Использование лигатуры "Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B" собственного производства для приготовления исследуемого сплава позволило снизить температуру заливки литейных форм с 1030 до 950-975°C, что значительно уменьшило объемную усадку сплава, сократило время заливки форм металлом и создало условия для его направленной кристаллизации.

Характерные микроструктуры сплава системы Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B, полученные в результате анализа (рис. 7), показали их мелкокристалличность после добавок титана и бора, что привело к повышению его физико-механических (табл. 4) и технологических (табл. 5) свойств.

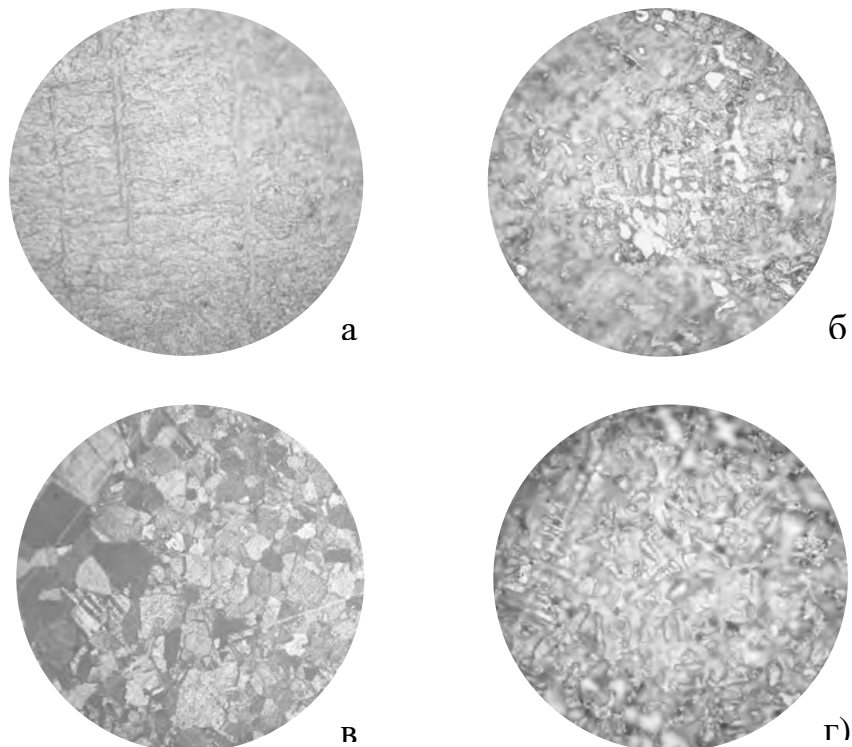


Рисунок 7 – Микроструктуры серебра и сплавов в литом состоянии, $\times 200$:

- а) серебро (99.99% Ag) [лит.]; б) сплав марки CpM925 (92.5% Ag, 7.5% Cu);
в) лигатура на основе меди (Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B); г) сплав на основе серебра (Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B)

Таблица 4 – Влияние цинка на механические свойства сплава марки СpМН (92.5 % Ag + 7.0% Cu + 0.5% Ni)

№ п/п	Содержание Zn в % (по массе)	Твердость НВ, МПа	Прочность на растяжение σ_B , МПа	Относительное удлинение δ , %
1.	-	72.5	652	25.0
2.	0.50	74.2	705.6	30.0
3.	1.00	78.4	706.5	35.0
4.	1.50	78.5	706.8	38.0
5.	2.00	78.5	706.5	37.0

Таблица 5 – Результаты определения жидкотекучести по спиральной пробе

Параметр	Длина спиральной пробы, мм			
	проба 1	проба 2	проба 3	среднее значение
Жидкотекучесть	508	513	515	512

В представленной работе жидкотекучесть определяли по результатам заливок трех проб при температуре 790°C и перегреве расплава на 25°C над ликвидусом. Полученное значение (табл. 5) длины спиральной пробы означает, что сплав системы Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-V обладает высокой жидкотекучестью.

Установлено, что основной структурообразующей фазой в многокомпонентном сплаве системы Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-V является твердый раствор легирующих её компонентов. Этим объясняется влияние меди, цинка, никеля и кадмия на повышение механических и технологических свойств серебра согласно закону Н.С.Курнакова.

Применением математических методов планирования экспериментов была выбрана модель четвертой степени для изучения тройной системы Ag-Ge-Tl с целью разработки легкоплавких составов сплавов, предназначенных для пайки серебряносодержащих изделий. По результатам определения температур плавления сплавов рассчитаны коэффициенты уравнения регрессии, которое позволило не только предсказывать температуру начала кристаллизации сплавов данной системы без дополнительных экспериментов, но и определить области, линии и точки фазовых равновесий. Это дало возможность построить проекцию поверхности ликвидуса тройной системы Ag-Ge-Tl (рис. 8), которая хорошо передаёт геометрический образ поверхности ликвидуса. На ней изображены температуры плавления всех тройных сплавов. Температуры плавления сплавов, лежащих в центре концентрационного треугольника, определены по данным термического анализа.

Для определения координат тройных эвтектик был применен метод компьютерного моделирования построением пространственной трехмерной модели T-x-y диаграммы тройной системы Ge-Ag-Tl (рис. 9), представленной в 3D модели реальной системы в соответствии с основными принципами

геометрической термодинамики (правилами фаз и соприкасающихся пространств состояний).

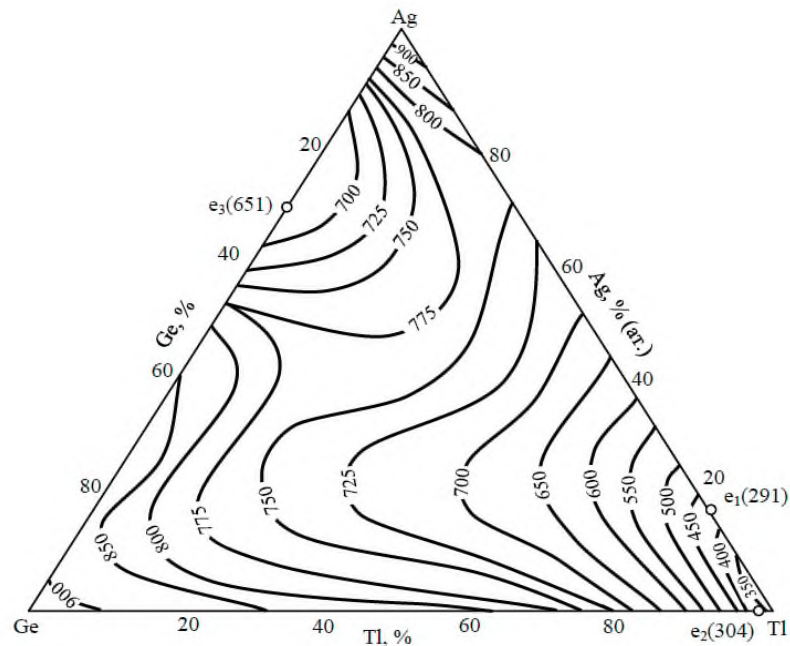


Рисунок 8 – Проекция поверхности ликвидуса тройной системы Ag-Ge-Tl

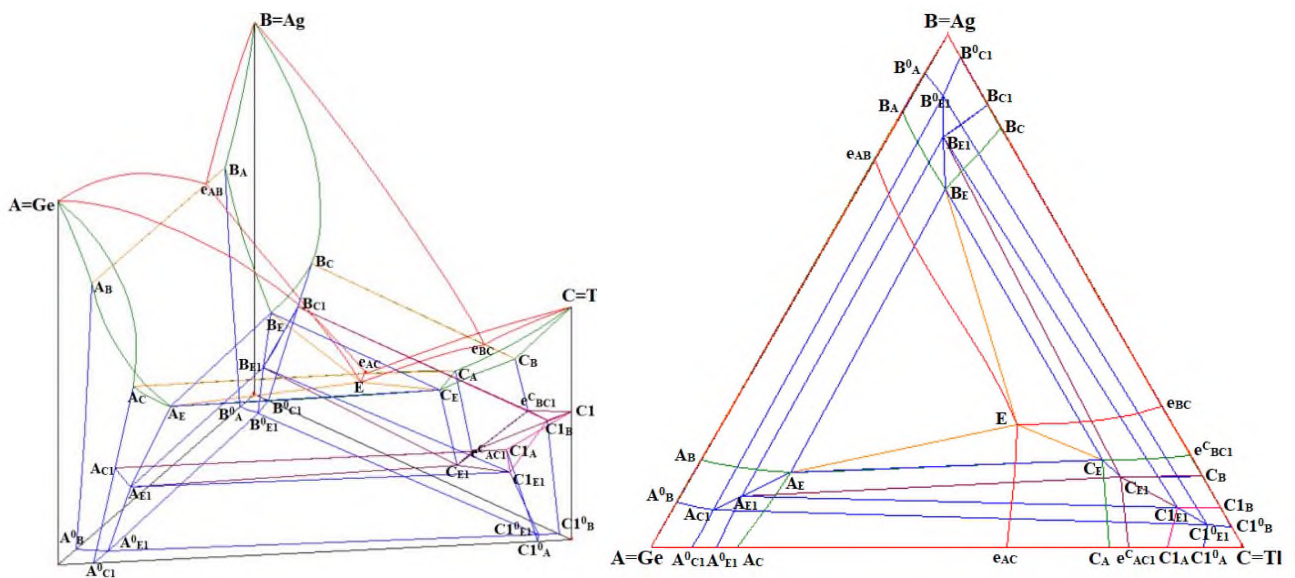


Рисунок 9 – 3D модель прототипа T-x-y диаграммы Ge-Ag-Tl (слева) и ее x-y проекция (справа)

Практическое применение результатов моделирования свойств тройной системы Ge-Ag-Tl состоит в экономии средств на проведение реальных экспериментов, а также в более качественной визуализации проводимых опытов.

Таким образом, полученные базовые точки сплавов системы Ag-Ge-Tl, среди которых можно видеть координаты легкоплавких сплавов (табл. 6),

необходимы для разработки составов припоев, используемых для пайки серебросодержащих изделий в различных отраслях народного хозяйства.

Таблица 6 – Координаты базовых точек диаграммы состояния Ge-Ag-Tl

№	Точка	z_1	z_2	z_3	T	№	Точка	z_1	z_2	z_3	T
1	A	1	0	0	938	19	C_{E1}	0	0	1	230
2	B	0	1	0	961	20	$C1$	0	0	1	230
3	C	0	0	1	304	21	A_{C1}	1	0	0	230
4	e_{AC}	0	0	1	304	22	$C1_A$	0	0	1	230
5	e_{BC}	0	0.025	0.975	291	23	B_{C1}	0	0.959	0.041	230
6	e_{AB}	0.245	0.755	0	651	24	$C1_B$	0	0	1	230
7	E	0.025	0.075	0.9	283	25	B_{E1}	0.025	0.952	0.023	230
8	A_B	1	0	0	651	26	A_{E1}	1	0	0	230
9	B_A	0.1	0.9	0	651	27	$C1_{E1}$	0	0	1	230
10	A_C	1	0	0	304	28	A^0_{E1}	1	0	0	0
11	C_A	0	0	1	304	29	B^0_{E1}	0	1	0	0
12	B_C	0	0.95	0.05	291	30	$C1^0_{E1}$	0	0	1	0
13	C_B	0	0	1	291	31	$C1^0_A$	0	0	1	0
14	A_E	1	0	0	283	32	$C1^0_B$	0	0	1	0
15	B_E	0.048	0.916	0.036	283	33	B^0_A	0	1	0	0
16	C_E	0	0.013	0.987	283	34	B^0_{C1}	0	1	0	0
17	e^C_{AC1}	0	0	1	230	35	A^0_B	1	0	0	0
18	e^C_{BC1}	0	0	1	230	36	A^0_{C1}	1	0	0	0

Результаты ДТА показали, что кривые охлаждения тройного сплава с образованием двойной и тройной эвтектик, состоящих из числа компонентов системы Ag-Ge-Tl, указывают на проявление трех термических эффектов: выделение первичных кристаллов; выделение двойной и тройной эвтектик. Можно видеть (табл. 6), что тройные эвтектики образуются во всех тройных сплавах, кристаллизующихся при температурах 230 и 283°C. Природа первичных кристаллов и двойной эвтектики зависит от того, в какой области диаграммы будет находиться концентрационная точка сплава. Сплавы, отвечающие точкам E, B_E и B_{E1} состоят из тройных эвтектик. В этой системе они самые легкоплавкие сплавы. Процесс кристаллизации в них начнется при температурах 230 и 283°C с одновременным выделением кристаллов всех трех компонентов.

ВЫВОДЫ

1. Проведена систематизация видов взаимодействия серебра с 90-ами элементами ПТ и установлено, что к настоящему времени построено всего 56 диаграмм состояния двойных систем серебро-элементы ПТ, что составило 62 %, а 38% - ещё предстоит изучить и построить.

2. Установлен тип взаимодействия в ранее неизученных и малоизученных двойных системах серебра с применением прогностических критериев В.М. Воздвиженского, В.П. Гладышева, Л.С. Даркена, Р.В. Гурри, У. Юм-Розери, Б.Мотта, Л.К.Полинга, А.Р.Миедемы, О.Кубашевского, И.Х.Гильдебранда и др.

3. Впервые рассчитаны параметры взаимодействия (энергия взаимообмена, энергия связи одноимённых, разноимённых частиц и степень ближнего порядка) серебра с элементами ПТ Д.И.Менделеева, что позволило рассчитать и впервые построить полные ДС для 11 двойных систем Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W и Ag-Re.

4. Впервые определены термодинамические свойства (константы межчастичного взаимодействия, активность и энергия Гиббса) при температуре монотектического распада жидких сплавов систем Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te из их построенных двойных ДС и установлены в них координаты критического распада гомогенного раствора на две гетерогенные фазы.

5. Впервые определена максимальная растворимость элементов (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra) в серебре при кристаллизации.

6. Впервые получены результаты экспериментального исследования взаимодействия компонентов в многокомпонентной Ag-Cu-Ni-Zn и тройной Ag-Ge-Tl системах с применением современных методов физико-химического анализа.

7. Произведена оптимизация стандартного сплава марки CrM925, и впервые установлено совместное влияние никеля, цинка, кадмия, титана и бора на физико-механические и технологические свойства стандартного серебра в сплавах с содержанием до 5.3% меди, 1.7% цинка, 0.4% никеля, 0.02% титана, 0.015% кадмия, 0.015% бора и остальное серебро, а также разработаны составы легкоплавких сплавов на основе системы Ag-Ge-Tl, предназначенные для пайки серебряносодержащих изделий.

8. Оптимизированный состав серебряного сплава прошел внедрение в филиале ООО Равшан «Зари тольик» (г.Душанбе, РТ), в результате которого получен годовой экономический эффект 449650.17 сомони в ценах 2022 года.

Рекомендации по практическому использованию результатов:

Проведенный комплекс исследований позволил достаточно обоснованно произвести выбор оптимального состава серебряносодержащего сплава [до % (по массе): 5.3 Cu, 1.7 Zn, 0.4 Ni, 0.02 Ti, 0.015 Cd, 0.015 В и остальное серебро] и рекомендовать его в промышленное производство, поскольку он имеет ряд преимуществ по сравнению с известными сплавами, а также разработать новые составы легкоплавких сплавов на основе тройной системы Ag-Ge-Tl, рекомендуемые в качестве легкоплавкого сплава для пайки серебряносодержащих

изделий.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан

[1-А]. Джураев, Т.Д. Термодинамическая оценка взаимодействия углерода с золотом, серебром, кадмием и цинком / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **Р.А. Нимонов**, Б.М. Мирзоева, Ш.Б. Курбонов, С.С. Садыкова // Доклады АН РТ, 2019. – Т. 62. – № 1-2. – С. 567-570.

[2-А]. Джураев, Т.Д. Расчет термодинамических свойств сплавов системы Cu-Nb / Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев, **Р.А. Нимонов** // Вестник педагогического университета, 2021. – № 1(10-11). – С.82-85.

[3-А]. **Нимонов, Р.А.** Расчёт взаимной растворимости компонентов в жидком и твердом состояниях в системах серебра с некоторыми элементами (Sn, Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra) / **Р.А. Нимонов** // Политехнический вестник ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2022. – №3(59). – С. 46-50.

[4-А]. **Нимонов, Р.А.** Определение констант межчастичного взаимодействия, активности и свободной энергии Гиббса в системах Аг-халькогены (S, Se и Te) / **Р.А. Нимонов** // Политехнический вестник ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2022. – №4(60). – С. 77-82.

Публикации в других изданиях:

2. Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций

[5-А]. Джураев, Т.Д. Систематизация видов взаимодействия серебра с некоторыми элементами периодической системы Д.И. Менделеева / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **Р.А. Нимонов**, Ш.Б. Курбонов, М. Мустафои // Материалы республиканской научно-практической конференции «Проблемы горно-металлургической промышленности РТ и пути их решения». Душанбе: МИСиС, 2018. – С. 29-31.

[6-А]. Джураев, Т.Д. Анализ видов взаимодействия золота с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева / Т.Д. Джураев, Ф.К. Рахимов, Э.Р. Газизова, **Р.А. Нимонов**, Б.М. Мирзоева // Материалы III научно-практической конференции аспирантов и студентов «Наука – основа инновационного развития». Душанбе: ТТУ имени акад. М.С.Осими, 2018. – С. 168-169.

[7-А]. Джураев, Т.Д. Систематизация видов взаимодействия серебра с некоторыми элементами периодической системы Д.И. Менделеева / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **Р.А. Нимонов**, Ш.Б. Курбонов., М. Мустафои // Материалы III научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Наука – основа инновационного развития». Душанбе: ТТУ им.акад. М.С.Осими, 2018. – С. 179-181.

[8-А]. Джураев, Т.Д. Построение диаграмм фазового равновесия углерода с золотом, серебром, кадмием и цинком / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **Р.А. Нионов**, Б.М. Мирзоева, Ш.Б. Курбонов, С.С. Садыкова // *Материалы IV республиканской научно-практической конференции «Наука – основа инновационного развития»*. Душанбе: ТГУ им.акад. М.С.Осими, 2019. – С. 171-176.

[9-А]. **Нионов, Р.А.** Оценка параметров и видов взаимодействия меди с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева / **Р.А. Нионов**, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров, Т.Д. Джураев // *Материалы республиканской научно-практической конференции «Повышение информированности об использовании водных ресурсов – важная и актуальная проблема современного мира»*. Душанбе: ТГУ им.акад. М.С.Осими, 2021. – С. 407-411.

[10-А]. Тошев, М.Т. Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграммы фазового равновесия в системе меди с рубидием / М.Т. Тошев, **Р.А. Нионов**, Т.Д. Джураев // *Материалы республиканской научно-практической конференции «Повышение информированности об использовании водных ресурсов – важная и актуальная проблема современного мира»*. Душанбе: ТГУ им.акад. М.С.Осими, 2021. – С. 411-414.

[11-А]. **Нионов, Р.А.** Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграммы фазового равновесия в системе меди с калием / **Р.А. Нионов**, М.Т. Тошев, Т.Д. Джураев // *Материалы республиканской научно-практической конференции «Основные вопросы комплексной переработки хлопка в Республике Таджикистан»*. Душанбе: ТГУ им.акад. М.С.Осими, 2021. – С.147-149.

[12-А]. Тошев, М.Т. Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграммы фазового равновесия в системе меди с францием / М.Т. Тошев, **Р.А. Нионов**, Т.Д. Джураев // *Материалы республиканской научно-практической конференции «Основные вопросы комплексной переработки хлопка в Республике Таджикистан»*. Душанбе: ТГУ им.акад. М.С.Осими, 2021. – С.150-153.

[13-А]. **Нионов, Р.А.** Виды взаимодействия серебра с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева / **Р.А. Нионов**, Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев // *Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности»*. Душанбе: ТГУ им.акад. М.С.Осими, 2021. – С. 108-112.

[14-А]. Джураев, Т.Д. Термодинамические свойства сплавов серебра с халькогенами (S, Se и Te) / Т.Д. Джураев, **Р.А. Нионов**, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров // *Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности»*. Душанбе: ТГУ им.акад. М.С.Осими, 2021. – С. 112-118.

Изобретение по теме диссертации:

[15-А]. **Нионов, Р.А.** Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1265, от 20.05.2022 г. Сплав на основе серебра / **Р.А. Нионов**, Т.Д. Джураев, Ф.К. Рахимов, М.Т. Тошев и др.

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

УДК: 669.017.11.544.57

Бо ҳуқуқи дастнавис

ББК:34.20-24.33.2

H-19

НИМОНОВ РИВОЖ АМИРОВИЧ

***АСОСҶОИ ФИЗИКО-ХИМИЯВИИ МУНОСИБ НАМУДАНИ
ХӢЛАҶО ДАР АСОСИ НУҚРА***

АВТОРЕФЕРАТИ

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

05.16.02 – Металлургияи металлҳои сиёҳ, ранга ва нодир

Душанбе – 2023

Диссертатсия дар кафедраи «Металлургия»-и Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М.С. Осимӣ иҷро гардидааст.

Рохбари илмӣ: **Джураев Тухтасун Джураевич,**
доктори илмҳои химия, профессор,
профессори кафедраи «Металлургия»-и
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи
академик М.С. Осимӣ

Муқарризони расмӣ: **Амонзода Илҳом Темур,**
доктори илмҳои техникӣ, профессор, ректори
Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон

Раҳимова Мубаширхон,
доктори илмҳои химия, профессор,
профессори кафедраи «Химияи физикавӣ ва
коллоидӣ» Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

Муассисаи пешбар: Муассисаи давлатии илмӣ «Маркази
тадқиқоти технологияҳои инноватсионӣ»-
и Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсияи илмӣ « 14 » сентябри соли 2023, соати 10⁰⁰ дар
чаласаи Шӯрои диссертатсионии яқдафъаинаи **6D.KOA-028** назди Донишгоҳи
техникии Тоҷикистон ба номи М.С. Осимӣ, дар суроғи 734042, шаҳри
Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 10 баргузор мегардад. E-mail:
adliya69@mail.ru

Бо матни пурраи диссертатсия метавонед дар китобхонаи илмӣ ва
сомонаи интернетии Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи М.С. Осимӣ
шинос шавед: www.ttu.tj

Автореферат санаи « ___ » _____ соли 20__ аз рӯйи феҳристи
пешниҳодшуда, ирсол карда шудааст.

Котиби илмӣ
Шӯрои диссертатсионӣ 6D.KOA-028,
номзади илмҳои техникӣ

Бабаева А.Х.

ТАВСИФИ УМУМИИ КОР

Аҳамияти мавзӯ. Яке аз соҳаҳои маъмултари истифодаи нуқра саноати заргарӣ мебошад, ки дар он ҳамчун рӯйпӯш намудан бар зидди оксидшавӣ (аз сабабе, ки он то 150 °С муқовимат бар зидди коррозия нисбатан баланд дорад) ва таъсири механикии маснуот аз металлҳои камарзиш сохташуда истифода мешавад. Дар муқоиса бо дигар маводҳои қиматбаҳо (тилло, платина ва ғайра) маснуоти заргарӣ аз нуқра дастрастар аст, гарчанде ки аз рӯи аслият ва мураккабии худ аз дуҷумлӣ кам нест. Сими борики дукилометрае, ки аз 1 грамм нуқра кашида шудааст, ҳам дар кори заргарӣ ва ҳам дар микроэлектроника истифода мешавад. Ҳангоме ки тиллои сафед бо нуқра легиронида мешавад, хосиятҳои механикии ин хӯла меафзояд. Барои нуқра компоненти асосии легирони мис мебошад, ки хусусиятҳои мустаҳкамии онро зиёд мекунад. Тақрибан ҳамаи хӯлаҳои нуқра ранги якхела доранд, гарчанде ки онҳо аз ҳамдигар бо миқдори худ фарқ мекунад. Аксар вақт, тибқи ГОСТ 30649-99, чор намунаи нуқра истифода мешаванд: 925-ум бо миқдори 92.5% Ag. Ин хӯла нуқраи стандартӣ номида мешавад, ки муқовимати зиёд ба коррозия дорад. Он дар саноати заргарӣ васеъ истифода мешавад; Иёри 875-ум 87.5% Ag дорад, ки барои истеҳсоли ороишоти заргарӣ, инчунин маснуоти маишӣ истифода мешавад; Иёри 830-ум дар таркиби худ тақрибан 83% Ag дорад ва барои истеҳсоли ороишҳо мувофиқ аст; Иёри 800-ум аз 80% Ag иборат аст, яъне миқдори мис дар он назар ба иёрҳои пештара зиёд аст, бинобар ин ранги он каме зардтоб аст. Чунин нуқра зуд оксид мешавад ва барои сохтани асбобу анҷоми хӯрокхӯрӣ истифода мешавад.

Маълум аст, ки дар истеҳсоли маснуоти заргарӣ бояд ба рақобати афзоюндаи бозори муосир рӯ ба рӯ шавад ва ин аз истеҳсолкунандагони он талаб мекунад, ки пайваста имкониятҳои такмил додани равандҳои тарҳрезӣ ва технологиро, ки ба кам кардани арзиши маҳсулот, беҳтар кардани сифати маҳсулот ва азхудкунии навъҳои нави маҳсулот нигаронида шудаанд, навъҳои рақобатпазири маҳсулот ҷустуҷӯ кунад. Ноғузир ба таҷҳизоти нав ва равандҳои коркарде, ки пеш бо сабабҳои гуногун васеъ истифода намешуданд, шавку хавас пайдо мешавад. Масъалаи асосӣ дар ҳама ҷо азхуд кардани коркарди нав ё муносиб намудани таркибӣ хӯлаҳои металии амалкунанда мебошад.

Бо усулҳои таҷрибавӣ коркарди хӯлаҳои муосир дар асоси металлҳои асил, аз ҷумла нуқра раванди тӯлонӣ ва хеле гаронбаҳо мебошад. Ғайр аз ин, ҳангоми сохтани он талаботи байналмилалиро ба инобат гирифтани лозим аст, ки мувофиқи он маснуоти заргарӣ, ки барои пушидани ҳаррӯза ва дар алоқаи бевосита бо пусти одам таъиншуда пешбинӣ шудаанд, аз хӯлаҳои дорои зиёда аз 1% никел, кобалт сохтан мумкин нест, ки мувофиқи эълумияи мутобиқат ба дастури 94/27 СЕ, ба алергенҳо ва кансерогенҳо, ки истифодаи онро дар саноати заргарӣ маҳдуд мекунад.

Аз ин рӯ, коркарди таҳияи қарорҳои илмӣ асоснокшудаи техникӣ ва технологияи истеҳсоли маснуоти заргарӣ аз хӯлаҳои нави нуқра асосёфта ё муносиб намудани навъҳои мавҷуда, ки ба талаботи стандартҳои ҷаҳонӣ

ҷавобгӯ мебошанд, бешубҳа, як масъалаи таъхирнопазирест, ки дар кори пешниҳодшуда инъикос ёфтааст.

Муваффақияти кори рисола инчунин аз он шаҳодат медиҳад, ки он ба систематизатсияи намудҳои ҳамчояшавӣ дар системаҳои нуқра бо элементҳои ҷадвали даврии Д.И. Менделеев (ҶД), бахшида шудааст, ки натиҷаҳои он имкон медиҳанд, механизми ҷудошавии тозакунии нуқраи стандартиро аз ғашҳои гуногун ошкор намуда, ба ин васила баъзе хосиятҳои физикию химиявии онро баланд бардоранд. Ғайр аз ин, дар давоми ҳазорҳо сол истифода бурдани бӯтаҳои графитӣ дар ғудохтан ва рехтагарии нуқра ва хӯлаҳои он ҳануз аз ҷиҳати илмӣ асоснок карда нашудааст. Дар асоси натиҷаҳои ба даст овардашуда чунин асос дар қор оварда шудааст. Таҳкурсии назариявӣ ва амалии ин тадқиқотҳо диаграммаҳои ҳолати (ДХ) дучандаи системаҳои нуқра-элемент ҶД мебошанд.

Дарачаи коркардшудаи мавзӯ. Дар соҳаи коркард ва муносиб намудани хӯлаҳои заргарӣ бо иштироки нуқра танҳо якчанд нашрияҳо мавҷуданд, ки асосан асарҳои олими Донишгоҳи миллии техникаи Белорус Луговой В.П., инчунин мутахассисони донишгоҳи давлатии техникаи Калининград Савченко А.Н. ва Тилепалова В.Н. мебошанд. Аз ин ру, вазифаҳои ба вуҷуд овардан ва муносиб намудани хӯлаҳои нуқрагии дорой хосиятҳои технологияи беҳтардошта барои истифода дар саноати заргарӣ, электротехника, асбобсозӣ, рехтагарии бадеӣ дар ин самт тадқиқоти иловагиро талаб мекунанд.

Ин бебаҳс аст, ки ҳосил намудани маснуоти заргарӣ бо технологияи рехтагарӣ алоқаманд аст. Ба шарофати тадқиқоти чунин олимони: Н.С. Курнаков, Г.Ф. Баландин, А.А. Бочвар, А.Б. Гуляев, Б.Б. Гуляев, В.И. Никитин, Л.Ф. Мондольфо, А.В. Курдюмов, И.И. Новиков ва дигарон асосҳои илмии ғудозиш ва рехтагарӣ, кристаллизатсияи металлҳои ранга ва хӯлаҳои он қор кардашуда, ба инкишофи минбаъдаи назария ва амалияи истеҳсолоти рехтагарӣ, ҳангоми гузаронидани тадқиқот, технологияи рехтагарӣ дар истеҳсоли маснуоти заргарӣ аз хӯлаҳои нуқра асосёфта ба тақмили минбаъдаи он, ҳиссаи қалон ғузоштанд.

Мақсади кори диссертационӣ қоркарди маҷмуи ҳалли илмию технологӣ мебошад, ки ба муносиб намудани таркиби хӯлаи стандартии тамғаи CrM925 ва қоркарди таркиби хӯлаи лаҳим барои истифода дар қори заргарӣ нигаронида шудааст.

Объекти тадқиқот диаграммаҳои ҳолати дучанда ва сечандаи системаҳои нуқра-элементҳои ҶД, таркибҳои нави хӯлаҳои рехтагарӣ ва лаҳим дар асоси нуқра ва технологияи истеҳсоли он мебошад.

Ҳадафҳои тадқиқот. Барои ноил шудан ба ин ҳадаф вазифаҳои зерин ҳал карда шуданд:

– намудҳои баҳамтаъсири батартибдорории нуқра бо элементҳои ҶД ва қонунҳои умумии мувозинати фазавии он ошқор карда шуданд;

– намудҳои баҳамтаъсири системаҳои дучандаи нуқра, ки қаблан омехтанашуда ва қам омехта шудаанд, бо истифода аз усулҳои гуногуни пешгуи муқаррар карда шуда, барои баъзеи он ҶД сохта шудаанд;

– хосиятҳои термодинамикии хӯлаҳои баъзе системаҳои дучанда ва сечанда бо иштироки нукра муайян карда шуданд;

– ба таври таҷрибавӣ баҳамтаъсири компонентҳои хӯлаҳои системаҳои Ag-Ge-Tl ва Ag-Cu-Ni-Zn, инчунин хосиятҳои физикӣ-механикӣ ва технологияи онро омӯхта шудааст;

– муносиб намудани хӯлаҳои системаи Ag-Cu-Ni-Zn дар асоси таҳлили баҳамтаъсири системаҳои ду ва секомпонентае, ки системаи чоркомпонентаро ташкил медиҳанд, гузаронида шуд;

– таркибҳои хӯлаҳои зудгудоз дар асоси системаи Ag-Ge-Tl коркард карда шуданд, ки барои лаҳим намудани маснуоти нукрадор пешбинӣ шудаанд.

Усулҳои тадқиқот, таҷҳизоти истифодашуда:

– усулҳои моделсозии компютерӣ ва рақамикунонӣ барои пешгӯӣ ва ҳисоб кардани намудҳои боҳамтаъсир дар системаҳои нукраи ду ва сечанда бо элементҳои ЧД;

– таркиби химиявии хӯлаҳои ҳосилшуда дар микроспектрометри рентгении флуоресцентии «Спектромадекс» таҳлил шудаанд;

– таҳлили микроскопӣ барои омӯзиши микроструктураи хӯлаҳо дар микроскопи Биомед «ММР-2» ҳангоми зиёдкунӣ аз 100 то 200 маротиба;

– таҳлили дифференсиалии ҳароратӣ барои муайян намудани ҳарорати гудозиши хӯлаҳо ва табодулоти фазаҳо дар таҷҳизоти комплексӣ коркард шудааст;

– ченкунии муқовимати нисбии барқӣ дар дастгоҳи С.А 6470N;

– ченкунии мустаҳкамии ёзандагӣ дар мошини тарқишӣ Р-50;

– ченкунии мосъҷоришавӣ аз рӯи санҷиши спиралии Самарина-Нехензди;

– ченкунии сахтӣ дар дастгоҳи “Motor-driven Rokwell-Brinell-Vickers Hardness Tester Manual”;

– усули коркарди муносиб намудани таркибҳои хӯлаи банақшагирии симплексии таҷрибаҳо, сохтани сатҳи ликвидус ва модели сеченаки фазоии диаграммаи Т-х-у системаҳои сечандаи Ag-Ge-Tl, ки дар модели 3D системаи воқеӣ пешниҳод шудааст;

– коркарди маълумоти таҷрибавӣ ва ҳисобшуда бо истифода аз барномаҳои стандартии Sigma Plot, Microsoft Excel ва барномаи инфиродӣ таҳияшудаи “Phase Diagram Constructor” анҷом дода шуд.

Соҳаи тадқиқот: металлургия, металлшиносӣ ва химияи физикӣ.

Марҳилаҳои тадқиқот: Марҳилаи аввал (солҳои 2016-2017) – таҳлили адабиёт оид ба мавзӯи кор, муайян кардани аҳамият ва ҳадафи тадқиқот. **Марҳилаи дуюм** (2017-2020) – систематизатсияи намудҳои боҳамтаъсири нукра бо элементҳои ЧД ва муайян намудани қонуниятҳои умумӣ дар мувозинатҳои фазавии он мебошад. Муқаррар намудани намудҳои боҳамтаъсир дар системаҳои дучандаи нукра, ки пеш омӯхта нашуда, ё ин ки кам омӯхта шудаанд, бо истифода аз усулҳои гуногуни пешгӯӣ, сохтани ДХ-и он. Муайян намудани хосиятҳои термодинамикии хӯлаҳои баъзе системаҳои дучанда ва сечанда бо иштироки нукра. **Марҳилаи сеюм** (солҳои 2020-2022) – омӯзиши

таҷрибавии боҳамтаъсири компонентҳо, хосиятҳои технологӣ ва физикию механикии ҳӯлаҳои системаҳои нукра-мис-никел-руҳ ва нукра-германий-таллий мебошад. Таҳлил ва ҷамъбасти натиҷаҳои бадастомада, ба итмом расонидан, тартиб додани хулосаҳои умумии рисола.

Манбаи асосии иттилоотӣ ва таҷрибавӣ. Манбаи иттилоотии кори диссертатсионии аслии чунин корҳои илмӣ ба ҳисоб мераванд: монографияҳо, рисолаҳо, китобҳои дарсӣ, маҷаллаҳои даврии илмӣ, маводи симпозиумҳои илмӣ, конференсҳо ва портали интернетӣ бахшида ба ҳӯлаҳои металлӣ бо иштироки нукра мебошад.

Ҳангоми иҷрои кори диссертатсионӣ **базаҳои таҷрибавии** озмоишгоҳи санҷиши ҚСҚ «Талко кабел» истифода шуданд; озмоишгоҳи «Металлургия ва технология»-и Институти тадқиқоти илмӣ «Политехникӣ»-и ДТТ ба номи акад. М.С.Осимӣ; Шуъбаи санҷиш ва экспертизаи химиявии назорати Давлатии иёрғирии Вазорати молияи Ҷумҳурии Тоҷикистон ва озмоишгоҳи «Технологияи истеҳсоли маснуоти заргарӣ»-и кафедраи «Металлургия»-и Донишгоҳи техникаи Тоҷикистон. Ба номи акад. М.С. Осимӣ.

Саҳеҳии натиҷаҳои диссертатсия бо истифода аз таҷҳизоти муосири таҷрибавии сертификатсияшуда бо калибркунии асоснок ва такроршавандагии хуби натиҷаҳо дар шароити гуногуни беруна, миқдори кофии натиҷаҳои таҷрибавии иловагӣ ва мувофиқати хуб бо натиҷаҳои дигар муаллифон тасдиқ шудааст.

Навовариҳои илмӣ кор:

– бори аввал параметрҳои боҳамтаъсири (энергияи боҳам мубодила, энергияи алоқаи зарраҳои монанд ё гуногун ва дараҷаи тартиби наздик) нукра бо элементҳои ҚД-и Д.И. Менделеев ҳисоб карда шуд;

– бори аввал ДҲ-и пурра барои 11 системаи дучандаи Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re ҳисоб ва сохта шудааст;

– бори аввал хосиятҳои термодинамикии (константаҳои боҳамтаъсири байнизарраҳо, ҷаҷолнокӣ ва энергияи Гиббс) ҳӯлаҳои системаҳои Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te аз ДҲ-и дучанда сохташуда ва координатаҳои парокандашавии критикии маҳлули якхела ба ду марҳилаи гетерогенӣ муайян карда шудааст;

– бори аввал ҳалшавии максималии элементҳо (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba ва Ra) дар нукра ҳангоми кристаллизатсия муайян карда шудааст;

– бори аввал бо истифода аз усулҳои муосири таҳлили физикӣ ва химиявӣ натиҷаҳои омӯзиши таҷрибавии боҳамтаъсири компонентҳо дар системаҳои сечандаи Ag-Ge-Tl ва бисёркомпонентаи Ag-Cu-Ni-Zn ба даст оварда шудааст;

– муносиб намудани ҳӯлаи стандартии тамғаи CrM925 гузаронида шуда ва бори аввал таъсири якҷояи никел, руҳ, кадмий, титан ва бор ба хосиятҳои физикӣ, механикӣ ва технологияи нукраи стандартӣ дар ҳӯлаҳои, ки то 5.3% мис 1.7% руҳ, 0.4% никел, 0.02% титан, 0.015% кадмий, 0.015% бор ва боқимонда нукра дорад, муқаррар карда шуд;

– таркибҳои хӯлаҳои зудгудоз дар асоси системаи Ag-Ge-Tl таҳия шудааст, ки барои васл намудани маснуоти нукрадор пешбинӣ шудааст.

Аҳамияти илмӣ ва амалии кор. Диаграммаҳои мувозинати фазавӣ сохташуда ва арзишҳои ҳисобшудаи тавсифҳои термодинамикии хӯлаҳои нукра барои кам кардани хароҷоти моддии таҷрибаҳо ва баланд бардоштани самаранокии иқтисодии равандҳо ҳангоми коркарди технологияи тозакунии ликватсионӣ ва синтези хӯлаҳо кӯмак мекунанд, инчунин хазинаи адабиёти истинодро бо маълумоти нав пурра мекунанд.

Таркибҳои муносибии коркардшудаи хӯлаҳои дорои нукра метавонанд барои саноати заргарӣ тавсия карда шаванд. Дар асоси озмоишҳои таҷрибавӣ, ки дар филиали ЧДММ «Равшан» (ш. Душанбе, ҚТ) гузаронида шуда, барои татбиқ хӯлаи нукрагии дорои мис, никел, руҳ ва кадмий қабул карда шуд, ки як қатор бартариҳо дорад (масалан, нишондоди баланди сахтӣ, мустаҳкамӣ, моеъчоришавӣ, қолабпуркунӣ ва устувории ранг дар маснуот) дар муқоиса бо хӯлаи маълуми CrM925.

Самаранокии иқтисодии бадастомада аз имкони ҷорӣ намудани ин таркиби муносиби хӯлаи нукра дар дигар соҳаҳои саноат (реҳтагарии бадеӣ, электротехника, асбобсозӣ ва ғайра) шаҳодат медиҳад. Натиҷаҳои умумии кор татбиқ гардида, метавонанд дар тадқиқоти илмӣ ва раванди таълим дар Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи акад. М. Осимӣ, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва дигар донишгоҳҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода бурда мешавад.

Мазмуни асосии диссертатсия, ки ба химоя пешкаш мегардад:

– натиҷаҳои пешгӯии оморӣ ва термодинамикӣ барои муайян намудани намудҳои боҳамтаъсири нукра бо элементҳои ҚД дар ҳолатҳои моеъ ва сахт;

– натиҷаҳо оид ба ҳисоб ва сохтани ДХ-и пурра барои 11 системаи дучанда Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re;

– натиҷаҳои муайян намудани хосиятҳои термодинамикӣ (константаҳои боҳамтаъсири байнизарраҳо, фаъолнокӣ ва энергияи Гиббс) хӯлаҳои системаҳои Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te;

– натиҷаҳои муайян намудани ҳалшавии максималии элементҳо (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba ва Ra) дар нукра ҳангоми кристаллизатсия;

– натиҷаҳои тадқиқи таҷрибавии боҳамтаъсири компонентҳо дар системаҳои сечандаи Ag-Ge-Tl ва бисёркомпонентаи Ag-Cu-Ni-Zn;

– муносиб намудани натиҷаҳои хӯлаи стандартии тамғаи CrM925 ва таъсири якҷояи никел, руҳ, кадмий, титан ва бор ба хосиятҳои физикӣ, механикӣ ва технологияи нукраи стандартӣ дар хӯлаҳои, ки то 5.3% мис, 1.7% руҳ; 0.4% никел, 0.02% титан, 0.015% кадмий, 0.015% бор ва боқимонда нукра дорад, инчунин таркибҳои коркардшудаи хӯлаҳои зудгудоз дар асоси системаҳои Ag-Ge-Tl, ки барои васл намудани маснуоти нукрадор пешбинӣ шудааст.

Саҳми шахсии муаллиф дар рисола аз иштироки бевоситаи ӯ дар тамоми марҳилаҳои тадқиқот, омода намудани намунаҳо ва таҷрибаҳо,

иштироки фаъолона дар муҳокима ва тафсири натиҷаҳо, таҳияи хулосаҳо ва мавқеъи асосӣ, омода намудани мақолаҳои илмӣ ва гузоришҳо барои нашр.

Апробатсияи натиҷаҳо. Натиҷаҳои асосии кори диссертатсия дар конференсияҳои III ва IV ҷумҳуриявии илмӣ амалии ДТТ акад. М.С. Осимӣ «Илм – асоси рушди инноватсионӣ» (Душанбе, 2018, 2019); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ амалии ДПваХМ (МИСиС) «Мушкилоти саноати кӯҳӣ ва металлургӣ» (Душанбе, 2018); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ амалии ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ «Мушкилоти асосии коркарди пурраи пахта дар Ҷумҳурии Тоҷикистон» (Душанбе, 2021); Конференсияи ҷумҳуриявии илмӣ амалии ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ «Беҳтар намудани фарҳанги истифодаи захираҳои об як мушкили муҳими ҷаҳони муосир» (Душанбе, 2021); Конференсияи байналмилалӣ илмӣ амалии ДТТ ба номи акад. М.С. Осимӣ «Мушкилоти муосири саноати металлургӣ» (Душанбе, 2021) маъруза ва муҳокима карда шуданд.

Нашрияҳо. Аз рӯи натиҷаҳои кор 15 мақола, аз ҷумла 4 мақолаи илмӣ дар нашрияҳои пешбари тақрибӣ, ки Комиссияи олии аттестатсионии назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон муайян кардааст, 10 маърузаи тезисҳо дар конференсияҳои ҷумҳуриявӣ ва байналмилалӣ ва 1 патенти хурди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои ихтироъ гирифта шуд.

Ҳаҷм ва сохтори диссертатсия. Рисола аз муқаддима, чор боб, хулоса, номгӯи адабиёти 115 истинодҳои библиографӣ ва замима иборат аст. Рисола дар 118 матни чопшуда, аз ҷумла 21 ҷадвал ва 21 расм пешниҳод карда шудааст.

МАЗМУНИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

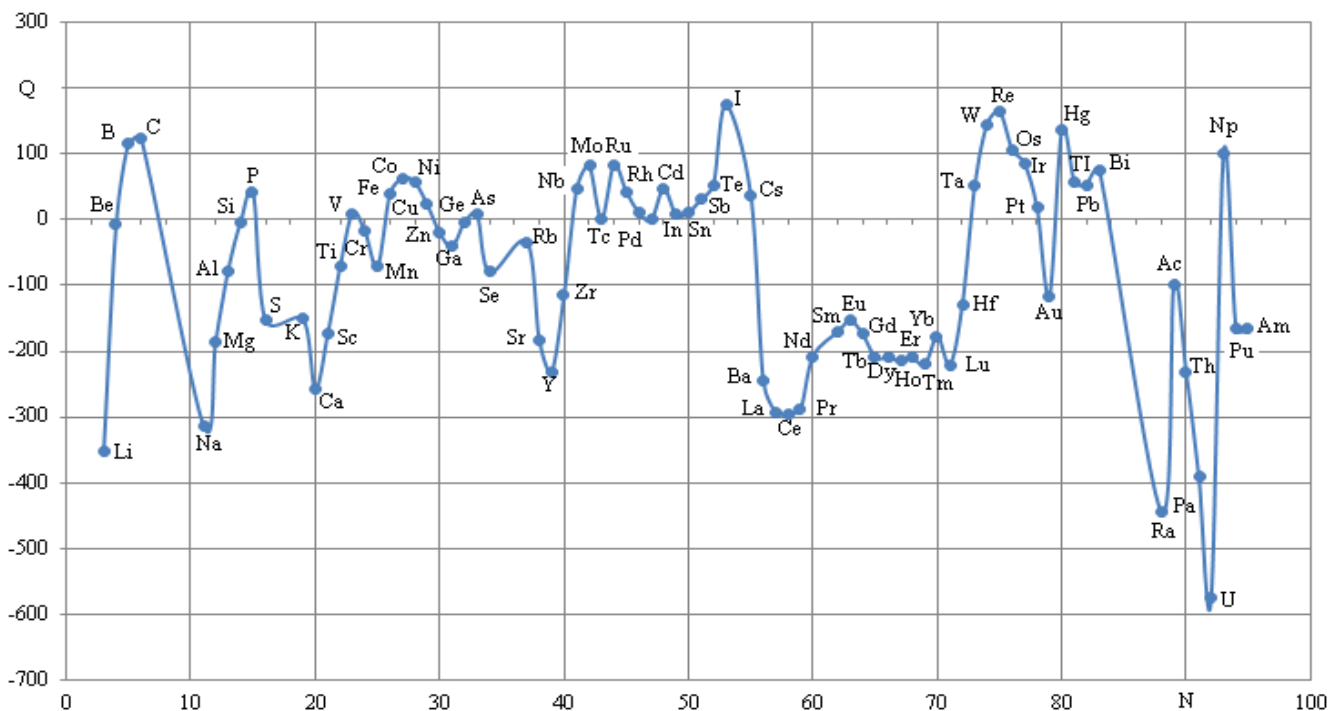
Дар муқаддима аҳамияти мавзӯ асоснок карда шуда, мақсад ва вазифаҳои тадқиқот мухтасар карда шуда, аҳамияти илмӣ ва амалии кор инъикос ёфтааст, муқаррарот барои дифоъ пешниҳодшуда ва ҷойҳои апробатсияи натиҷаҳои асосӣ нишон дода шудааст.

Дар боби якуми кор хосиятҳои асосии физикӣ-химиявӣ, истифода ва истеҳсоли нукра баррасӣ шуда, инчунин таҳлили адабиёт оид ба диаграммаҳои ҳолати дучандаи он бо элементҳои ЧД гузаронида шудааст, ки дар асоси он 90 системаи дучандаи нукра бо элементҳои ЧД, 56 система ба андозаи муайян омӯхта шуда, диаграммаҳои ҳолати он пурра сохта ва муайян карда шудаанд. 34 системаи дучандаи нукра ҳанӯз бояд омӯхта ва диаграммаҳои ҳолати фазавии он сохта шаванд. Масалан, системаҳои нукраи дорой 19 элемент (K, Rb, Cs, Tm, Lu, Ac, Hf, V, Nb, Ta, Mo, W, Re, Ru, S, P, O, B, N) ЧД кам омӯхта шудаанд ва системаҳои нукра бо 15 элементи дигар (Fr, Ra, Pa, Np, Am, Cm, Bg, Cf, Es, Fm, Md, No, Lr, Tc, Po) ЧД омӯхта нашудааст.

Дар боби дуюми кори диссертатсия таҳлили натиҷаҳои баҳодихии омории намудҳои боҳамтаъсири нукра бо 80 элементи ЧД бо истифода аз омилҳои металлохимиявӣ гузаронида шудааст, ки он имкон медиҳад барои системаҳои омӯхташуда ва омӯхтанашуда аниқ карда шаванд, ҳолатҳои пешгӯии ҳалшавандагӣ дар ҳолати моеъ ва сахт, намудҳои табадулоти нонварианти ва

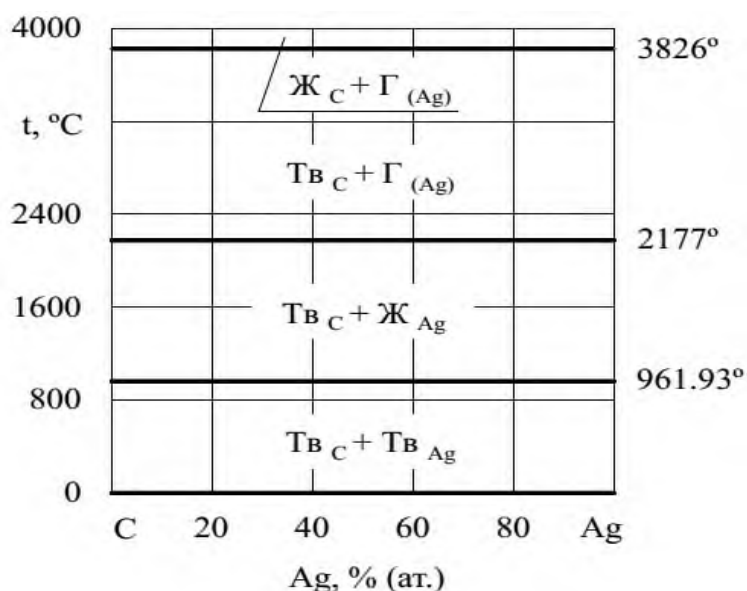
бавучуд омадани пайвастагиҳои конгруэнтӣ (инконгруэнтӣ), фазаҳои гуногуни металлӣ ва фазаҳои Лавес. Масалан, дар системаҳои Ag-Cu, Ag-Ni, Ag-Zn, Ag-In, Ag-Tl, Ag-Ge, ки компонентҳое, ки ҳӯлаҳои дорой хосиятҳои беназирро ташкил медиҳанд, ба вучуд омадани маҳлулҳои саҳти маҳдуднок, нуқтаҳои перитектикӣ ё эвтектикӣ ба таври таҷрибавӣ муқаррар карда шудааст, ки онро пешгуиҳои дар қор баёншуда бештар тасдиқ мекунад. Элементҳои гурӯҳи металлҳои нодир, аз руи пешгуиҳои оморӣ ба даст овардашуда майл доранд, ки фазаҳои фосилаи намуди Лавесро бо нуқра ташкил кунанд. Инро маълумотҳои таҷрибавӣ қорҳои пештара тасдиқ мекунанд. Барои системаҳои кам омӯхташуда ё омӯхтанашуда, масалан, системаҳои нуқра бо металлҳои ишқорӣ Ag-K, Ag-Rb, Ag-Cs ва Ag-Fr дохил шуда, мутаносибан бо пешгуиҳо қисман омехташавӣ компонентҳоро дар ҳолати моеъ ва саҳт бо мавҷудияти намуди эвтектикӣ табодулотӣ нонварианти муайян шудааст, чунон ки дар системаи пештараи таҷриба омехташудаи нуқра бо аналогии натрий, ки дар ин ҷо тадқиқоти рентгенӣ низ имкон дод, ки фазаҳои Лавес, мисли системаи нуқра бо калий муқаррар карда шавад.

Боби сеюми қор оид ба гирифтани маълумотҳои ҳисобшуда дар системаҳои дучанда бо иштироки нуқра идома дорад, ки дар он намуди боҳамтаъсир муқаррар карда шудааст (боби 2). Фарқият дар методикаи таҳлили ғайри оморӣ набуда, балки дар усули термодинамикӣ дар асоси назарияҳои маҳлулҳои идеалӣ, мунтазам ва модели ҳалшавандагии думинтақа мебошад. Ин равиш барои ҳисоб кардани константаҳои термодинамикӣ боҳамтаъсири байнизираҳо, энергияи омехта, энергияи озоди Гиббс ва ҳудуди ҳалшавӣи компонентҳои гуногун бо нуқра истифода мешавад.



Расми 1 – Вобастагии энергия мутақобилаи (Q , кҶ/г-ат.) нуқра бо элементҳои ҶД аз рақами тартибии онҳо (N).

Дар расми 1 натиҷаҳои ҳисобкунии арзишҳои энергияи омехта (Q_{12}) барои системаҳои нуқраи дучанда бо зиёда аз 80 элементҳои ҚД нишон дода шудааст, ки имкон медиҳад намуди диаграммаҳои ҳолати ин системаҳо тақмил дода шавад. Масалан, арзишҳои мусбати энергияи омехта бо набудани боҳамтаъсири наздики байни компонентҳои системаҳои мавриди омӯзиш тавсиф карда мешаванд. Ҳангоми муайян намудани дараҷаи боҳамтаъсири он меъёри Джураев дараҷаи тартиби наздик истифода бурданд, ки системаҳои нуқраро бо намудҳои боҳамтаъсири монотектикӣ ва дар ҳолати моеъ ва саҳт мавҷуд набудани пурраи он мебошад. Дар натиҷа диаграммаҳои ҳолати пурраи системаҳои дучандаи кам омӯхташуда Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re ва Ag-Os бори аввал сохта шудаанд. ДХ-и системаҳои нуқра бо карбон бо набудани боҳамтаъсири байни компонентҳо ҳам дар ҳолати моеъ ва ҳам дар ҳолати саҳт (расми 2, 3-г) ва дар ДХ-и системаҳои дигар намуди мобайнии чудошавиро мушоҳида кардан мумкин аст. (расмҳои 3-б, в ва 4-5).



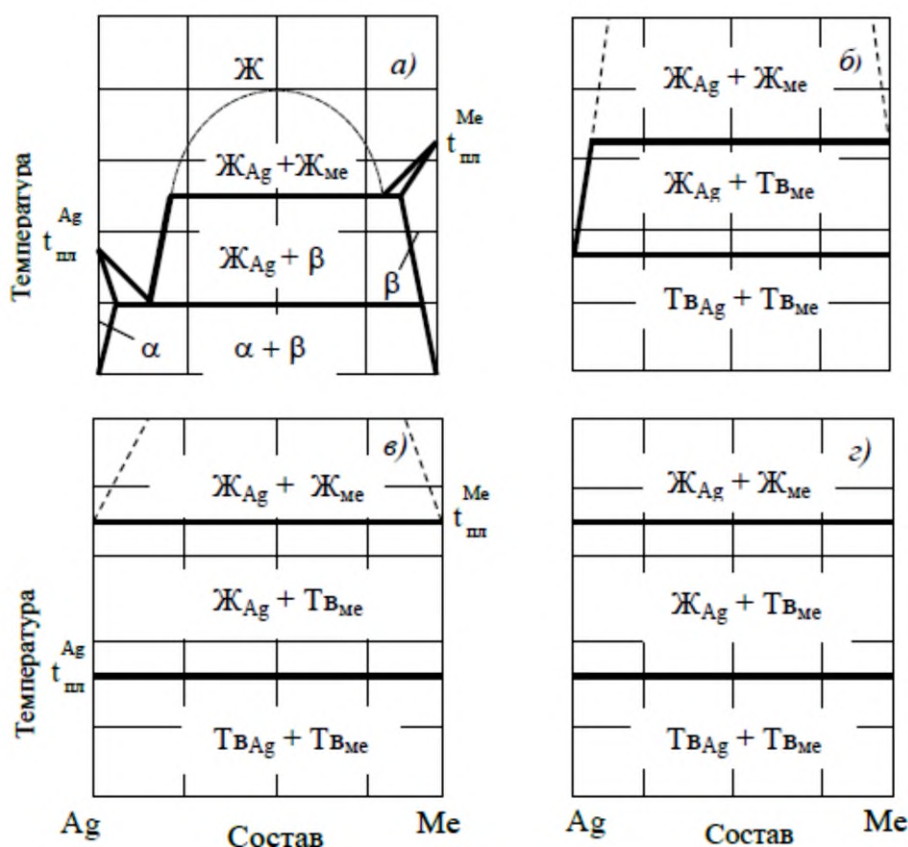
Расми 2 – Диаграммаи ҳолати системаи дукомпонентаи Ag-C

Диаграммаҳои ҳолати системаҳои Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W ва Ag-Re, ки дар расмҳои 4-5 тасвир шудаанд мавҷуд набудани омехташавии байни компонентҳо дар ҳолати моеъ ва саҳтро нишон медиҳад, аммо ҳангоми кристаллизатсия дар он маҳдудҳои саҳти хеле маҳдуднок метавонад пайдо шавад. Тағйирёбии нонварианти беҳтар хоҳад шуд ва ҳосилшавии пайвастагиҳои интерметаллидӣ ё фазаҳои мобайнӣ аз эҳтимол дур нест.

Дар чадвали 1 арзишҳои сарҳадҳои концентратсияи якҷум (a_1) ва дуҷум (a_2) дар системаҳои дукомпонентаи Ag-Sn (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba ва Ra) оварда шудааст, ки бори аввал мумкин аст, ки барои аксарияти ин системаҳо ҳалшавандагии максималии элементҳо дар нуқра ҳангоми кристаллизатсия

муайян карда шавад, ки ин барои муносиб намудани амалии таркибҳои хӯла зарур аст.

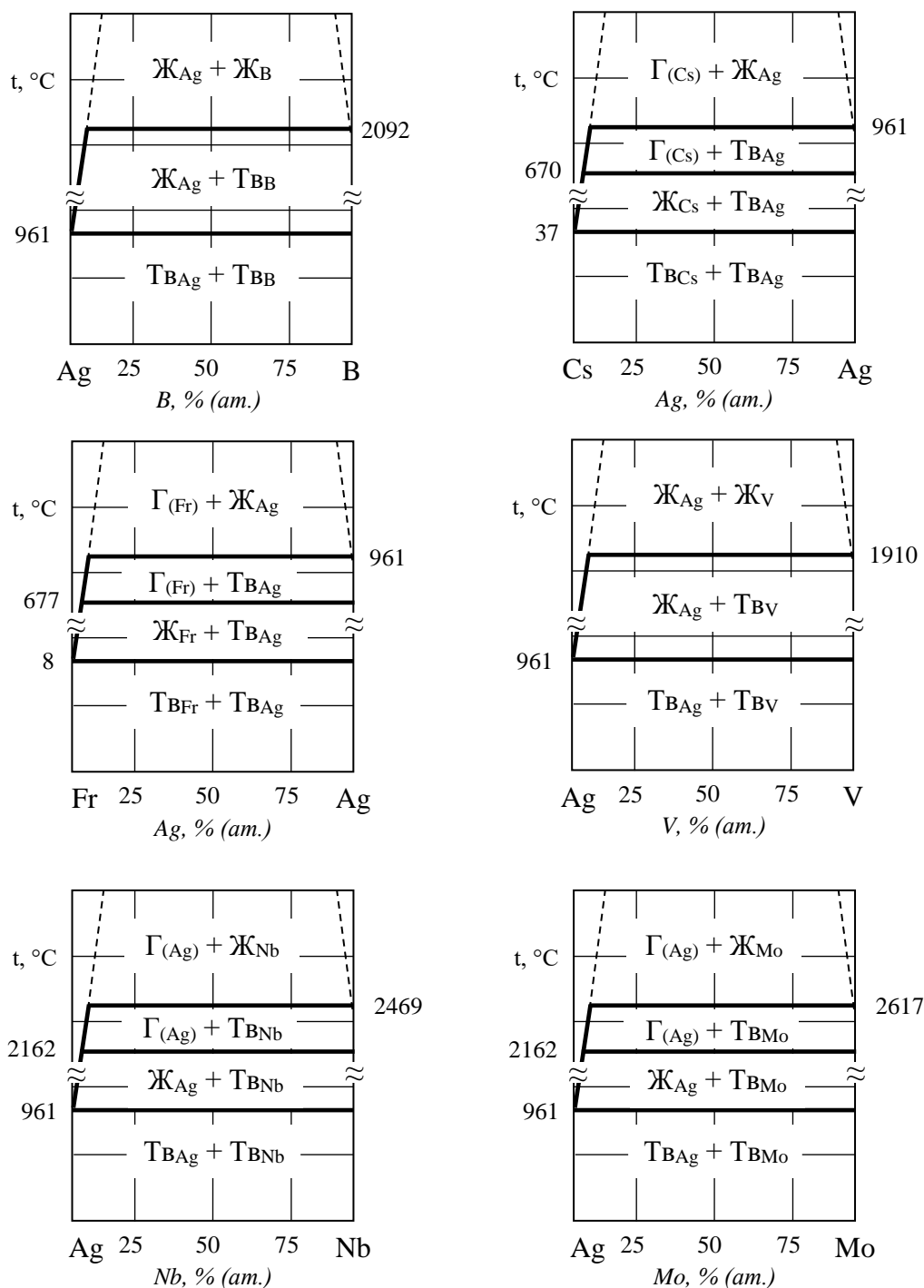
Дар чадвалҳои 2 ва 3 арзишҳои константаҳои боҳамтаъсири байнизарраҳо (Q_1 и Q_2) оварда шудааст, ки он имкон медиҳад муодилаҳо барои ҳисоб кардани коэффисиентҳои фаъл (f_i) ва фаълнокии термодинамикии компонентҳо (a_i), инчунин энергияи озоди Гиббс (ΔG) хӯлаҳои системаҳои нукра-халкоген, натиҷаҳои, ки мавҷудияти ҳудуди намуди монотектиро тасдиқ намояд (расми 3-а) боҳамтаъсир дар баробари ба вуҷуд омадани пайвастиҳои химиявӣ ва омехтаҳои механикӣ дар таркиби қаблан омӯхташудаи системаҳои Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se ва Ag-Te имкон медиҳад, ки бори аввал координатаҳои парокандашавии критикии маҳлули якҷинсагӣ ба ду фазаи гетерогенӣ муқаррар карда мешаванд (чадвали 2 ва расми б).



Расми 3 – Диаграммаҳои ҳолати намудҳои мувозинати фазавӣ ба қабатҳо ҷудошавӣ бо иштироки нукра: а,г – интиҳой ва б,в – намудҳои мобайнии ба қабатҳо ҷудошавӣ

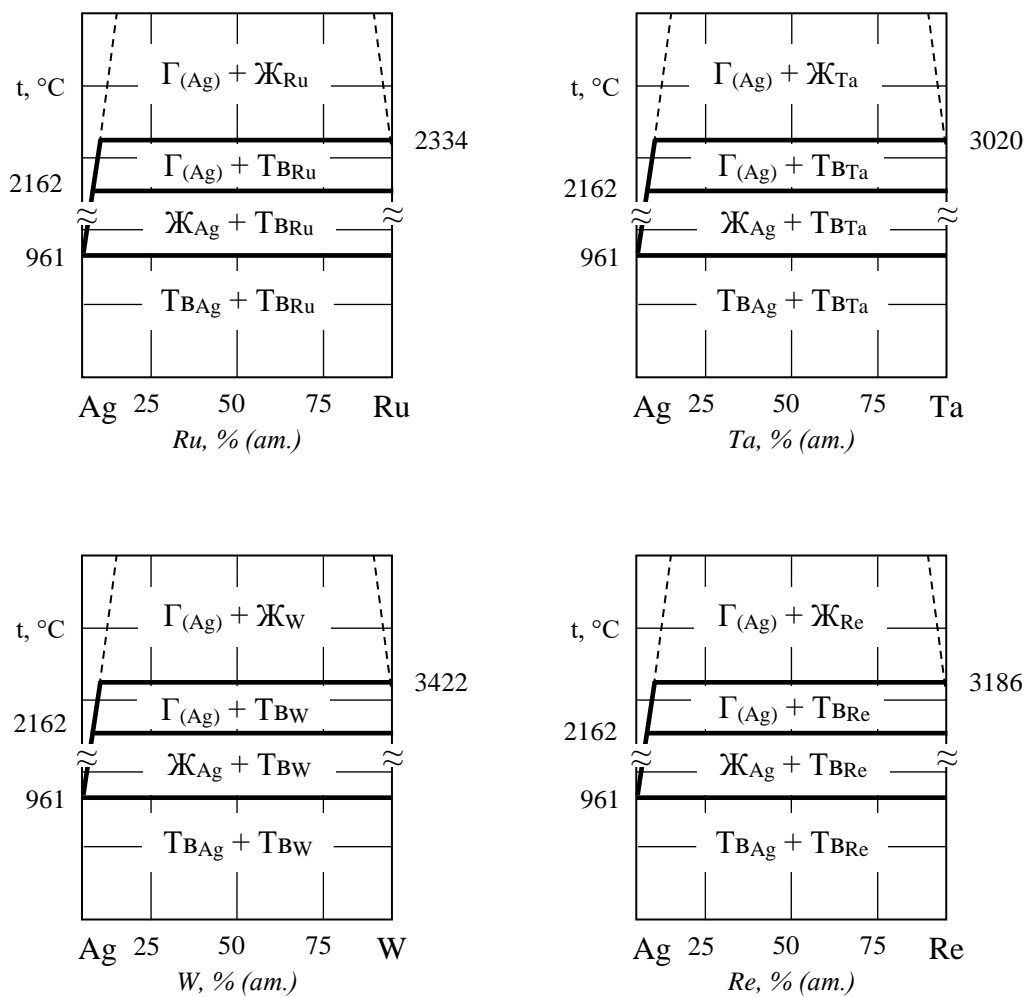
Аз расми 6 дидан мумкин аст, ки дар системаҳо радкунии ивазшавандаи асимметрии мушоҳида мешавад. Радкунии калони мусбӣ аз қонуни Раул барои ҳудудҳои, ки консентратсияи ҳарду компоненташон камаанд. Минтақаи вобастагии консентратсияи фаълнокии компонентҳо, ки дар он $a_i > 1$ аст, пайдоиши ҳалшавии маҳдуднокро дар ҳолати моеъ ва имкони ба ду фаза ба қабатҳо ҷудошавии маҳлуло нишон медиҳад. Нуқтаи буриши қабатҳои фаъл

концентрация маҳлуло, ки ба парокандашавии критикии маҳлули якҷинса мувофиқ буда, муайян мекунад.



Расми 4 – Диаграммаҳои ҳолати системаҳои дукомпонента Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb ва Ag-Mo

Қайд намудан зарур аст, ки натиҷаҳои дар боби сеюми рисола овардашударо барои коркарди илмии технологияи легиронӣ, тозакунӣ, модифитсиронӣ ва ҳосил намудани нуқра ва хӯлаҳо дар асоси он бо нишондиҳандаҳои ҳосиятҳои физикӣ, механикӣ, химиявӣ ва технологи тавсия намудан мумкин аст.



Расми 5 – Диаграммаҳои ҳолати системаи дукомпонента Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W и Ag-Re

Ҷадвали 1 – Натиҷаҳои ҳисоб кардани ҳалшавии максималии Ca, Sr, Ba, Ra, Eu, Yb, Si, Ge, Sn, Pb, Ge, Sn, Pb дар нукра дар ҳолати саҳт (x_1) ва моеъ (x_2) дар ҳарорати эвтектикӣ ($t_{эВ}$, °C)

Система	n_r , %	x_1 , ат.%		x_2 , ат.%		$t_{эВ}$, °C	
		Таҷриба	Ҳисоб	Таҷриба	Ҳисоб	Таҷриба	Ҳисоб
Ag-Sn	4.3	-	8.400	3.80	2.60	221	219
Ag-Ge	15.2	-	0.020	24.5	18.60	651	642
Ag-Pb	17.4	0.8	0.750	4.50	4.50	304	302
Ag-Si	18.7	-	0.015	10.0	2.40	848	837
Ag-Yb	25.5	2.00	3.95	13.0	19.8	685	678
Ag-Ca	27.4	-	3.56	14.0	19.5	655	681
Ag-Eu	27.8	0.02	2.73	12.5	12.5	712	670
Ag-Sr	32.8	-	1.94	10.8	18.0	747	675
Ag-Ba	33.4	-	1.49	16.5	17.7	726	678
Ag-Ra	38.5	-	1.46	-	17.8	-	678

Масалан, дар саноати муосир хӯлаи нуқра бо мис ва никели таркибҳои гуногун маълум аст, ки барои истеҳсоли асбобҳои тиббӣ, асбобҳои хӯроқворӣ ва механикаи дақиқ истифода мешавад. Аммо ба қор бурдани ин хӯлаи дорои таркибҳои маълум дар қори заргарӣ, ки аз сабаби талабот ба хунароҳои мардумӣ дар ҷумҳурии мо боз ҳам бештар инкишоф ёфтааст, хусусияти пасти механикӣ ва рехтагарӣ монеъ мешавад, ки техноло-гияи ҳосил намудани маснуоти тайёро дар ин соҳа душвор мегардонад.

Ҷадвали 2 – Натиҷаҳои ҳисоби константаҳои боҳамтаъсири байнизарраҳо ва координатаҳои парокандашавии критикӣ дар системаҳои Ag-S, Ag-Se ва Ag-Te

Система	T _м , К	Таркиби фаза, ҳиссаи ат.		Q ₁	Q ₂	x _{кр.} , ҳиссаи ат.	T _{кр.} , К
		x ₂ '	x ₂ ''				
Ag-S	1179	0.070	0.320	12852	-55616	0.1799	1365
Ag-Se	1163	0.120	0.300	16481	-38585	0.2031	1229
Ag ₂ Se-Se	889	0.170	0.930	16389	5999	0.6016	1223
Ag-Te	1166	0.090	0.310	14446	-47251	0.1889	1287

Ҷадвали 3 – Натиҷаҳои ҳисоби коэффитсентҳои фаъолияти термодинамикии компонентҳо дар системаҳои Ag-S, Ag-Se ва Ag-Te

Система	T _м , К	Q ₁	Q ₂	Муодила
		Ҷ/Г-ат.		
Ag-S	1179	12852	-55616	$\ln f_{Ag} = 6.98 (1 - x_{Ag})^2 - 11.35 (1 - x_{Ag})^2$ $\ln f_S = -10.04 (1 - x_S)^2 + 11.35 (1 - x_S)^2$
Ag-Se	1163	16481	-38585	$\ln f_{Ag} = 5.69 (1 - x_{Ag})^2 - 7.98 (1 - x_{Ag})^2$ $\ln f_{Se} = -6.28 (1 - x_{Se})^2 + 7.98 (1 - x_{Se})^2$
Ag ₂ Se-Se	889	16389	5999	$\ln f_{Ag} = -3.34 (1 - x_{Ag})^2 + 6.18 (1 - x_{Ag})^2$ $\ln f_{Se} = 5.94 (1 - x_{Se})^2 - 6.18 (1 - x_{Se})^2$
Ag-Te	1166	14446	-47251	$\ln f_{Ag} = 6.36 (1 - x_{Ag})^2 - 9.75 (1 - x_{Ag})^2$ $\ln f_{Te} = -8.26 (1 - x_{Te})^2 + 9.75 (1 - x_{Te})^2$

Вобаста ба ин боби чоруми қор ба омузиши таъсири руҳ ба нуқра ва хӯлаи системаҳои Ag-Cu-Ni баҳшида шудааст, бо мақсади қорқарди таркиби муносиби хӯлаи заргарӣ бо хосиятҳои физико-механикӣ ва технологӣ беҳтар дошта бошад.

Хангоми истихроҷи таркиби хӯлаҳои мобайнии системаҳои Ag-Ge-Tl, Cu-Ni-Zn ва муносиб намудани таркиби хӯлаҳои системаи Ag-Cu-Ni-Zn дар ҳудуди сернуқра, омӯзиши боҳамтаъсири компонентҳои хӯлаҳои ин системаҳо бо истифода аз усули таҳлилҳои микроструктурӣ ва дифференсиалии ҳароратӣ бо ченкунии моеъҷоришавӣ, сахтӣ, мустаҳкамӣ ва муқовимати барқии хос гузаронида шуд.

Барои тайёр намудани хӯлаҳо нуқраи тозагии 99.99%, мис – М1 99.99%, никел – Н1 99.99%, руҳ – Ц1 99.99%, кадмий – Кд0 99.99%, титан – ВТ1-0 99.9%, бор – Б1-0 99.99%, германий – Г1-0 99.99% ва таллий – Тл1-0 99.99% (бо масса), инчунин лигатураҳои истехсоли худамон Cu-30% Zn, Cu-10% Cd ва Cu-10% Ni истифода шудааст.

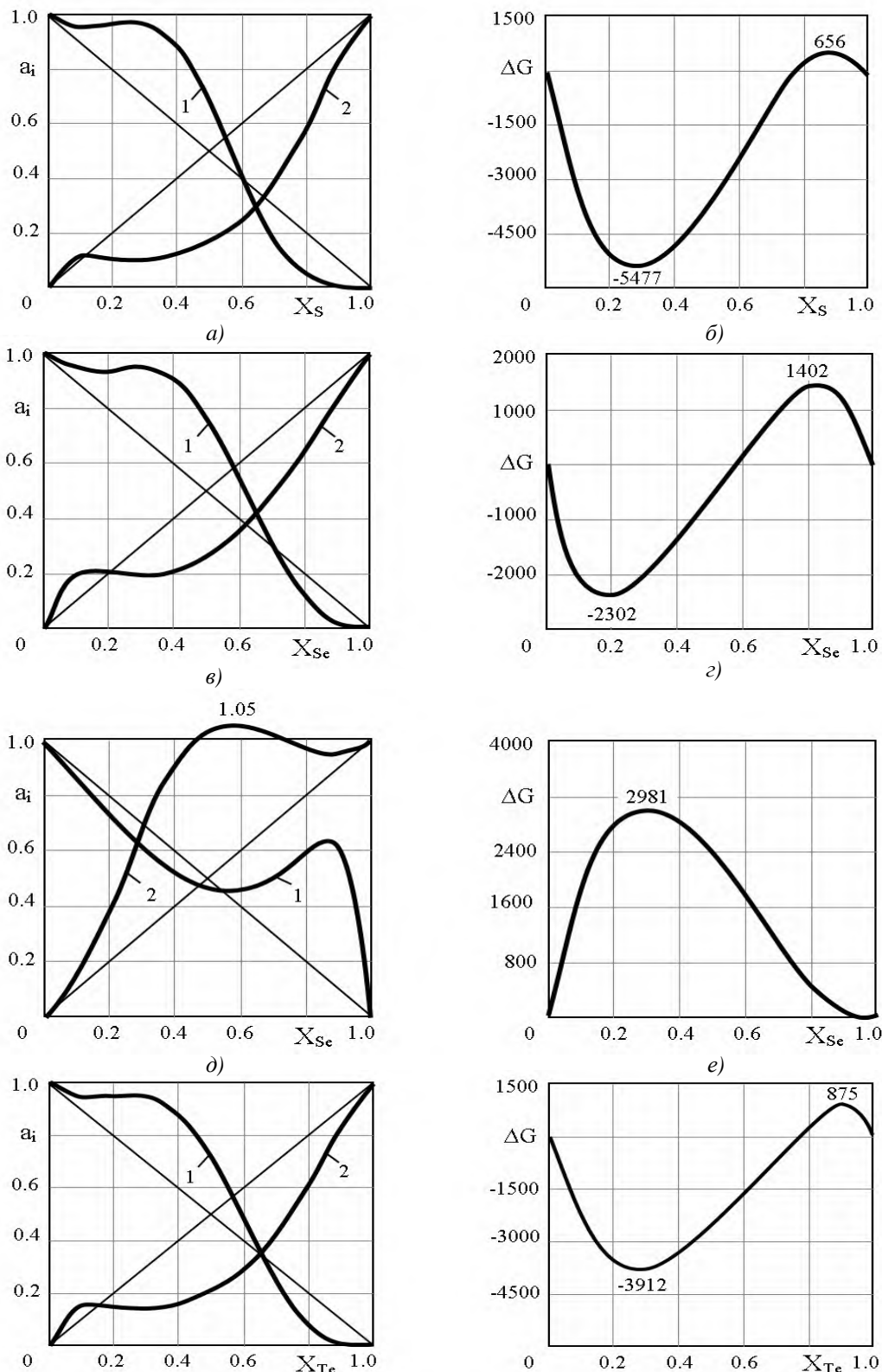
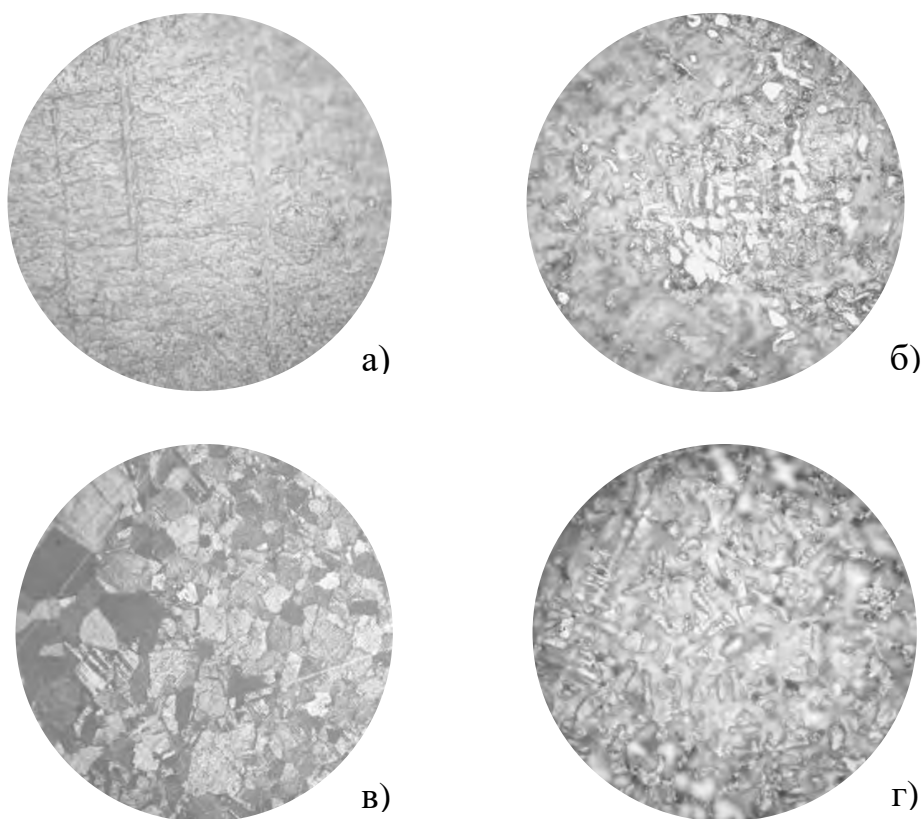


Рисунок 6 – Вобастагии фаъолнокии термодинамикӣ (a_i) ва энергияи озоди Гиббс (ΔG , Дж/г-ат.) дар системаҳои Ag(1)-халкогенҳо(2) аз консентратсияи (X) компоненти 2: Ag-S (а, б), Ag-Se (в, д), Ag_2Se -Se (д, е) ва Ag-Te (е, ж).

Истифодаи лигатураи "Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B"-и истехсоли худӣ мо барои тайёр намудани хӯлаи таҳқиқшуда имкон дод, ки ҳарорати раванди рехтагарӣ аз 1030 то 950-975°C паст карда шавад, ки ин боиси хеле паст шудани ҳарорати қолабҳои рехтагарӣ гардид, ки кам намудани ҳаҷми нишастии хӯла, вақти рехтани металлро дар қолаб кам намуда, барои кристаллизатсияи самти он шароит фароҳам овард.

Хусусияти микроструктураҳои хӯлаи системаи Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B, ки дар натиҷаи таҳлил ба даст оварда шудаанд (расми 7), хурдсаҳтшавии ҳуби онро пас аз илова намудани титан ва бор, ки боиси баланд шудани ҳосиятҳои физико-механикии он (ҷадвали 4) ва технологӣ (ҷадвали 5) нишон медиҳад.



Расми 7 – Микроструктураи нукра ва хӯлаҳо дар ҳолати рехташуда, $\times 200$:

- а) нукра (99.99% Ag) [лит.]; б) хӯлаи тамғаи CrM925 (92.5% Ag, 7.5% Cu);
 в) лигатура дар асоси мис (Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B); г) хӯла дар асоси нукра (Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B).

Дар кори мазкур моеъчоришавӣ аз натиҷаи рехтани се намуна дар ҳарорати 790°C ва аз ҳад зиёд гарм шудани гудохта ба 25°C дар ликвидус муайян карда шуд. Қимати бадастомада (ҷадвали 5) дарозии намунаҳои шакли спиралӣ дошта маъноӣ онро дорад, ки хӯлаи системаи Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B моеъчоришавии баланд дорад.

Муайян намуда шудааст, ки марҳилаи асосии ҳосилшавии структура дар хӯлаи бисёркомпонентаи системаи Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B маҳлули саҳти компонентҳои легиронии он мебошад. Ин таъсири мис, руҳ, никел ва кадмийро ба

баланд бардоштани хосиятҳои механикӣ ва технологияи нуқра мувофиқи қонуни Н.С. Курнаков мебошад.

Бо истифода аз усулҳои математикӣ барои ба нақша гирифтани таҷрибаҳои модели дараҷаи чорум барои омӯхтани системаи сечандаи Ag-Ge-Tl интихоб карда шуд, бо мақсади коркарди таркиби хӯлаҳои зудғудоз барои лаҳим намудани маснуоти нуқрадор пешбинӣ шудаанд. Дар асоси натиҷаҳои муайяншуда ҳарорати гудозиши хӯлаҳо коэффитсентҳои муодилаи регрессивӣ ҳисоб карда шуданд, ки ин имкон дод, ки на танҳо ҳарорати саршавии кристаллизатсияи хӯлаҳои ин системаро бидуни таҷрибаҳои иловагӣ пешгӯӣ намояд, балки ҳудуди хатҳо ва нуқтаҳои мувозинати фазаҳоро муайян намояд. Ин имкон дод, ки проексияи сатҳи ликвидуси системаи сечандаи Ag-Ge-Tl сохта шавад (расми 8), ки тасвири геометрии сатҳи ликвидусро хуб медеҳад. Дар он нуқтаҳои гудохташавии ҳама хӯлаҳои сечанда инъикос ёфтаанд. Нуқтаҳои гудохташавии хӯлаҳо, ки дар маркази секунҷаи концентратсия ҷойгиранд, аз рӯи маълумотҳои таҳлили ҳароратӣ муайян карда шуданд.

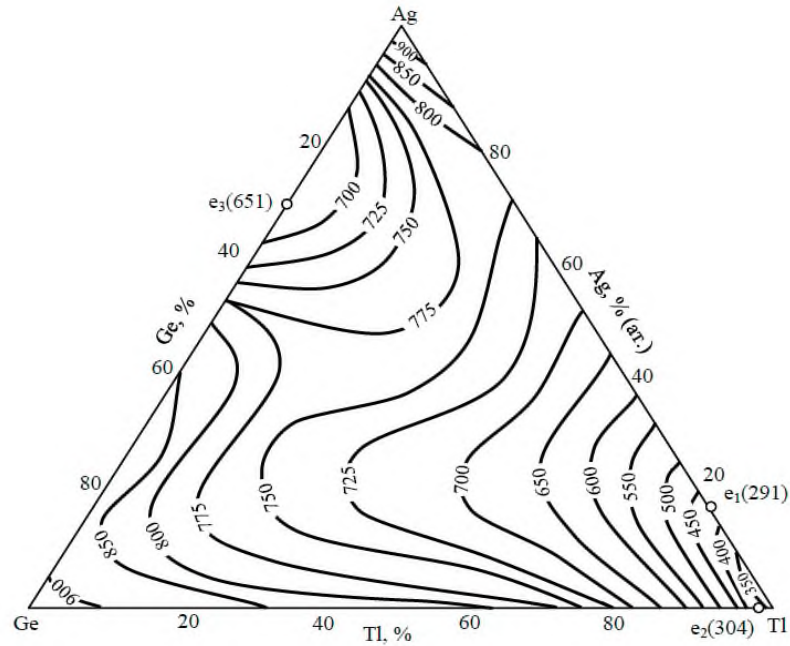
Ҷадвали 4 – Таъсири руҳ ба хосиятҳои механикӣ хӯлаи тамғаи CrMn (92.5% Ag + 7.0% Cu + 0.5% Ni)

№ р/т	Микдори Zn бо % (аз рӯи масса)	Саҳтӣ НВ, МПа	Мустаҳкамӣ ҳангоми кашиш σ_B , МПа	Дарозшавии нисбӣ δ , %
1.	-	72.5	652	25.0
2.	0.50	74.2	705.6	30.0
3.	1.00	78.4	706.5	35.0
4.	1.50	78.5	706.8	38.0
5.	2.00	78.5	706.5	37.0

Ҷадвали 5 – Натиҷаҳои муайян намудани моеъҷоришавӣ бо намунаи шакли спиралӣ дошта

Параметр	Дарозии намунаҳои шакли спиралӣ дошта, мм			
	намунаи 1	намунаи 2	намунаи 3	қимати миёна
моеъҷоришавӣ	508	513	515	512

Барои муайян намудани координатаҳои эвтектикаки сечанда, усули моделиронии компютерӣ барои сохтани фазои модели сечандаи T-x-y диаграммаи системаи сечандаи Ge-Ag-Tl (расми 9), ки дар модели 3D-и системаи реалӣ мувофиқи принципҳои асосии термодинамикаи геометрӣ (қоидаҳои фазаҳо ва фазаҳои ҳолати ҳамҳудуд).



Расми 8 – Проексияи сатҳи ликвидуси системаи сечандаи Ag-Ge-Tl

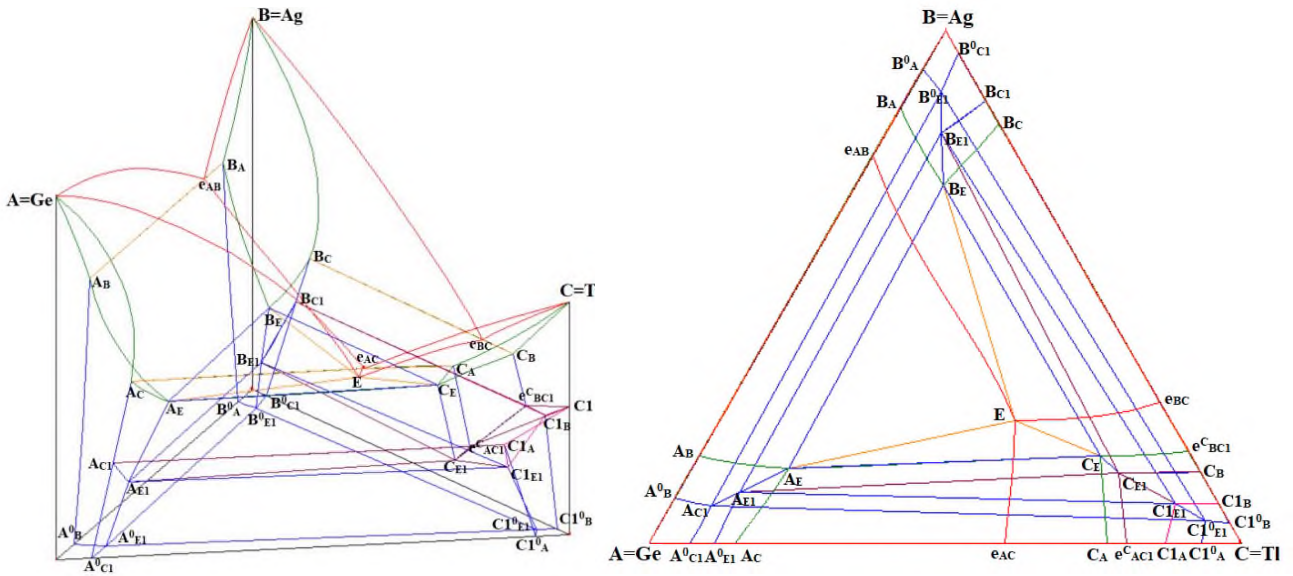


Рисунок 9 – Модели 3D прототиби диаграмми Ge-Ag-Tl (аз чап) ва проексияи он (аз рост)

Истифодабарии амалии натиҷаҳои моделсозии ҳосиятҳои системаи сечандаи Ge-Ag-Tl аз сарфа намудани ҳарҷот барои гузаронидани таҷрибаҳои воқеӣ ташкил ёфтааст, инчунин беҳтар гузаронидани таҷрибаҳои сифатнок мебошад.

Ҳамин тариқ, нуктаҳои бадастомадаи ҳулаҳои системаи Ag-Ge-Tl, ки дар байни он координатаи ҳулаҳои зудғудозро дидан мумкин аст (ҷадвали 6), барои коркарди таркибҳои пайваस्त барои лаҳим намудани маснуоти нуқрадор дар соҳаҳои гуногуни хоҷагии халқ истифода мебаранд.

Натиҷаҳои ТДХ нишон доданд, ки хатҳои хатҳои қачии хунуқшавӣ хӯлаи сечанда бо бавучудоии эвтектикаи дучанда ва сечанда, ки аз як қатор компонентҳои системаи Ag-Ge-Tl иборатанд, аз зухури се эффекти ҳарорати шаҳодат меდიҳанд: ҷудошавии кристаллҳои аввалия; ҷудошавии эвтектикаи ду ва сечанда. Дар ҳама хӯлаҳои сечанда, ки дар ҳарорати 230 ва 283°C кристаллизатсия мешаванд, эвтектикаи таркиби сечанда ба вучуд меояд. Табиати кристаллҳои аввалия ва эвтектикаи дуқарата аз ҳудуди диаграммае, ки дар он нуқтаи консентратсияи хӯла ҷойгир аст, вобаста аст. Хӯлаҳои мувофиқи нуқтаҳои E, B_E ва B_{E1} аз эвтектикаҳои сечанда иборат аст. Онҳо хӯлаҳои аз ҳама зудғудоз дар ин система мебошанд. Раванди кристаллизатсия дар ҳароратҳои 230 ва 283°C ҳангоми саҳтшавии ҳар се компонент дар як вақт оғоз меёбад.

Ҷадвали 6 – Координатаҳои нуқтаҳои базавӣ диаграммаҳои ҳолати Ge-Ag-Tl

№	Нуқта	z_1	z_2	z_3	T	№	Нуқта	z_1	z_2	z_3	T
1	A	1	0	0	938	19	C_{E1}	0	0	1	230
2	B	0	1	0	961	20	$C1$	0	0	1	230
3	C	0	0	1	304	21	A_{C1}	1	0	0	230
4	e_{AC}	0	0	1	304	22	$C1_A$	0	0	1	230
5	e_{BC}	0	0.025	0.975	291	23	B_{C1}	0	0.959	0.041	230
6	e_{AB}	0.245	0.755	0	651	24	$C1_B$	0	0	1	230
7	E	0.025	0.075	0.9	283	25	B_{E1}	0.025	0.952	0.023	230
8	A_B	1	0	0	651	26	A_{E1}	1	0	0	230
9	B_A	0.1	0.9	0	651	27	$C1_{E1}$	0	0	1	230
10	A_C	1	0	0	304	28	A^0_{E1}	1	0	0	0
11	C_A	0	0	1	304	29	B^0_{E1}	0	1	0	0
12	B_C	0	0.95	0.05	291	30	$C1^0_{E1}$	0	0	1	0
13	C_B	0	0	1	291	31	$C1^0_A$	0	0	1	0
14	A_E	1	0	0	283	32	$C1^0_B$	0	0	1	0
15	B_E	0.048	0.916	0.036	283	33	B^0_A	0	1	0	0
16	C_E	0	0.013	0.987	283	34	B^0_{C1}	0	1	0	0
17	e^C_{AC1}	0	0	1	230	35	A^0_B	1	0	0	0
18	e^C_{BC1}	0	0	1	230	36	A^0_{C1}	1	0	0	0

ХУЛОСАҲО

1. Муратгаб намудани навъҳои таъсири мутақобилаи нуқра бо 90 элементи ҚД гузаронида шуда, муайян карда шудааст, ки то ҳол ҳамагӣ 56 диаграммаи ҳолати системаҳои дучандаи нуқра-элементҳои ҚД сохта шудааст, ки 62%-ро ташкил медиҳад ва 38%-и онҳо то ҳол омӯхта ва сохта нашудаанд.

2. Намуди боҳамтаъсир дар системаҳои дучандаи нуқра, ки қаблан омӯхта нашуда ва ё кам омӯхта шудаанд, бо истифода аз меъёрҳои пешгӯии В.М. Воздвиженский, В.П. Гладишев, Л.С. Даркен, Р.В. Гурри, У. Юм-Розери, Б.Мотт, Л.К.Полинг, А.Р.Миедема, О.Кубашевский, И.Х.Гильдебранд ва дигарон муайян карда шудааст.

3. Бори аввал параметрҳои боҳамтаъсири (энергияи боҳам мутақобила, энергияи алоқаи зарраҳои ҳаммонанд, гуногун ва дараҷаи тартиби наздик) нуқра бо элементҳои ҚД-и Д.И. Менделеев ҳисоб карда шудааст, ки ин имкон дод барои ҳисоб ва бори аввал сохтани ДХ-и 11 системаҳои дучанда Ag-C, Ag-V, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W ва Ag-Re.

4. Бори аввал хосиятҳои термодинамикӣ (константаҳои боҳамтаъсири байнизарраҳо, фаъолнокӣ ва энергияи Гиббс) дар ҳарорати монотектикии пароканишӣ ҳӯлаҳои моеъи системаҳои Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te аз ДХ-и дучанда сохташудаи он ва координатаҳои парокандашавии критикии маҳлули гомогенӣ ба ду фазаҳои гетерогенӣ муайян карда шудааст.

5. Бори аввал ҳалшавии максималии элементҳо (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba ва Ra) дар нуқра ҳангоми кристаллизатсия муайян карда шудааст.

6. Бори аввал натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии боҳамтаъсири компонентҳо дар системаҳои бисёркомпонентаи Ag-Cu-Ni-Zn ва сечандаи Ag-Ge-Tl бо истифода аз усулҳои муносири таҳлили физико-химиявӣ ба даст оварда шудааст.

7. Муносиб намудани ҳӯлаи стандартӣ тамғаи CrM925 гузаронида шуд ва бори аввал таъсири якҷояи никел, руҳ, кадмий, титан ва бор ба хосиятҳои физикӣ, механикӣ ва технологияи нуқраи стандартӣ дар ҳӯлаҳои, ки бо миқдори то 5.3% мис, 1.7% руҳ, 0.4% никел, 0.02% титан 0.015% кадмий, 0.015% бор ва боқимонда нуқра дорад, инчунин дар асоси системаи Ag-Ge-Tl таркибҳои ҳӯлаҳои зудгудоз коркард шудааст, ки барои васл намудани қисмҳои маснуоти нуқрадор пешбинӣ шудааст.

8. Таркиби муносиб намудаи ҳӯлаи нуқра дар филиали ҚДММ Равшан «Зари тоҷик» (ш. Душанбе, ҚТ) татбиқ карда шуд, ки дар натиҷаи он аз рӯи нархҳои соли 2022 солона 449650.17 сомонӣ самараи иқтисодӣ ба даст оварда шуд.

Тавсияҳо барои истифодаи амалии натиҷаҳо:

Маҷмӯи тадқиқотҳои гузаронидашуда имкон дод, ки таркиби муносиб намудани ҳӯлаи нуқрадор [то % (бо масса): 5.3 Cu, 1.7 Zn, 0.4 Ni, 0.02 Ti, 0.015 Cd, 0.015 В ва боқимонда серебро] ва онро барои истеҳсоли саноат тавсия намудан мумкин аст, зеро он нисбат ба ҳӯлаҳои маълум як қатор бартариятҳо дорад, инчунин коркарди таркиби нави ҳӯлаҳо дар асоси системаи сечандаи Ag-Ge-Tl, ки ҳамчун ҳӯлаҳои зудгудоз барои васл намудани қисмҳои маснуоти нуқрадор тавсия дода мешавад.

НАТИҶАҶОИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ ДАР ИНТИШОРОТИ ЗЕРИН БАЁН ГАРДИДААСТ:

1. Мақолаҳое, ки дар маҷаллаҳои илмии тавсиянамудаи ҚОА-и назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашр шудаанд

[1-А]. Джураев, Т.Д. Термодинамическая оценка взаимодействия углерода с золотом, серебром, кадмием и цинком / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **Р.А. Нимоно**в, Б.М. Мирзоева, Ш.Б. Курбонов, С.С. Садыкова // Доклады АН РТ, 2019. – Т. 62. – № 1-2. – С. 567-570.

[2-А]. Джураев, Т.Д. Расчет термодинамических свойств сплавов системы Cu-Nb / Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев, **Р.А. Нимоно**в // Вестник педагогического университета, 2021. – № 1(10-11). – С.82-85.

[3-А]. **Нимоно**в, Р.А. Расчёт взаимной растворимости компонентов в жидком и твердом состояниях в системах серебра с некоторыми элементами (Sn, Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra) / **Р.А. Нимоно**в // Политехнический вестник ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2022. – №3(59). – С. 46-50.

[4-А]. **Нимоно**в, Р.А. Определение констант межчастичного взаимодействия, активности и свободной энергии Гиббса в системах Аг-халькогены (S, Se и Te) / **Р.А. Нимоно**в // Политехнический вестник ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2022. – №4(60). – С. 77-82.

Ҷоли мақолаҳо дар нашрияҳои дигар:

2. Мақолаҳои илмие, ки дар маводҳои конференсиҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашр шудаанд

[5-А]. Джураев, Т.Д. Систематизация видов взаимодействия серебра с некоторыми элементами периодической системы Д.И. Менделеева / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **Р.А. Нимоно**в, Ш.Б. Курбонов, М. Мустафои // Материалы республиканской научно-практической конференции «Проблемы горно-металлургической промышленности РТ и пути их решения». Душанбе: МИСиС, 2018. – С. 29-31.

[6-А]. Джураев, Т.Д. Анализ видов взаимодействия золота с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева / Т.Д. Джураев, Ф.К. Рахимов, Э.Р. Газизова, **Р.А. Нимоно**в, Б.М. Мирзоева // Материалы III научно-практической конференции аспирантов и студентов «Наука – основа инновационного развития». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2018. – С. 168-169.

[7-А]. Джураев, Т.Д. Систематизация видов взаимодействия серебра с некоторыми элементами периодической системы Д.И. Менделеева / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **Р.А. Нимоно**в, Ш.Б. Курбонов., М. Мустафои // Материалы III научно-практической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Наука – основа инновационного развития». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2018. – С. 179-181.

[8-А]. Джураев, Т.Д. Построение диаграмм фазового равновесия углерода с

золотом, серебром, кадмием и цинком / Т.Д. Джураев, К.Б. Нуров, **Р.А. Нионов**, Б.М. Мирзоева, Ш.Б. Курбонов, С.С. Садыкова // Материалы IV республиканской научно-практической конференции «Наука – основа инновационного развития». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2019. – С. 171-176.

[9-А]. **Нионов, Р.А.** Оценка параметров и видов взаимодействия меди с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева / **Р.А. Нионов**, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров, Т.Д. Джураев // Материалы республиканской научно-практической конференции «Повышение информированности об использовании водных ресурсов – важная и актуальная проблема современного мира». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2021. – С. 407-411.

[10-А]. Тошев, М.Т. Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграммы фазового равновесия в системе меди с рубидием / М.Т. Тошев, **Р.А. Нионов**, Т.Д. Джураев // Материалы республиканской научно-практической конференции «Повышение информированности об использовании водных ресурсов – важная и актуальная проблема современного мира». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2021. – С. 411-414.

[11-А]. **Нионов, Р.А.** Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграммы фазового равновесия в системе меди с калием / **Р.А. Нионов**, М.Т. Тошев, Т.Д. Джураев // Материалы республиканской научно-практической конференции «Основные вопросы комплексной переработки хлопка в Республике Таджикистан». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2021. – С.147-149.

[12-А]. Тошев, М.Т. Прогноз типа взаимодействия и расчёт диаграммы фазового равновесия в системе меди с францием / М.Т. Тошев, **Р.А. Нионов**, Т.Д. Джураев // Материалы республиканской научно-практической конференции «Основные вопросы комплексной переработки хлопка в Республике Таджикистан». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2021. – С.150-153.

[13-А]. **Нионов, Р.А.** Виды взаимодействия серебра с элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева / **Р.А. Нионов**, Т.Д. Джураев, М.Т. Тошев // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2021. – С. 108-112.

[14-А]. Джураев, Т.Д. Термодинамические свойства сплавов серебра с халькогенами (S, Se и Te) / Т.Д. Джураев, **Р.А. Нионов**, М.Т. Тошев, К.Б. Нуров // Материалы международной научно-практической конференции «Современные проблемы металлургической промышленности». Душанбе: ТТУ им. акад. М.С.Осими, 2021. – С. 112-118.

Ихтироот аз рӯи мавзӯи диссертатсия:

[15-А]. **Нионов, Р.А.** Малый патент Республики Таджикистан № ТТ 1265, от 20.05.2022 г. Сплав на основе серебра / **Р.А. Нионов**, Т.Д. Джураев, Ф.К. Рахимов, М.Т. Тошев и др.

ШАРҲИ МУХТАСАР

ба рисолаи номзоди Нимонов Ривож Амирович дар мавзӯи:

«Асосҳои физико-химиявии муносиб намудани хӯлаҳо дар асоси нукра» барои дарёфти дараҷаи илмӣ номзоди илмҳои техникӣ ах рӯи ихтисоси
05.16.02 - Металлургияи металлҳои сиёҳ, ранга ва нодир

Калимаҳои калидӣ: нукра ва хӯлаҳои он, муносиб намудани хӯлаҳо, боҳамтаъсири компонентҳо, диаграммаи ҳолат, тавсифи термодинамикӣ, физико-механический ва технологӣ, системаҳои ду, се ва чоркомпонента.

Объекти таҳқиқот диаграммаҳои ҳолати (ДХ) дучанда ва сечандаи системаҳои нукра-элементҳои чадвали даврии Д.И. Менделеев (ЧД), таркибҳои нави хӯлаҳои рехтагарӣ ва лаҳим дар асоси нукра ва технологияи истеҳсоли он мебошад.

Мақсади кор коркарди маҷмӯи қарорҳои илмӣ-техникӣ буд, ки ба муносиб намудани таркиби хӯлаи стандартӣ тамғаи CrM925 ва коркарди таркиби хӯлаи лаҳим барои истифодабарӣ дар қори заргарӣ пешбини шудааст.

Усулҳои таҳқиқот: усулҳои моделсозии компютерӣ ва рақамикунонӣ дар модели 3D системаи воқеӣ дар қор истифода шудаанд; усули коркарди муносиби таркибҳои хӯлаи банақшагирии симплексии таҷрибаҳо; таҳлили флуоресцентии рентгенӣ; таҳлили микроскопӣ; таҳлили ҳароратии дифференсиалӣ; усули чен намудани муқовимати барқии хос, мустаҳкамӣ дар ёзандагӣ, сахтӣ ва моеъчоришавӣ.

Натиҷаҳои бадастомада ва навигарӣҳои он: параметрҳои боҳамтаъсири (энергияи боҳам мубодила, энергияи алоқаи зарраҳои ҳаммонанд, гуногун ва дараҷаи тартиби наздик) нукра бо элементҳои ЧД-и Д.И. Менделеев бори аввал ҳисоб карда шудааст; ДХ-и пурра барои 11 системаи дучандаи Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re бори аввал ҳисоб ва сохта шудааст; хосиятҳои термодинамикии (константаҳои боҳамтаъсири байнизарраҳо, фаъолнокӣ ва энергияи Гиббс) хӯлаҳои системаҳои Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te аз ДХ-и дучанда сохташуда ва координатаҳои парокандашавии критикии маҳлули якхела ба ду марҳилаи гетерогенӣ муайян карда шудааст; ҳалшавии максималии элементҳо (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba ва Ra) дар нукра ҳангоми кристаллизатсия бори аввал муайян карда шудааст; натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавии таъсири мутақобилаи компонентҳо дар системаҳои сечандаи Ag-Ge-Tl ва бисёркомпонентаи Ag-Cu-Ni-Zn бори аввал ба даст оварда шудааст; муносиб намудани хӯлаи стандартӣ тамғаи CrM925 гузаронида шуд ва бори аввал таъсири яқҷояи Ni, Zn, Cd, Ti ва В ба хосиятҳои физико-механикӣ ва технологияи стандарти Ag дар хӯлаҳои, ки то 5.3% Cu, 1.7% Zn, 0.4% Ni, 0.02% Ti, 0.015% Cd, 0.015% В ва боқимонда Ag дорад муайян карда шудааст.

Дараҷаи истифодабарӣ: ДХ-и сохташуда ва арзишҳои ҳисобшудаи хусусиятҳои термодинамикии хӯлаҳои Ag барои кам намудани хароҷоти моддӣ ба таҷрибаҳо ва баланд бардоштани самаранокии иқтисодии равандҳо ҳангоми коркарди технологияи тозакунии ба қабатҳо ҷудошавӣ ва синтези хӯлаҳо кӯмак мекунанд, инчунин бонки истинодҳои адабиётро бо маълумоти нав пурра мекунанд. Коркарди таркибҳои муносиби хӯлаҳо ба иштироки Ag барои саноати заргарӣ, барои истифода дар рехтагарии бадеӣ, электротехника ва асбобсозӣ тавсия қардан мумкин аст. Дар асоси озмоишҳои таҷрибавӣ, ки дар филиали ЧДММ Равшан «Зари тоҷик» (ш. Душанбе, ҚТ) гузаронида шуд, барои татбиқ намудани хӯлаи нукрагии дорои Cu, Ni, Zn ва Cd қабул карда шуд, ки як қатор бартарҳои дорад (масалан, нишондодҳои баланди сахтӣ, мустаҳкамӣ, моеъчоришавӣ, қолабпуркунӣ ва устувории ранг) дар муқоиса бо хӯлаи маъруфи тамғаи CrM925. Натиҷаҳои умумии қор татбиқ карда мешаванд ва метавонанд дар таҳқиқоти илмӣ ва раванди таълим дар ДТТ ба номи акад. М Осимӣ, Донишгоҳи миллии Тоҷикистон ва дигар донишгоҳҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон истифода шаванд.

Соҳаи истифодабарӣ: металлургия, электротехника, истеҳсолоти рехтагарӣ ва заргарӣ, металлшиносӣ ва ғайраҳо.

АННОТАЦИЯ

диссертации Нимонова Ривожа Амировича на тему:

«Физико-химические основы оптимизации сплавов на основе серебра», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов

Ключевые слова: серебро и его сплавы, оптимизация составов, взаимодействие компонентов, диаграммы состояния, термодинамические, физико-механические и технологические характеристики, двух-, трех- и четырехкомпонентные системы.

Объектом исследования являются двойные и тройные диаграммы состояния (ДС) систем серебро-элементы периодической таблицы Д.И. Менделеева (ПТ), новые составы литейных и припойных сплавов на основе серебра и технологии их получения.

Целью работы явилась разработка комплекса научно-технологических решений, направленных на оптимизацию состава стандартного сплава марки СpМ925 и разработку состава припойного сплава, для применения в ювелирном деле.

Методы исследования: в работе использованы методы компьютерного моделирования и цифровизации в 3D модели реальной системы; метод оптимальной разработки составов сплавов путем симплексного планирования экспериментов; рентгеновский флуоресцентный анализ; микроскопический анализ; дифференциально-термический анализ; метод измерения удельного электросопротивления, прочности на растяжение, твердости и жидкотекучести.

Полученные результаты и их новизна: впервые рассчитаны параметры взаимодействия (энергия взаимодействия, энергия связи одноимённых, разноимённых частиц и степень ближнего порядка) серебра с элементами ПТ; впервые рассчитаны и построены полные ДС для 11 двойных систем Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re; впервые определены термодинамические свойства (константы межчастичного взаимодействия, активность и энергия Гиббса) сплавов систем Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te из их построенных двойных ДС и установлены в них координаты критического распада гомогенного раствора на две гетерогенные фазы; впервые определена максимальная растворимость элементов (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra) в серебре при кристаллизации; впервые получены результаты экспериментального исследования взаимодействия компонентов в тройной Ag-Ge-Tl и многокомпонентной Ag-Cu-Ni-Zn системах; произведена оптимизация стандартного сплава марки СpМ925 и впервые установлено совместное влияние Ni, Zn, Cd, Ti и В на физико-механические и технологические свойства стандартного Ag в сплавах с содержанием до 5.3% Cu, 1.7% Zn, 0.4% Ni, 0.02% Ti, 0.015% Cd, 0.015% В и остальное Ag.

Степень использования: построенные ДС и полученные расчётом значения термодинамических характеристик сплавов Ag способствуют снижению материальных затрат на эксперименты и повышают экономическую эффективность процессов при разработке технологии литейного рафинирования и синтеза сплавов, а также дополняют банк справочной литературы новыми данными. Разработанные оптимальные составы сплавов с участием Ag могут быть рекомендованы для ювелирной промышленности, для применения в художественном литье, электротехнике и приборостроении. На основании проведенных опытно-промышленных испытаний в филиале ООО Равшан «Зари тольик» (г. Душанбе, РТ) принят к внедрению серебряный сплав, содержащий Cu, Ni, Zn и Cd, который имеет ряд преимуществ (например, высокие показатели твердости, прочности, жидкотекучести, формозаполняемости и устойчивость в цвете) по сравнению с известным сплавом марки СpМ925. Общие результаты работы применяются и могут быть использованы в научных исследованиях и в учебном процессе в ТГУ им. акад. М. Осими, Таджикском национальном университете и других вузах РТ.

Область применения: металлургия, электротехника, ювелирное и литейное производство, металловедение и др.

ANNOTATION

**dissertation of Nimonov Rivozh Amirovich on the topic:
"Physical and chemical bases of optimization of silver-based alloys", submitted for the
degree of candidate of technical sciences in the specialty
05.16.02 - Metallurgy of ferrous, non-ferrous and rare metals**

Key words: silver and its alloys, optimization of compositions, interaction of components, state diagrams, thermodynamic, physical-mechanical and technological characteristics, two-, three- and four-component systems.

The object of the study is the double and ternary state diagrams (DS) of the silver-element systems of D.I. Mendeleev (PT), new compositions of silver-based casting and solder alloys and technologies for their production.

The aim of the work was to develop a set of scientific and technological solutions aimed at optimizing the composition of a standard alloy of the SrM925 brand and developing the composition of a solder alloy for use in jewelry.

Research methods: the methods of computer modeling and digitalization in a 3D model of a real system were used in the work; method of optimal development of alloy compositions by simplex planning of experiments; x-ray fluorescence analysis; microscopic analysis; differential thermal analysis; method for measuring electrical resistivity, tensile strength, hardness and fluidity.

The results obtained and their novelty: for the first time, the parameters of interaction (interchange energy, binding energy of like and different particles and the degree of short-range order) of silver with PT elements were calculated; for the first time, complete DSs were calculated and built for 11 binary systems Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re; for the first time, the thermodynamic properties (interparticle interaction constants, activity and Gibbs energy) of alloys of the Ag-S, Ag-Se, Ag₂Se-Se, Ag-Te systems from their constructed double DSs were determined and the coordinates of the critical decomposition of a homogeneous solution into two heterogeneous phases were established in them; the maximum solubility of elements (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba and Ra) in silver during crystallization was determined for the first time; the results of an experimental study of the interaction of components in ternary Ag-Ge-Tl and multicomponent Ag-Cu-Ni-Zn systems were obtained for the first time; the optimization of the standard alloy of the CpM925 grade was carried out and for the first time the combined effect of Ni, Zn, Cd, Ti and B on the physical, mechanical and technological properties of standard Ag in alloys containing up to 5.3% Cu, 1.7% Zn, 0.4% Ni, 0.02% Ti, 0.015% Cd, 0.015% B and the rest Ag.

Degree of use: the constructed DS and the values of the thermodynamic characteristics of Ag alloys obtained by calculation help to reduce material costs for experiments and increase the economic efficiency of processes in the development of technology for segregation refining and alloy synthesis, and also supplement the bank of reference literature with new data. The developed optimal compositions of alloys with the participation of Ag can be recommended for the jewelry industry, for use in art casting, electrical engineering and instrument making. On the basis of the pilot tests carried out in the branch of LLC Ravshan "Zari tojik" (Dushanbe, RT), a silver alloy containing Cu, Ni, Zn and Cd was adopted for implementation, which has a number of advantages (for example, high hardness, strength, fluidity, form fillability and stability in color) in comparison with the well-known alloy of the SrM925 brand. The general results of the work are applied and can be used in scientific research and in the educational process at TTU. acad. M. Osimi, Tajik National University and other universities of the Republic of Tatarstan.

Scope: metallurgy, electrical engineering, jewelry and foundry production, metallurgy, etc.

