

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ
ИЛМИЙ КЕНГАШ**

**АКАДЕМИК Б. ҒОФУРОВ НОМЛИ ХЎЖАНД ДАВЛАТ
УНИВЕРСИТЕТИ, И.КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ
ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

ШАРИПОВ ДЖАМШЕД ХАКИМОВИЧ

**ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ ВА ТАЛЛИЙ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН $Zn_{22}Al$
ҚОТИШМАСИНИНГ АНОД ХОССАСИ ВА ОКСИДЛАНИШИ,
УЛАРНИНГ ХОССАЛАРИНИНГ ЎЗГАРИШИНИ
МОДЕЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймакорлик. Металларга термик
ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси.
Камёб, нодир ва радиоактив элементлар технологияси (қуймачилик ва металларга
ишлов бериш технологияси йўналиши)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Тошкент – 2024

**Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD)
диссертацияси автореферати мундарижаси**

**Оглавление автореферата диссертации
доктора философии по технических наук(PhD)**

**Contents of dissertation abstract of doctor
of philosophy (PhD)**

Шарипов Джамшед Хакимович

Галлий, индий ва таллий билан легирланган Zn22Al қотишмасининг анод хоссаси ва оксидланиши, уларнинг хоссаларининг ўзгаришини моделлаштириш.....3

Шарипов Джамшед Хакимович

Анодное поведение и окисление сплава Zn22Al, легированного галлием, индием и таллием, моделирование изменения их свойств.....23

Sharipov Djamshed Hakimovich

Anodic behavior and oxidation of Zn22Al alloy doped with gallium, indium and thallium, modeling changes in their properties.....42

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ

List of published works.....46

**ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ
ИЛМий ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ DSc.03/30.12.2019.Т.03.04 РАҚАМЛИ
ИЛМий КЕНГАШ**

**АКАДЕМИК Б. ҒОФУРОВ НОМЛИ ХЎЖАНД ДАВЛАТ
УНИВЕРСИТЕТИ, И.КАРИМОВ НОМИДАГИ ТОШКЕНТ ДАВЛАТ
ТЕХНИКА УНИВЕРСИТЕТИ**

ШАРИПОВ ДЖАМШЕД ХАКИМОВИЧ

**ГАЛЛИЙ, ИНДИЙ ВА ТАЛЛИЙ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН $Zn_{22}Al$
ҚОТИШМАСИНИНГ АНОД ХОССАСИ ВА ОКСИДЛАНИШИ,
УЛАРНИНГ ХОССАЛАРИНИНГ ЎЗГАРИШИНИ
МОДЕЛЛАШТИРИШ**

**05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймакорлик. Металларга термик
ва босим остида ишлов бериш. Қора, рангли ва ноёб металлар металлургияси.
Камёб, нодир ва радиоактив элементлар технологияси (қуймачилик ва металларга
ишлов бериш технологияси йўналиши)**

**ТЕХНИКА ФАНЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ**

Техника фанлари бўйича фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги олий аттестация комиссиясида _____ рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Академик Б. Ғофуров номли Хўжанд давлат университети, Тошкент давлат техника университетига бажарилган.

Диссертация автореферати уч тилда (ўзбек, рус, инглиз (резюме)) Илмий кенгаш веб-саҳифасида (www.tdtu.uz) ва «ZiyoNet» Ахборот таълим порталида (www.ziyounet.uz) жойлаштирилган.

Илмий раҳбар:

Обидов Зиедулло Рахматович

кимё фанлари доктори, профессор

Тураходжаев Нодир Джахонгирович

техника фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Дуняшин Николай Сергеевич

техника фанлари доктори, профессор

Худояров Сулейман Рашидович

техника фанлари номзоди, доцент

Етакчи ташкилот:

Андижон машинасозлик институти

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.T.03.04 рақамли илмий кенгаш 2024 йил «30» ноябр соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент шаҳар, Олмазор тумани, Университет кўчаси 2-уй. Тел/факс.: (99871)277-10-32, e-mail: tadqiqotch@tdtu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университетининг Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (405 рақам билан рўйхатга олинган). (Манзил: 100095, Тошкент шаҳар, Олмазор тумани, Университет кўчаси 2-уй. Тел/факс.: (99871)277-10-32).

Диссертация автореферати 2024 йил «18» ноябрда тарқатилди.
(2024 йил «18» ноябрдаги 181 рақамли реестр баённомаси).

К.А. Каримов

Илмий даражалар берувчи

илмий кенгаш раиси

техника фанлари доктори, профессор

Ш.Б.Ташбўлатов

Илмий даражалар берувчи

илмий кенгаш котиби техника фанлари бўйича

фалсафа доктори, доцент

Н.С.Дуняшин

Илмий кенгаш ҳузуридаги илмий

даражалар берувчи илмий семинар раиси,

техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясига автореферат)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жахонда металлнинг оксидланиши натижасида ресурс йўқотишларини бартараф этиш учун самарали технологияларни ишлаб чиқишга алоҳида аҳамият берилмоқда. Бу борада бугунги кунда алюминий қотишмаларини печ ичида суюқлантиришда алюминийнинг кислород билан катта мустаҳкам боғлиқлиги сабабли куйиш орқали йўқотишларини камайтириш борасида олиб борилаётган илмий изланишлар долзарб масала бўлиб қолмоқда. Шунинг учун дунёнинг етакчи давлатлари, жумладан АҚШ, Англия, Германия, Канада, Хитой, Россия каби давлатларнинг илмий марказларида машинасозлик деталларини алюминий қотишмаларидан ишлаб чиқишда ресурстежамкор технологияларни ишлаб чиқиш ва бу қотишмаларни коррозиядан ҳимоялаш воситаларини ишлаб чиқиш муҳим аҳмият касб этмоқда.

МДХ давлатларида, жумладан Россия, Украина ва Қозоғистонда гальфан I, гальфан II, гальвалюм савдо маркалари остидаги рух-алюминий асосидаги саноат қотишмаларини учинчи элементлар билан легирлаш йўли билан уларнинг мустаҳкамлигини ошириш бўйича илмий тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Бу йўналишда рух-алюминий қотишмаларини камёб металллар - галлий, индий ва таллий билан легирлашда оптимал таркибни аниқлаш, легирлаш режимларининг оптимал параметрларини ишлаб чиқиш, легирланган қотишманинг коррозия бардошлилигини таъминлашда энергиясамарадорликни ошириш масалаларига алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Ўзбекистон Республикаси ва Тожикистон Республикасида куйиш услуги билан машиналар ва ускуналарнинг деталларини тайёрлаш учун рух-алюминий қотишмаларини қўллаш ҳисобига ресурстежамкор технологияларни ишлаб чиқиш бўйича илмий тадқиқотларга катта эътибор қаратилмоқда. Бу йўналишда алюминий ва литий асосидаги қоплама флюслар таркиби яратилган, алюминий-тантал наноструктураларнинг юзасини мустаҳкамлаш технологиялари ишлаб чиқилган, алюминий қотишмаларини олдиндан шихтани қиздириш билан газ печларида эритиш ва кейинчалик суюқликли ваннада эритиш бўйича қўшма технологиялар яратилган.

Мазкур диссертация иши муайян даражада Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60 "2022-2026 йилларда янги Ўзбекистонни янада ривожлантириш Стратегияси тўғрисида" Фармони, 2018 йил 27 апрелдаги ПФ-3682 "Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий амалга ошириш тизимини янада такомиллаштириш бўйича чоралар тўғрисида" Фармони, 2021 йил 24 декабрдаги ПФ-5159 "Қончилик ва металлургия саноатини ривожлантириш бўйича қўшимча чоралар тўғрисида" Фармони, Тожикистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 ноябрдаги №GR0102TD923 "Тожикистон Республикасининг 2015-2020 йилларда фан ва технологиялар соҳасида Стратегияси тўғрисида"

Фармони ва ушбу соҳада қабул қилинган бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда кўрсатилган вазифаларни бажаришга хизмат қилади.

Тадқиқотнинг республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Республика фан ва технологиялар ривожланишининг II. «Энергетика, энергия ва ресурстежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммони ўрганганлик даражаси. Дунёнинг етакчи олимлари томонидан рух-алюминий қотишмаларини эритиш ва легирлаш соҳасида янги технологияларни яратиш ва мавжуд технологияларни такомиллаштириш, турли қотишмаларни эритишда фойдаланиладиган ажратувчи элементларнинг таркибини ишлаб чиқиш бўйича бир қатор тадқиқотлар олиб борилмоқда.

Қуйиш саноатида ҳозирги кунда қуйиш жараёнларини математик моделлаштириш кенг қўлланилмоқда, унинг ёрдамида буюмни тайёрлаш технологиясининг самарадорлигини таҳлил қилиш ва қуймаларнинг синов партияларини тайёрлашга қўшимча харажат қилмасдан уни виртуал кенгликда оптималлаштириш амалга оширилади. Бу қуймаларни ишлаб чиқаришга тайёргарлик кўриш харажатларини ҳам, ишлаб чиқаришнинг ўзининг харажатларини ҳам камайтириш имконини берувчи қуйиш технологиясини ишлаб чиқишнинг энг амалий ва энг ишончли усулидир. Бунда қуювчи-технологларнинг олдида турган масалаларни ҳал қилиш учун мўлжалланган ўндан ошиқ дастурий маҳсулотлар мавжуд. Уларнинг ҳар бири ўзининг плюслари ва минусларига эга ва у ёки бу ишлаб чиқаришнинг эҳтиёжларини турлича даражада қаноатлантириши мумкин.

Машинасозлик деталларини ишлаб чиқаришда рух-алюминий қотишмаларининг оптимал таркибини ишлаб чиқиш, қотишмага галлий, индий ва таллий каби камёб металллар билан ишлов бериш легирлайдиган элементларнинг саноат қотишмасининг хусусиятларига таъсир даражасини тадқиқ қилиш – бу сферадаги муҳим йўналишлар бўлиб ҳисобланади. Шу билан биргаликда қуйиш услуги билан олинган рух-алюминий қотишмаларини легирлаш жараёнида металлнинг ҳароратининг таъсирини аниқлаш, иссиқлик алмашиниш жараёнида энергиясамарадорликни таъминлайдиган технологияни ишлаб чиқиш, легирлаш жараёнида элементларнинг қуйишини камайтирадиган режимларни ишлаб чиқиш бугунги куннинг долзарб вазифаларидан бири бўлиб турибди.

Рух қопламаларнинг тузларнинг нейтрал эритмаларида пўлатни денгиз, атмосфера ва ерости коррозиясидан ҳимоялашдаги роли жуда улкан. Бироқ рухнинг танқислиги, шунингдек атроф-муҳитнинг ифлосланиши туфайли рухнинг коррозияланиш тезлигининг ортиши Zn-Al қопламаларни алмаштиришга бўлган қизиқишни чақирган. Бундай қопламалардан фойдаланилганда Zn нинг каттагина тежалиши, Al нинг пастроқ зичлиги, шунингдек турли шароитларда уларнинг коррозияга кўпроқ юқори барқарорлиги қайноқ Zn-Al қопламали пўлат листни олишнинг саноат техноогияси ишлаб чиқилишига олиб келган [1-23]. Бу қопламаларни қўллашнинг бошқа соҳаси - сув ва иссиқлик таъминоти тизимларида фойдаланиладиган пўлат қувурларни ҳимоялаш ҳам истиқболли бўлиб

ҳисобланади. Бундан ташқари, у иссиқ сув ва совуқ сув таъминоти шароитларида қувур пўлатини икки томондан самарали анод қоплаш учун хизмат қилиши мумкин. Иссиқ сувнинг таъсири натижасида асосан Zn билан бойитилган фаза етарлича тез коррозияланади, бу вақт ўтиши билан қопламанинг бардошлилиги тўлиқ Al билан бойитилган фазанинг ҳимоялаш хусусиятлари билан белгиланадиган шароитларга олиб келади. Бу фазанинг коррозион бардошлилиги Zn нинг ёки Zn билан бойитилган фазанинг бардошлилигига қараганда бир неча марта юқори. Шу сабабли алюминий миқдорини унинг типлашган “гальфан” қотишмасидаги миқдорига қараганда ошириш мақсадга мувофиқ бўлади. Бироқ Zn-Al қотишмаларида Al нинг оптимал миқдори тўғрисидаги масала очиқлигича қолмоқда.

Шундай қилиб, машинасозликда деталлар, буюмлар ва конструкцияларнинг хизмат қилиш муддатини ошириш масалаларини ҳал қилишда қотишмалардан ишланган коррозияга бардошли ҳимоя қопламалари муҳим роль ўйнайди, улардан фойдаланиш пўлат буюмларнинг хизмат қилиш муддатини ошириш имконини беради ва металлнинг коррозиядан йўқолишини камайтиришнинг самарали йўлларида бири бўлиб ҳисобланади. Пўлат конструкциялар, буюмлар ва иншоотларни ҳимоялаш учун анод қопламалардан амалий фойдаланиш қотишмаларнинг структурасининг ўзига хос хусусиятлари, юзанинг ҳолати, қотишманинг ўзининг ҳарорати ва хусусиятларига боғлиқ бўлади. Zn-Al қотишмада (масалан – Zn22Al да) алюминий миқдорини ошириш ва фаза таркиби бўйича ҳолат диаграммасига мувофиқ α -каттик эритмага ўтиш кўпроқ истиқболли бўлиб ҳисобланади. Қотишмада Al миқдорини ошириш унинг коррозион бардошлилигини оширади ва қопламаларнинг қалинлигини камайтириш имконини беради. Бироқ бунда қотишманинг алюминий таркиб топтирувчисининг пассивлашиш хавфи вужудга келади. Шу муносабат билан ушбу қотишмани унга учинчи таркибий қисм сифатида микроқўшимчаларни қўшиш йўли билан фаоллаштириш имконияти кўриб чиқилган. Маълумки, галлий тағгуруҳи металларида қотишмаларнинг коррозион бардошлилигини ошириш учун легирлайдиган юза-фаол қўшимчалар сифатида фойдаланилади. Галлий тағгуруҳи элементларининг шу хусусиятини ҳисобга олиш билан Zn22Al қотишмани легирлайдиган таркибий қисм сифатида галлий, индий ва таллий танланган.

Диссертация тадқиқотининг диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тожикистон Республикасида академик Б. Ғафуров номли Хўжанд давлат университетининг илмий-тадқиқот ишлари режасига мувофиқ "Халқ хўжалиги ва саноатнинг турли тармоқларининг эҳтиёжлари учун рух-алюминий қотишмаларини ишлаб чиқиш (2016-2021)" илмий-тадқиқот иши доирасида ва "2018-2023 йилларда Хўжанд давлат университетини стратегик ривожлантириш дастури" Давлат илмий-техник дастури доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади легирлайдиган элементларнинг алюминий-рух қотишмаларининг оксидланишини камайтирувчи технологияси ва таркибини ишлаб чиқиш бўлиб ҳисобланади.

Тадқиқотнинг вазифалари:

галлий, индий ва таллий билан легирланган $Zn_{22}Al$ қотишмасининг рН нинг турли қийматларида коррозион-фаол муҳитларда анод тавсифларининг ўзгариш қонуниятларини тадқиқ қилиш;

легирайдиган қўшимчаларнинг қотишмаларнинг микроструктураси ва турли хусусиятларига таъсирини ўрганиш;

тадқиқ қилинаётган қотишмаларнинг қаттиқ ҳолатда юқори ҳароратли оксидланишининг кинетик ва энергетик параметрларининг ўзгариш қонуниятларини тадқиқ қилиш;

кўрсатилган қотишмаларнинг оксидланиш маҳсулотларининг фаза таркибларини аниқлаш ва коррозия жараёни механизмида уларнинг ролини аниқлаш;

эритиш жараёни ва легирлайдиган элементларнинг таркибини оптималлаштириш учун рух-алюминий қотишмаларининг коррозия жараёнларининг математик моделини ишлаб чиқиш;

улардан пўлат буюмлар, конструкциялар ва иншоотларни коррозион емирилишдан ҳимоя қиладиган анод ва протектор қопламалар сифатида фойдаланиш учун сифат критерийлари мажмуаси бўйича учталик қотишмаларнинг таркибини оптималлаштириш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида $Zn_{22}Al-Ga$, $Zn_{22}Al-In$ ва $Zn_{22}Al-Tl$ қотишмалар бўлиб ҳисобланади.

Тадқиқотнинг предметини галлий, индий ва таллий билан легирланган $Zn_{22}Al$, қотишмасининг турли шароитларда анод ўзини тутишини ўрганиш, қотишмага легирлайдиган элементлар билан ишлов бериш жараёнини моделлаштириш бўлиб ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Қотишманинг анод ва кинетик хусусиятларини ўрганишда замонавий тадқиқ қилиш услубларидан ва AIS 2100 серияли SEM сканерлайдиган электрон микроскоп; ПИ-50.1.1 импульсли потенциостат; ERGOLUX АМС металлографик микроскоп; термогравиметрик тарози ва ДРОН-2.0 прибори каби ускуналардан фойдаланилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

кимёвий элементларнинг рух-алюминий қотишмасининг коррозион бардошлилигига таъсири асосида рух-алюминий қотишмасининг янги таркиби ишлаб чиқилган (Тожикистон Республикаси патенти - № ТЖ 1275);

0.01-0.1 мас.% миқдорида галлий, индий ва таллий қўшимчалари $Zn_{22}Al$ қотишмасининг коррозион-фаол муҳитларда анод барқарорлигини 2-3 мартага ошириши аниқланган;

алюминий коррозияси потенциалининг ўзгаришлари асосида рух-алюминий қотишмаларининг питтинг ҳосил бўлиш ва репассивация динамикасининг графиги ишлаб чиқилган;

галлий билан легирланган қотишмалардан индий билан легирланган қотишмаларга, сўнгра таллий билан легирланган қотишмаларга ўтилганда

қотишмаларнинг коррозияланиш тезлиги муҳитнинг рН га боғлиқ равишда бироз ортиши аниқланган;

рухнинг оксидланишининг муҳитнинг ҳароратига гиперболик боғланиши асосида $Zn_{22}Al-Ga(In,Tl)$ қотишмаларнинг оксидланиш характерининг графиги ишлаб чиқилган;

$Zn_{22}Al$ қотишманинг оксидланишга барқарорлигининг ўзгариши асосида мустаҳкамликнинг легирлайдиган галлий, индий ва таллий қўшимчаларига боғланиши ишлаб чиқилган;

қотишмага галлий билан ишлов беришнинг самарадорлиги асосида қотишмаларнинг оксидланувчанлигини фаоллаштириш энергиясининг схемаси ишлаб чиқилган;

шихтанинг турли ҳароратлари ва геометрик параметрлари учун алюминий-рух қотишмаларининг оксидланиш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

камёб металлнинг турли қўшимчаларини ўз ичига оладиган янги $Zn_{22}Al-Ga$, $Zn_{22}Al-In$ и $Zn_{22}Al-Tl$ учталик қотишмаларнинг намуналари аниқланган ва синтезланган;

$Zn_{22}Al$ қотишмасида галлий, индий ва таллийнинг юқори коррозион бардошлилик билан ажралиб турувчи оптимал концентрациялари аниқланган (0.01÷0.1 мас.% дан);

янги қотишмаларнинг ишлаб чиқилган оптимал таркиблари Тожикистон Республикасининг кичик патенти билан ҳимояланган;

ишлаб чиқилган қотишмалар углеродли пўлат деталлар, буюмлар, конструкциялар ва иншоотларнинг коррозион бардошлилиги ва хизмат қилиш муддатини ошириш учун анод ҳимоя қопламалари ва протекторлар сифатида тавсия қилинади.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Натижаларнинг ишончлилиги конкрет қўйилган масалага таянади. Мураккаб ўқсимметрик қўймаларни ишлаб чиқариш бўйича кўплаб илмий экспериментал ишлар, математик режалаштириш услубининг қўлланилиши, шунингдек эксперимент натижаларига ишлов бериш замонавий ускуналар, услублар, техника ва технологиялардан фойдаланиш билан ўтказилган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти шундан иборатки, биринчи марта структура, фаза таркиби, коррозион муҳит ва галлий тағуруҳидаги легирлайдиган қўшимча элементларнинг $Zn_{22}Al$ қотишмасининг анод ўзини тутиши ва оксидланишига таъсирини мажмуавий физикавий-кимёвий ва коррозион-электрокимёвий тадқиқ қилиш ўтказилган; коррозияда қотишмаларнинг кинетик ва анод тавсифларининг ўзгариш қонуниятлари аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти шундан иборатки, $Zn_{22}Al$ sanoat қотишмасини галлий, индий ва таллий билан легирлаш (0.01÷0.1% дан) унинг технологик ва эксплуатацион хусусиятларининг яхшиланишига олиб келади. $Zn_{22}Al$ қотишманинг таркибига 0.01÷0.1% микдорда учинчи

таркибий қисмни киритиш (Ga, In, Tl) коррозия тезлигини 2-3 мартага пасайтиради, бу ишлаб чиқариш шароитларида деталларнинг хизмат қилиш муддатининг ортишига ёрдам беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Галлий, индий ва таллий билан легирланган Zn₂₂Al қотишмасининг анод ўзини тутиши ва оксидланиши бўйича олинган натижалар асосида қуйидаги натижалар ишлаб чиқилган ва ишлаб чиқаришга жорий қилинган (тасдиқланган жорий қилиш далолатномаларининг нусхалари диссертациянинг иловасида келтирилган):

Zn₂₂Al қотишмасининг индийли янги таркиби (патент № TJ 1275) «Коргоҳи мошинасозӣ» ДУК корхонасига жорий қилинган (Тожикистон Республикаси саноат ва янги технологиялар вазирлигининг 15.02.2023 йилдаги № 14-334 маълумотномаси). Жорий қилиш натижасида машинасозлик деталларининг хизмат қилиш муддати 12-14% га ошган;

турли маркали углеродли пўлатлардан ишланган деталларни уларнинг эритмасига ботириш йўли билан ҳимояловчи қотишма қопламаларни қайноқ қоплаш технологияси «Коргоҳи мошинасозӣ» ДУК корхонасига жорий қилинган (Тожикистон Республикаси саноат ва янги технологиялар вазирлигининг 15.02.2023 йилдаги № 14-334 маълумотномаси). Жорий қилиш натижасида пўлат деталларнинг коррозия бардошлилиги 25-27% га ошган;

қотишмаларни коррозиядан ҳимояладиган қопламанинг таркиби «Коргоҳи мошинасозӣ» ДУК корхонасига жорий қилинган (Тожикистон Республикаси саноат ва янги технологиялар вазирлигининг 15.02.2023 йилдаги № 14-334 маълумотномаси). Жорий қилиш натижасида деталлар юзасининг оксидланиш тезлиги 8-10% га камайган;

кўрсатилган коррозияга бардошли ҳимояловчи қотишма қопламалардан келадиган иқтисодий самара ишқаланувчи деталларнинг хизмат қилиш муддатининг ортиши ҳисобига йилига 812 АҚШ долларини ташкил қилади (Тожикистон Республикаси саноат ва янги технологиялар вазирлигининг 15.02.2023 йилдаги № 14-334 маълумотномаси).

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Диссертациянинг тадқиқот натижалари 15 та, шу жумладан 10 та халқаро ва 5 та республика конференциялари ва симпозиумларида муҳокамадан ўтган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича 38 та илмий иш чоп этилган. Ўзбекистон Республикаси Олий аттестация комиссиясининг фалсафа доктори (PhD) диссертациялари асосий илмий натижаларини чоп этиш учун тавсия этилган илмий нашрларда 7 та мақола, 3 та хорижий журналларда нашр этилган.

Диссертациянинг ҳажми ва тузилиши. Диссертациянинг таркиби кириш, тўртта боб, хулоса, фойдаланилган адабиётлар рўйхати ва иловалардан иборат. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил этади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

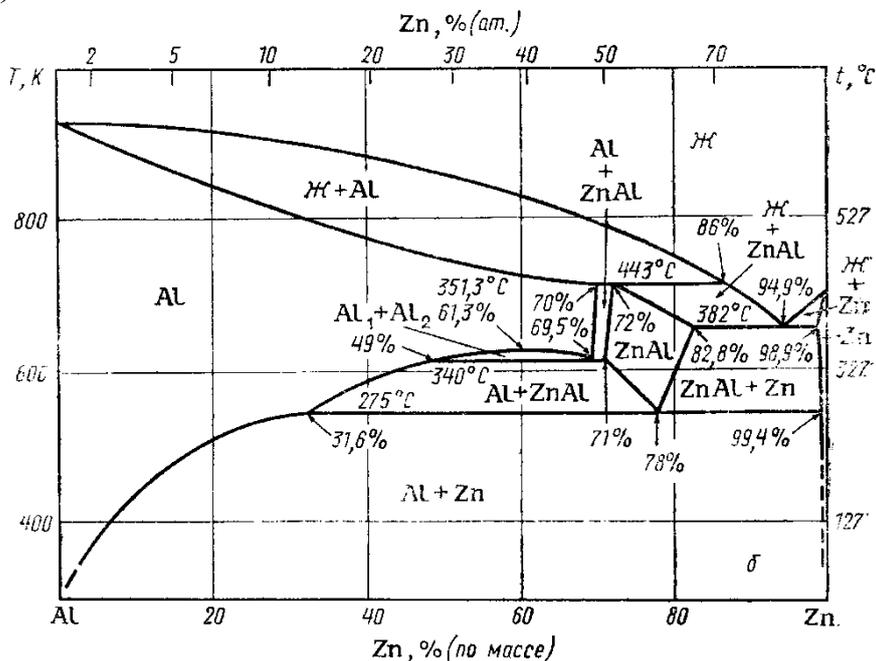
Диссертациянинг кириш қисмида диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурлиги асосланган, тадқиқотнинг мақсади ва вазифалари, объекти ва предмети тавсифланган, республика фан ва технологиялари

ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги кўрсатилган, илмий жиҳатдан янгилиги ва амалий натижалари баён қилинган, олинган натижаларнинг илмий ва амалий аҳамияти очиб берилган, натижаларнинг амалиётга жорий қилиниши, нашр қилинган ишлар ҳамда диссертациянинг тузилиши бўйича маълумотлар келтирилган.

Диссертациянинг “**Легирланган рух қотишмалари ва улар асосидаги химоя қопламаларининг анод ўзини тутиши ва оксидланишининг ўзига хос хусусиятлари**” деб номланган биринчи бобда дунёнинг бир қатор етакчи олимларининг алюминий қотишмаларининг хусусиятлари соҳасидаги тадқиқотларининг натижалари келтирилган.

Рухни ўз таркибига оладиган қотишмаларда (99.5, 95, 78, 45 мас.% Zn) алюминий ва рух атомлари ўртасида бошқа таркибли қотишмаларга қараганда кўпроқ мустаҳкам боғланиш мавжуд бўлади. Zn-Al тизимда эвтектоид ва эвтектик айланиш бўлиши кўрсатилган (1.1 расм). Рух алюминий билан эритилганда иссиқлик ажралиб чиқади. Доимий кристалл панжараларни аниқлаш қаттиқ эритмада рух (β -фаза) ва алюминийнинг (α -фаза) энг чекка миқдорида амалга оширилган. Ҳарорат ортиши билан Zn нинг Al да эрувчанлигининг ортиши қайд қилинади (%) [24]:

Ҳарорат, °C	77	127	177	227	275	327	340	351.2	340	443
% (масса бўйича)	2.5	6.2	11.5	18.0	31.6	43.5	49	61.3	69.5	70.0
% (ат.)	1.25	2.8	5.5	8.0	15.9	24.0	28.8	38.7	47.9	49.3



1.1 расм. – Zn-Al тизимнинг ҳолат диаграммаси

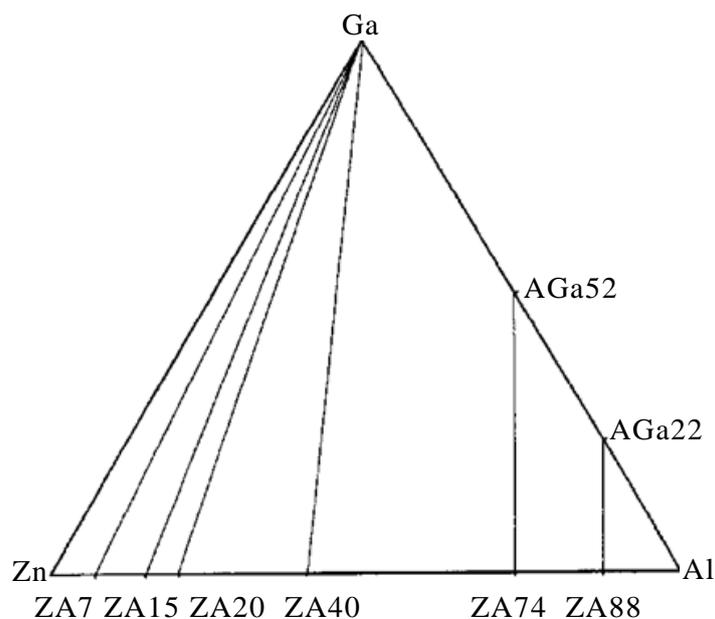
ZnO-Al₂O₃ тизимнинг қўш оксидларининг кристалл фазалари тўғрисида маълумотлар 1.1 жадвалга умумлаштирилган.

1.1 жадвал – ZnO-Al₂O₃ тизимнинг кристалл фазалари

Бирикма	Зичлик, г/см ³	Кристалларнинг шакли	Nq	Np	2Vo°	Иккиталик синдириш	Оптик белги	Ранг	Кавшарлан	Сўниш
ZnO	5.53 - 5.7	Гексагонал призмалар	2.02	2.00	0	0.016	+	Қизил	120	Тўғри
ZnO·Al ₂ O ₃	4.58	Куб тизим, октаэдрлар	1.80	-	-	-	-	-	(III)	-

Zn-Al-Ga тизим. Zn-Al-Ga нинг учталиқ фаза диаграммаси илгари термодинамик моделлаштириш ёрдамида аниқланган эди. Афтидан, суюқликда энтальпияларнинг аралашини ўзгашдан ташқари бу тизимни ҳеч қандай экспериментал тадқиқ қилишлар ўтказилмаган. Тўртта изоплетик қирқим аниқланган ва диаграмманинг Al га бой бурчагида иккита бошқаси қисман ўрганилган. Бу қирқимларда иккита изобарик учталиқ инвариант реакциялар аниқланган: $23\pm 1^\circ\text{C}$ да эвтектик ва $123\pm 1^\circ\text{C}$ да метатектик. Ga нинг α_{SS} каттик эритмада ретроград аралашувчанлиги мавжуд бўлишининг исботлари топилган, у учталиқ тизимга Al-Zn бинар тизимдан бошлаб Ga нинг 30% атрофида концентрациясигача сингиб киради [26].

Мазкур экспериментал тадқиқот турли ҳароратларда термик таҳлил қилиш услуби, рентген-структуравий таҳлил қилиш услуби ва изоплетик қирқимлар услуби билан ўтказилган. Маълумотлар асосида [26] тўртта асосий изоплетик қирқимлар танланган (1.2 расм): бу изоплетлар бўйича учталиқ инвариант мувозанатларнинг таркиблари ва ҳароратлари аниқланган.



1.2 расм. – Zn-Al-Ga тизимда изоплет қирқимлар

Шунингдек қаттиқ ҳолатда аралашувчанлик майдонлари идентификацияланган. Бундан ташқари, изобарик учталиқ инвариантларнинг чегараларини аниқлаш мақсадида алюминийга бой бурчакда иккита изоплетик қирқим қисман ўрганилган: ZA74-AGa52 ва ZA88-AGa22.

Муаллифларнинг ишларида Zn-Al-Ga учталиқ фаза диаграммасида бешта экспериментал изоплетик қирқимлар келтирилган. Бу қирқимларда иккита изобарик учталиқ инвариант реакциялар аниқланган ва Ga нинг α_{SS} қаттиқ эритмада катта ретроград аралашувчанлиги кузатилган. Иккита изобарик инвариант реакциялар батафсил ўрганилган. Хусусан, инвариант фазаларнинг таркиби кўрсатилган ва Ga нинг α_{SS} учталиқ қаттиқ эритмада эрувчанлиги ўрганилган. Изотермик қирқимлар аниқланган. Натижалар 290°C атрофида учталиқ критик нуқта билан туташган ликвидус соҳасида бирикиш нуқталари мавжуд бўлишини тасдиқлайди. Диаграммада мувозанатларнинг умумий истиқболли кўриниши таклиф қилинган.

Тадқиқотчиларнинг ишларида фаза айланишларининг сарфланадиган анодлар сифатида фойдаланиладиган Al-Ga бинар қотишмалар ва Zn-Al-Ga учталиқ қотишмаларнинг электрохимёвий ўзини тутишига таъсири таъкидланади. Zn-Al-Ga нинг учталиқ фаза диаграммасини тадқиқ қилиш барқарор ва метабарқарор мувозанатларни топиш учун ўтказилган. Бу мувозанатларни билиш хона ҳароратида қотишмаларда галлийга бой суюқ фазанинг мавжуд бўлишини (ёки бўлмаслигини) белгилайдиган термик ишлов беришларни аниқлаш имконини берган. Термодинамик маълумотлар галлий суюқ ҳолатда бўлганини кўрсатганда кўпроқ катта депассивация кузатилган. Бу қотишмалар учун электрохимёвий депассивация ва фаза диаграммаси ўртасидаги боғланиш аниқланган.

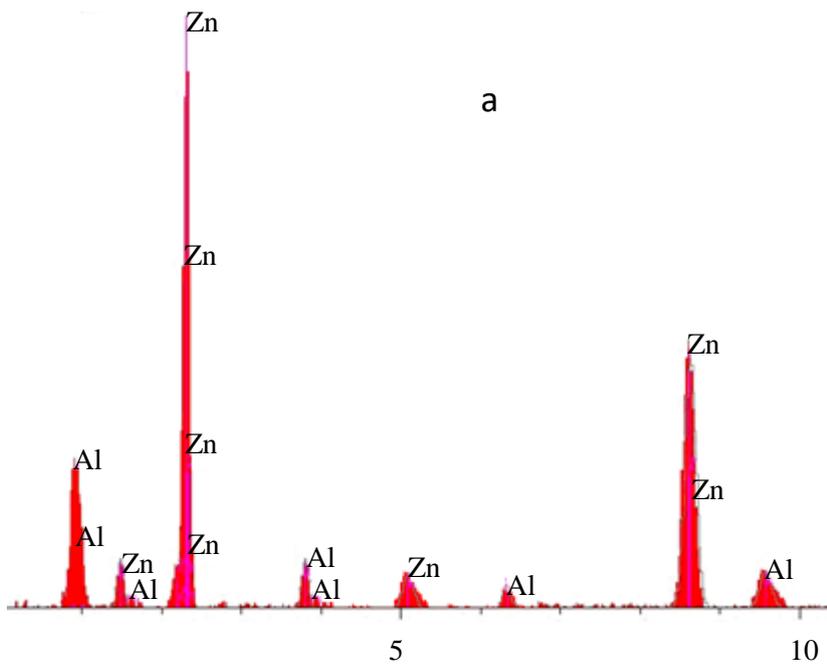
Диссертациянинг “Галлий, индий ва таллий билан легирланган Zn₂₂Al қотишмасининг коррозия-фаол муҳитларда ўзини анод тутишини тадқиқ қилиш” деб номланган иккинчи бобида галлий, индий ва

таллий билан легирланган қотишманинг анод ўзини тутишини ўрганиш бўйича тадқиқотларнинг натижалари келтирилган.

Металларни қиздириш ва эритиш, қотишмалар ҳосил бўлишида уларнинг ўзаро аралashi, олинган эритмага ишлов бериш, уни қолипларга қуйиш ва кейинчалик кристаллаш, қуйилган тайёрланманинг қотиши ўзида ҳар қандай қотишмаларни синтезлаш технологиясида ўринли бўладиган жараёнларни тақдим қилади. Металл қотишмаларнинг юқори ҳароратларда қаттиқ ҳолатдаги хусусиятлари муҳим аҳамиятга эга бўлади. Шунингдек металл эритмаларининг газлар ва шлаклар ва флюслар сифатида фойдаланиладиган турли моддалар билан ўзаро таъсирлашиши тўғрисидаги маълумотлар ҳам зарур бўлади. Эриш ҳарорати кўп жиҳатдан эритмани олиш усулини – энергия тури, қиздириш усули, эритадиган идишнинг материали ва қуйиладиган қолипнинг материаллини олдиндан белгилаб беради.

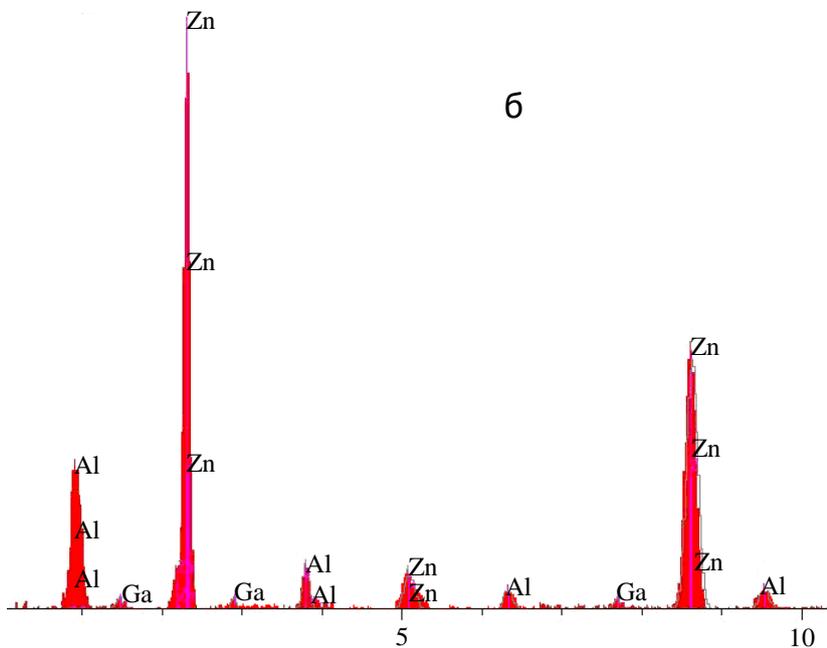
Камёб металларга (Ga, In, Tl) эга бўлган янги Zn₂₂Al қотишмаларини ишлаб чиқилиши ва синтезланиши ва фундаментал ва металлшунослик бўйича тадқиқотларнинг ривожланишига мос равишда уларнинг турли хусусиятларини яхшиланиши конкрет технологик масалаларни ҳал қилиш билан бир қаторда фан ва техниканинг катта ютуғи бўлиб ҳисобланади.

Бошланғич материаллар сифатида гранулаланган рух (ч.д.а.), А7 алюминий (тех.ч.), металл галлий Гл-0 (х.ч.), таллий Гл-0 (х.ч.) ва индий Ин-0 (х.ч.) дан фойдаланилган, улар 650–750 °С ҳароратлар интервалида СШОЛ печида синтезланган. Уларнинг кимёвий таркиби SEMAIS2100 прибори ёрдамида рентген-спектрал микротаҳлил услуби ёрдамида баҳоланган [59]. Натижалар Zn₂₂Al-Ga(In, Tl) тизимлардаги учталиқ қотишмаларнинг берилган (мақсадли дастур) ва синтезлаш билан олинган (эришилиши лозим бўлган дастур) таркиблари мос эканлигидан гувоҳлик беради. Қотишмаларни таҳлил қилиш натижаларини текшириш аниқлаги ±10⁻³% ни ташкил қилган (2.1, 2.2 расмлар).



	Units	Conc	Error-2sig	Intensity (c/s)	Line	Elt
	wt. %	22.003	0.952	110.04	Ka	Al
	wt. %	77.997	2.048	389.96	Ka	Zn
Total	wt. %	100.000				

kV 20.0
 Take off Angle 25.0°
 Elapsed Livetime 10.0



	Units	Conc	Error-2sig	Intensity (c/s)	Line	Elt
	wt. %	0.010	0.001	8.75	Ka	Ga
	wt. %	22.001	0.536	129.72	Ka	Al
	wt. %	77.989	1.844	292.92	Ka	Zn
Total	wt. %	100.000				

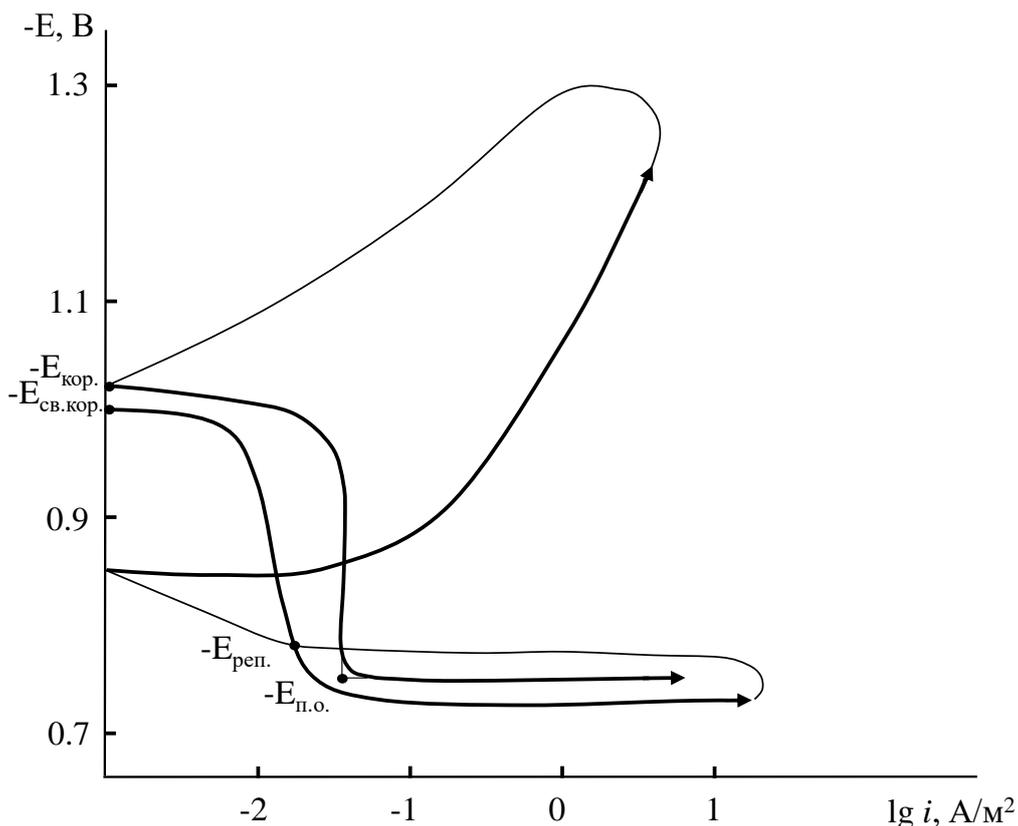
2.1 расм. – Zn₂₂Al қотишмаси (а) ва 0.01 мас.% галлийли қотишманинг (б) таркибий қисмларининг рентген-спектрал чизиқларининг интенсивликлари.

Қотишмаларнинг коррозия-электрохимиявий хусусиятларини тадқиқ қилиш услубияти сифатида бир қатор замонавий тадқиқ қилиш услубиятлари келтирилади. Хусусан, галлий, индий ва таллий билан легирланган Zn₂₂Al қотишмаси намуналари қуйидагича тайёрланган: синтезланган турлича таркибли қотишмалардан (2.1 параграфга қаралсин) қолипларга 8X140 мм ўлчамли ўзаклар қуйилган; бир хил юза майдонини олиш учун намуналарнинг ён қисми коррозияга бардошли лак билан қопланган; ҳар бир намунага олдиндан наждак қоғози билан ишлов берилган ва жилвирланган. Намуналар мойсизлантирилган, спирт билан ювилган ва HCl, NaCl ва NaOH га ботирилган.

Ишчи электроднинг юзасини олдиндан тайёрлаш, таққослаш электроди ва электрохимиявий ячейканинг ёрдамчи электродини танлашга алоҳида эътибор қаратилган. Шундан келиб чиққан ҳолда, баъзи бир ҳолларда коррозия муҳитининг таъсири материалнинг таркиби ва хусусиятларининг чуқур ўзгаришларига олиб келади. Электрод потенциалларини ўлчаш ва анод ҳимоялашда тадқиқ қилинаётган турлича таркибли қотишмаларнинг ўзини қандай тутишини аниқлаш мақсадида ишчи электроддан фойдаланилган, таққослаш электроди сифатида эса кумушхлорид электрод олинган. Шунингдек ёрдамчи платина электрод ҳам қўлланилган [60-74].

Галлий, индий ва таллий билан легирланган Zn₂₂Al қотишмасининг анод ўзини тутишини потенциостатик тадқиқ қилиш ПИ-50.1.1 потенциостат прибори ёрдамида потенциодинамик режимда (2мВ/с) электролитларнинг турли коррозия муҳитларида ўтказилган: 0.1; 0.01; 0.001н (рН=1; 2; 3) HCl, 0.03; 0.3; 3% (рН=7) NaCl ва 0.001; 0.01; 0.1н (рН=10; 11; 12) NaOH. Тадқиқ қилиш услубияти ишларда батафсил тасвирланган.

Тасвирланган графикада мисол тариқасида нейтрал муҳитда Zn₂₂Al базавий қотишманинг потенциодинамик анод ва катод қутбланиш эгри чизиғини олиш кетма-кетлиги схематик тарзда кўрсатилган (2.3 расм). Олинган қотишмаларнинг ҳар бир намунаси алоҳида эркин коррозиянинг стационар потенциалдан бошлаб ($E_{\text{эркин кор.}}$) питтинг ҳосил бўлиш потенциалигича ($E_{\text{п.х.б}}$) мусбат томонга потенциодинамик қутбланган (2.3 расмдаги I эгри чизик). Сўнгра намуна янгидан тескари томонга қутбланган (2.3 расмдаги II эгри чизик) ва II эгри чизикда кўрсатилган букилиш бўйича репассивация потенциалининг ($E_{\text{р.п.}}$) қиймати топилган. Ҳосил бўлган оксид пленка намуна юзасидан белгиланган қийматгача катод қутблаш билан ($E=1300$ В) чиқариб юборилган (2.3 расмдаги III эгри чизик). Сўнгра намуна яна мусбат томонга қутбланган (2.3 расмдаги IV эгри чизик). Ниҳоят анод потенциометрик эгри чизиклар бўйича тадқиқ қилинаётган қотишмалар намуналарининг коррозия-электрохимиявий ўзини тутишини тавсифлайдиган электрод потенциаллари аниқланган. Коррозия токининг зичлиги электрод потенциалига боғлиқ равишда катод потенциодинамик эгри чизик бўйича аниқланган, бунда Тафелев тўғри чизиғининг эгилиши ҳисобга олинган.



2.3 расм. – 1.0 мас.% галлийни ўз ичига оладиган Zn22Al қотишмасининг 0.03% ли NaCl электролит муҳитида потенциодинамик (2 мВ/с) анод ва катод қутбланиш эгри чизиқлари.

Диссертациянинг “Галлий, индий ва таллий билан легирланган Zn22Al қотишмасининг қаттиқ ҳолатда юқори ҳароратли оксидланишини тадқиқ қилиш” деб номланган учинчи бобида галлий, индий ва таллий билан легирланган Zn22Al қотишмасининг юқори ҳароратли оксидланиши бўйича ўтказилган тадқиқотларнинг натижалари келтирилган. Металлар ва қотишмаларнинг қаттиқ ҳолатда ҳаво муҳитида юқори ҳароратли оксидланишини тадқиқ қилиш илмий ва амалий қизиқиш уйғотади. Юқори ҳароратли оксидланиш – газ коррозиясининг асоси – ўз навбатида, оксид қатламларининг ўсиш қонунларини белгилайдиган етарлича мураккаб жараён бўлиб ҳисобланади. Оксидлайдиган газ, кислороддан ташқари, олтингугурт ва углеродни ўз таркибига оладиган газлар ва бошқалар бўлиши мумкин. Оксид пленканинг емирилиши ўсиш қонунларини ўзгартириш билан металлар ва қотишмаларнинг юқори ҳароратли оксидланишини тезлаштиради.

Металл қотишмаларнинг газ муҳитлари ёки ҳаводаги кислород билан контакти оқибатида газ коррозияси содир бўлади, бу ерда уларнинг юқори ҳароратларда оксидланиши тўғрисидаги тасаввур ҳимояловчи махсус металл қопламаларни яратиш учун асос бўлиб ҳисобланади. Халқ хўжалиги, гальванотехника, қурилиш ва ҳоказоларда қўлланиладиган углеродли пўлатдан ишланган буюмлар ва конструкцияларнинг юзасига қопланган

махсус химояловчи қопламалар уларнинг коррозия бардошлилиги ва хизмат қилиш муддатини ошириш имконини беради.

Шундай қилиб, адабий манбаларни таҳлил қилиш шундан гувоҳлик берадики, муаллифлар томонидан бир қатор металллар билан легирланган рух-алюминий қотишмаларининг ($Zn_{55}Al$, Zn_5Al , $Zn_{0.5}Al$) оксидланиши ўрганилган. Хусусан, камёб металлларни ўз ичига оладиган (Ga , In , Tl) эвтектоид ($Zn_{0.5}Al$) ва эвтектик (Zn_5Al) рух-алюминий қотишмаларининг оксидланиши тўғрисида маълумотлар келтирилади. Шундан келиб чиққан ҳолда, адабиётларни таҳлил қилиш галлий, индий ва таллийнинг турлича миқдорларини ўз ичига оладиган $Zn_{22}Al$ қотишмасининг оксидланиши бўйича маълумотлар йўқлигини кўрсатади.

Қотишмаларнинг оксидланишини ўрганиш учун одатда металлларнинг юқори ҳароратли коррозиясини ўрганишда қўлланиладиган намуналарни узлуксиз тортиш услубидан фойдаланилган. Бу услуб металллар ва қотишмаларнинг кинетик ва энергетик параметрларини аниқлаш имконини беради. Мазкур услубнинг ютуқларига фойдаланиладиган аппаратуранинг нисбатан оддийлиги ва ундан юқори ҳароратларда фойдаланиш имкониятини киритиш мумкин. Галлий, индий ва таллий билан легирланган $Zn_{22}Al$ қотишмаси изотермик шароитларда ($T = 473, 523, 623$ К да) қаттиқ ҳолатда оксидланишга тортилган.

Турлича таркибли қотишмаларнинг синтезланган намуналари уларнинг оксидланишини ўрганиш учун электроэрозия қирқадиган приборда қирқиш билан тайёрланди. Қотишмаларнинг намуналари 8×4 геометрик ўлчамли цилиндрик шаклда тайёрланган. Қотишмаларнинг намуналари силлиқлангандан кейин қирқишда уларнинг юзасида ҳосил бўлган аралашмалар наждак қоғози билан тозаланган. Сўнгра қотишмаларнинг намуналари $NaOH$ (10%) эритмасида мойсизлантирилган, мойсизлантириш жараёнининг давомийлиги 10-15 с ни ташкил қилган. Қотишмаларнинг намуналарининг оғирлиги ўртача 1,25 г ни ташкил қилган, намуналар массасининг ўзгаришини аниқлаш хатолиги эса $\pm 0.5\%$ ни ташкил қилган.

Қотишмалар намуналарининг оксидланишини термогравиметрик тадқиқ қилиш бизга маълум қурилмада ўтказилган. КМ-8 катетометрдан фойдаланиш билан электр печида осилиб турган пружинанинг чўзилишга қаршилиги бўйича қотишмалар намуналарининг оғирлигининг ўзгариши назорат қилинган. Тадқиқ қилиш учун фойдаланилган тигллар 20×25 мм геометрик ўлчамга эга бўлган. Тажрибани бошлашдан олдин тиглни қиздириш жараёни $1000-1200^\circ C$ ҳароратда амалга оширилган ва доимий оғирлик қайд қилингунча назорат қилинган. Сўнгра мис Ka -нурланишдан фойдаланиш билан ДРОН-2.0 дифрактометрда рентген-фазали таҳлил қилишни қўллаш билан оксидланиш маҳсулотларининг фаза таркиб топтирувчилари аниқланган. Биз томонимиздан экспериментал тарзда олинган маълумотларни дифрактограммага тушириш ICDD маълумотлар базасининг картотекасидаги дифракцион маълумотлар билан таққослаш билан бажарилган.

Диссертациянинг “Галлий, индий ва таллий билан легирланган Zn22Al қотишмасининг оксидланишининг математик моделини ишлаб чиқиш” деб номланган тўртинч бобида жараёни математик моделлаштириш натижадари келтирилган. Хусусан, қотишмага галлийни киритиш бўйича экспериментал маълумотлар асосида жараёни математик модели ишлаб чиқилган. Бу маълумотлар асосида қотишмада оксид қўшимчаларининг миқдорий ўзгаришларини математик моделлаштириш масаласи, яъни математик функционал боғланишни аниқлаш йўли билан аналитик нуқтаи-назардан экспериментнинг натижаларини математик баҳолаш масаласи кўриб чиқилади. Экспириментал маълумотларни математик функция бўйича аниқлаш кўп даражали бир қийматли коэффицентларни аниқлаш масаласига эквивалент бўлади.

Галлийни киритиш миқдори ўзгарганда қотишманинг оксидланиш миқдорининг ўзгаришини аниқлаш учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин:

$$\begin{aligned} d_1 = 6\text{нм}, d_2 = 10\text{нм}, d_3 = 14\text{нм}, d_4 = 20\text{нм}, d_5 = 30\text{нм}; \\ \lambda_1 = 0,52, \lambda_2 = 0,48, \lambda_3 = 0,44, \lambda_4 = 0,38, \lambda_5 = 0,34, \left[\frac{\text{см}}{100\text{г}} \right]. \end{aligned} \quad (1)$$

Алгебраик тенгламалар тизими қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\begin{cases} a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 + 1296a_5 = 0,52 \\ a_1 + 10a_2 + 100a_3 + 1000a_4 + 10000a_5 = 0,48 \\ a_1 + 14a_2 + 196a_3 + 2744a_4 + 38416a_5 = 0,44 \\ a_1 + 20a_2 + 400a_3 + 8000a_4 + 160000a_5 = 0,38 \\ a_1 + 30a_2 + 900a_3 + 27000a_4 + 810000a_5 = 0,34 \end{cases} \quad (2)$$

Бу бир жинсли бўлмаган алгебраик тенгламалар тизимини Гаусс ва Крамер услубидан ва Maple 13 дастурий пакетдан фойдаланиш билан ечиш билан биз қуйидаги ечимларни олдик:
 $a_1 = 0,59312, a_2 = -0,01509, a_3 = 0,00069, a_4 = -0,00004, a_5 = 0$.

Қотишмада ўртача галлий миқдори ўзгарганда қотишмада оксидлар миқдорининг ўзгаришини тавсифлайдиган функция қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\lambda(d) = 0,59312 - 0,01509d + 0,00069d^2 - 0,00004d^3. \quad (3)$$

Бу ифодадан фойдаланиш билан қотишмада оксидлар миқдорини аниқлаш мумкин, бунда аниқлик даражасини кўрсатиш учун Maple 13 дан фойдаланилади.

Хулоса

Диссертация иши бўйича ўтказилган экспериментал тадқиқотлар асосида қуйидаги хулосалар чиқарилган:

1. Кимёвий элементларнинг рух-алюминий қотишмасининг коррозион бардошлилигига таъсири асосида рух-алюминий қотишмасининг янги таркиби ишлаб чиқилган (Тожикистон Республикаси патенти - № ТҶ 1275). Бу рух-алюминий қотишмаларидан тайёрланадиган машинасозлик деталларининг коррозион бардошлилигини ошириш учун хизмат қилади.

2. 0.01-0.1 мас.% миқдорида галлий, индий ва таллий қўшимчалари Zn22Al қотишмасининг коррозион-фаол муҳитларда анод барқарорлигини 2-3 мартага ошириши аниқланган. Бу коррозион-фаол муҳитларда қотишманинг анод барқарорлигини ошириш учун хизмат қилади.

3. Аллюминийнинг коррозия потенциалининг ўзгариши асосида рух-аллюминий қотишмаларининг питтинг ҳосил бўлиш ва репассивация динамикаси графиги ишлаб чиқилган. Бу рух-аллюминий қотишмаларининг питтинг ҳосил бўлиши ва репассивациясини аниқлаш учун хизмат қилиши мумкин.

4. Галлий билан легирланган қотишмалардан индий билан легирланган қотишмаларга, сўнгра таллий билан легирланган қотишмаларга ўтилганда қотишмаларнинг коррозияланиш тезлиги муҳитнинг рН га боғлиқ равишда бироз ортиши аниқланган. Бу қотишмаларнинг коррозия тезлигини аниқлаш учун хизмат қилиши мумкин.

5. Рухнинг оксидланишининг муҳитнинг ҳароратига гиперболик боғланиши асосида Zn22Al-Ga(In,Tl) қотишмаларнинг оксидланиш характерининг графиги ишлаб чиқилган. Бу қотишмаларнинг оксидланиш даражасини аниқлаш учун хизмат қилади.

6. Zn22Al қотишмасининг оксидланишга барқарорлигининг ўзгариши асосида мустаҳкамликнинг легирлайдиган галлий, индий ва таллий қўшимчаларига боғланиши ишлаб чиқилган. Бу Zn22Al қотишмасининг оксидланишга барқарорлигини аниқлаш учун хизмат қилиши мумкин.

7. Қотишмага галлий билан ишлов беришнинг самарадорлиги асосида қотишмаларнинг оксидланувчанлигини фаоллаштириш энергиясининг схемаси ишлаб чиқилган. Бу рух-аллюминий асосли қотишмаларнинг оксидланишининг фаоллашиш энергиясини аниқлаш учун хизмат қилади.

8. Шихтанинг турли ҳароратлари ва геометрик параметрлари учун аллюминий-рух қотишмаларининг оксидланиш жараёнининг математик модели ишлаб чиқилган. Моделдан қўшимча тадқиқотлар ўтказмасдан киритиладиган элементларнинг оптимал параметрларини аниқлаш учун фойдаланиш мумкин.

**НАУЧНЫЙ СОВЕТ DSc. 03/30.12.2019.Т.03.04
ПО ПРИСУЖДЕНИЮ УЧЕНЫХ СТЕПЕНЕЙ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ
ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**ХУДЖАНДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА Б. ГАФУРОВА,
ТАШКЕНТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ И. КАРИМОВА**

ШАРИПОВ ДЖАМШЕД ХАКИМОВИЧ

**АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ОКИСЛЕНИЕ СПЛАВА Zn₂₂Al,
ЛЕГИРОВАННОГО ГАЛЛИЕМ, ИНДИЕМ И ТАЛЛИЕМ,
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ИХ СВОЙСТВ**

**05.02.01 –Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия чёрных,
цветных и редких металлов. Технология уникальных, редких и радиоактивных
элементов(по направлению литейного производства и технологии обработки
металлов)**

**АВТОРЕФЕРАТ
диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам**

ТАШКЕНТ – 2024

Тема диссертации доктора философии (PhD) технических наук зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Министерстве высшего образования, науки и инноваций Республики Узбекистан под номером _____

Диссертация выполнена в им. акад. Б. Гафурова и ТГТУ им. И. Каримова.

Автореферат диссертации доступен на трех языках (узбекский, русский, английский (резюме)) на сайте Ученого совета (www.tdtu.uz) и на Информационно-образовательном портале «ZiyoNet» (www.ziyo.net).

Научный руководитель:

Обидов Зиёдулло Рахматович
доктор химических наук, профессор
Тураходжаев Нодир Джахонгирович
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

Дуняшин Николай Сергеевич
доктор технических наук, профессор
Худояров Сулейман Рашидович
доктор философии (PhD) по техническим наукам, доцент

Ведущая организация:

Андижанский машиностроительный институт

Защита диссертации состоится «30» ноября 2024 г. в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04 при Ташкентском государственном техническом университете. (Адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс:(99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz).

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-ресурсном центре Ташкентского государственного технического университета (зарегистрирована за №405) (Адрес: 100095, г. Ташкент, Алмазарский район, ул. Университетская, 2. Тел./факс: (99871) 227-10-32).

Автореферат диссертации разослан «18» ноября 2024 года.
(протокол рассылки № 181 от 18 ноября 2024 г.).

К.А.Каримов

Председатель научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор технических наук, профессор

Ш.Б.Ташбулатов

Учёный секретарь научного совета
по присуждению учёных степеней,
доктор философии (PhD) по техническим наукам

Н.С.Дуняшин

Председатель научного семинара, при научном совете
присуждающего научные степени
доктор технических наук, профессор

ВВЕДЕНИЕ (аннотация к диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам)

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире разработке эффективных технологий, способствующим снижению потерь металлов и их сплавов за счет их окисления уделяется особое значение. На сегодняшний день исследования по изучению окислительных процессов алюминиевых сплавов является актуальной задачей ввиду большого родства этого металла и его сплавов из-за высокой потери при плавке в плавильных агрегатах. Поэтому в промышленных развитых странах, таких как США, Англия, Германия, Канада, Китай, Россия ведутся научно-исследовательские работы по разработке ресурсосберегающих технологий в производстве машиностроительных деталей из алюминиевых сплавов по разработке средств защиты этих сплавов от коррозии.

В странах СНГ, в том числе России, Украине и Казахстане ведутся научно-исследовательские работы по повышению прочности промышленных сплавов под торговыми марками гальфан I, гальфан II, гальвалюм на основе цинко-алюминиевого сплава путем легирования третьими элементами. В этом направлении особое внимание уделяется определению оптимального состава при легировании цинко-алюминиевых сплавов с металлическим галлием, индием и таллием, разработке оптимальных параметров режимов легирования, повышения энергоэффективности при обеспечении коррозионной стойкости легированного сплава.

В Республике Узбекистан и Республике Таджикистан большое внимание уделяется научным исследованиям по разработке ресурсосберегающих технологий за счет применения цинково-алюминиевых сплавов для изготовления деталей машин и инструментов методом литья. В этом направлении были созданы составы покровных флюсов на основании алюминия и лития, разработаны технологии по упрочнению поверхности алюминий-танталовых наноструктур, созданы совместные технологии по выплавке алюминиевых сплавов в газовых печах с предварительным нагревом шихты с последующим оплавлением в жидкой ванне.

Данная диссертационная работа в определённой степени служит решению задач, приведённых в Указе Президента Республики Узбекистан от 28 января 2022 года ПФ-60 "О стратегии развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы", ПП-3682 от 27 апреля 2018 года "О мерах по дальнейшему совершенствованию системы практической реализации инновационных идей, технологий и проектов", Указе № ПФ-5159 от июня 24 декабря 2021 года "О дополнительных мерах по развитию горнодобывающей и металлургической промышленности, а также в Указе Президента Республики Таджикистан от 5 ноября 2015 года №GR0102TD923 "О стратегии Республики Таджикистан в области науки и технологий на 2015-2020 годы", а также в других нормативно-правовых документах, принятых в данной сфере.

Соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологий республики. Данное исследование выполнено в соответствии с приоритетным направлением развития науки и технологий Республики Узбекистан частью II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение» и Республики Таджикистан «Программа ускоренной индустриализации Республики Таджикистан на 2020-2026 годы».

Степень изученности проблемы. Ведущими учеными мира проводятся ряд исследований по созданию новых технологий в области плавания и легирования цинково-алюминиевых сплавов и совершенствованию существующих технологий, разработке состава разборочных элементов, используемых при плавке различных сплавов.

В литейном производстве в настоящее время широко применяется математическое моделирование литейных процессов, с помощью которого осуществляется анализ эффективности технологии изготовления изделия и ее оптимизация в виртуальном пространстве, без дополнительных затрат на изготовление пробных партий отливок. Это самый действенный и надежный способ разработки технологии литья, позволяющий снизить затраты как на подготовку производства, так и на само производство отливок. При этом признается более десяти программных продуктов, предназначенных для решения задач, стоящих перед технологами-литейщиками. Каждый из них имеет свои плюсы и минусы и в разной степени может удовлетворить потребности того или иного производства.

Это направление по разработке оптимального состава цинк-алюминиевых сплавов при производстве деталей машиностроения, обработку сплава рассеянными редкими элементами, как галлий, индий и таллий, исследования по определению степени влияния легирующих элементов на свойства промышленного сплава – считаются важными направлениями в этой сфере. В то же время определение влияния температуры металла в процессе легирования цинко-алюминиевых сплавов, полученных методами литья, разработка технологии, обеспечивающей энергоэффективность в процессе теплообмена, разработка режимов снижения выгорания элементов в процессе легирования остаются одними из актуальных задач сегодняшнего дня.

Роль цинковых покрытий для защиты стали от морской, атмосферной и подземной коррозии в нейтральных растворах солей велика. Однако, дефицит цинка, а также возрастание скорости коррозии цинка из-за загрязнения окружающей среды вызвали интерес к замене цинковых покрытий Zn-Al. Существенная экономия Zn при использовании таких покрытий, связанная с более низкой плотностью Al, а также их более высокая стойкость к коррозии в различных условиях привели к разработке промышленной технологии получения стального листа с горячим Zn-Al покрытием [1-23]. Перспективна другая область применения этих покрытий - для защиты стальных труб, используемых в системах вода и теплоснабжение. Кроме того, он может служить эффективным двусторонним анодным покрытием на трубной стали в условиях холодного и горячего водоснабжения. В результате воздействия горячей воды довольно быстро корродирует преимущественно фаза,

обогащенная Zn, что с течением времени приводит к условиям, когда стойкость покрытия полностью определяется защитным действием фазы, обогащенной Al. Коррозионная стойкость этой фазы на порядок выше стойкости Zn или фазы, обогащенной Zn. В этой связи признается целесообразным повышение содержания Al по сравнению с его содержанием в типовом сплаве «гальфан». Однако вопрос об оптимальном содержании Al в Zn-Al сплавах остается открытым.

Таким образом, важную роль в решении задач по повышению срока службы деталей, изделий и конструкций в машиностроении играют защитные коррозионностойкие покрытия из сплавов, использование которых позволяет увеличить долговечность стальных изделий и является одним из эффективных путей снижения потерь металла от коррозии. Практическое использование анодных покрытий для защиты углеродистых стальных конструкций, изделий и сооружений от коррозии зависит от особенностей структуры сплавов, состояния поверхности, температуры и свойств самого сплава. Наиболее перспективным является повышение содержания алюминия в Zn-Al сплаве (например – Zn22Al) и переход по фазовому составу к α - твердому раствору согласно диаграмме состояния. Увеличение содержания Al в сплаве повышает его коррозионную стойкость и позволяет снизить толщину покрытий. Однако при этом возникает опасность пассивации алюминиевой составляющей сплава. В связи с этим рассмотрена возможность активации данного сплава путем введения в его состав микродобавок третьего компонента. Известно, что металлы подгруппы галлия используются как легирующие поверхностно-активные добавки для повышения коррозионностойкости сплавов. Учитывая данную особенность элементов подгруппы галлия, в качестве легирующего компонента сплава Zn22Al был выбран галлий, индий и таллий.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего образовательного учреждения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование проводилось в соответствии с планами научно-исследовательской работы Худжандского государственного университета им. акад. Б. Гафурова "Разработка новых цинк-алюминиевых сплавов для нужд народного хозяйства и различных отраслей промышленности" (2016-2021) и в рамках Государственной научно-технической программы «Перспективной программой стратегического развития Худжандского государственного университета на 2018-2023 годы».

Целью исследования является разработка технологии и состава легирующих элементов способствующих снижению окисления алюминиево-цинковых сплавов.

Задачи исследования: • исследование закономерности изменения анодных характеристик

сплава Zn22Al, легированного галлием, индием и таллием, в коррозионно-активных средах при различных значениях pH;

изучение влияния легирующих добавок на микроструктуру и различные свойства сплавов;

исследование закономерности изменения кинетических и энергетических параметров высокотемпературного окисления исследуемых сплавов в твердом состоянии;

определение фазовых составов продуктов окисления указанных сплавов и установление их роли в механизме коррозионного процесса;

разработка математической модели процесса коррозии алюминиево-цинковых сплавов для оптимизации процесса плавки и состава легирующих элементов;

оптимизация состава тройных сплавов по комплексу критерию качеств для использования их как покрытий при анодной и протекторной защите стальных изделий, конструкций и сооружений от коррозионного разрушения.

Объектом исследования являются сплавы систем Zn22Al-Ga, Zn22Al-In и Zn22Al-Tl.

Предметом исследования является изучение анодного поведения и окисления сплава Zn22Al, легированного галлием, индием и таллием в различных условиях, моделирование процесса обработки расплава легирующими элементами.

Методы исследований. При изучении анодных и кинетических свойств сплавов использовали современные методы исследований и соответствующие оборудования как сканирующий электронный микроскоп SEM серии AIS 2100; импульсный потенциостат ПИ-50.1.1; металлографический микроскоп ERGOLUXAMC; термогравиметрические весы и прибора ДРОН-2.0.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

на основе влияния химических элементов на коррозионную стойкость алюминиево-цинкового сплава, разработан новый состав цинко-алюминиевого сплава (патент Таджикистана № TJ 1275);

установлено, что добавки галлия, индия и таллия в пределах 0.01-0.1 мас.% в 2-3 раза повышают анодную устойчивость сплава Zn22Al, в коррозионно-активных средах;

на основе изменений потенциала коррозий алюминия, разработан график динамики питтингообразования и репассивации алюминиево-цинковых сплавов;

определено, что при переходе от легированных галлием сплавов к сплавам с индием, далее к сплавам с таллием скорость коррозии сплавов несколько растёт от pH среды;

на основе гиперболической зависимости окисления цинка от температуры среды разработан график характера окисления сплавов систем Zn22Al-Ga(In,Tl);

на основе изменения стойкости сплава Zn22Al к окислению, разработана зависимость прочности к количеству легирующих добавок галлия, индия и таллия;

на основе эффективности обработки сплава галлием разработана схема энергии активации окисляемости сплавов;

разработана математическая модель процесса окисления алюминиево-цинковых сплавов для различных температурных и геометрических параметров шихты.

Практические результаты исследования заключаются в следующем: определены и синтезированы образцы новых тройных сплавов Zn22Al-Ga, Zn22Al-In и Zn22Al-Tl, содержащих различные добавки редкого металла; установлены оптимальные концентрации (по 0.01÷0.1 мас.%) галлия, индия и таллия в сплаве Zn22Al, отличающиеся высокой коррозионной стойкостью;

разработанные оптимальные составы новых сплавов защищены малым патентом Республики Таджикистан;

разработанные сплавы рекомендуются в качестве анодных защитных покрытий и протекторов для повышения коррозионной стойкости и увеличения срока службы углеродистых стальных деталей, изделий, конструкций и сооружений.

Достоверность результатов исследования подтверждается:

Достоверность результатов опирается на конкретно поставленную задачу. Множество научных экспериментальных работ по производству сложных осесимметричных поковок, применение метода математического планирования, а также переработка результатов эксперимента проводились с использованием современных оборудований, методов, техники и технологий.

Научная и практическая значимость диссертации. Научная значимость результатов исследования заключается в том, что впервые было проведено комплексное физико-химическое и коррозионно-электрохимическое исследование влияния структуры, фазового состава, коррозионной среды и легирующих добавок элементов подгруппы галлия на анодное поведение и окисление сплава Zn22Al; установлены закономерности изменения кинетических и анодных характеристик сплавов к коррозии.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что легирование промышленного сплава Zn22Al с галлием, индием и таллием (по 0.01÷0.1%) приводит к улучшению его технологические и эксплуатационные свойства. Введение третьего компонента (по Ga, In, Tl) в количествах 0.01÷0.1% в состав сплава Zn22Al способствует уменьшению скорости коррозии в 2-3 раза, что способствует повышению срока службы деталей в производственных условиях.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов, полученных по анодному поведению и окислению сплава Zn22Al, легированного галлием, индием и таллием, были разработаны и внедрены в производство следующие результаты (копии утвержденных актов внедрения результатов прилагается в приложение диссертации):

- новый состав сплава Zn22Al с индием (патент № TJ 1275) внедрён на предприятии ГУП «Коргоҳи мошинасозӣ» (Справка Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан № 14-334 от

15.02.2023 г.). В результате внедрения долговечность машиностроительных деталей повысилась на 12-14%;

- технология горячего способа нанесения защитных сплавных покрытий путем погружения деталей из углеродистых сталей различных марок в их расплав внедрена на предприятии ГУП «Коргоҳи мошинасозӣ» (Справка Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан № 14-334 от 15.02.2023 г.). В результате внедрения коррозионная стойкость стальных деталей повысилась на 25-27%;

- состав защитного покрова от коррозии сплавов внедрен на предприятии ГУП «Коргоҳи мошинасозӣ» (Справка Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан № 14-334 от 15.02.2023 г.). В результате внедрения скорость окисления поверхности деталей снизилась на 8-10%;

- экономический эффект от использования указанных защитных коррозионностойких сплавных покрытий, составляет 812 долларов США в год, за счет улучшения долговечности трущихся и продления срока их службы. (Справка Министерства промышленности и новых технологий Республики Таджикистан № 15-332 от 14.02.2023 г.).

Апробация научных исследований. Основные результаты исследования диссертации обсуждались на 3 международных и 2 республиканских научно-практических конференциях.

Опубликованность результатов исследований. Всего по теме диссертации опубликовано 12 научных работ. Основные научные результаты опубликованы в 7 научных изданиях, в том числе 7 в зарубежных журналах, рекомендованных к опубликованию основных научных результатов докторских (PhD) диссертаций ВАК Республики Узбекистан. Получено 2 патента Республики Таджикистан (ТJ № 1275, 1791) на составы разработанных сплавов.

Структура и объем диссертации. Структура диссертации состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Объем диссертации составляет 120 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность и востребованность проведенного исследования, его цель и задачи, характеризуются его объект и предмет, показано соответствие исследования приоритетным направлениям развития науки и технологии Республики Узбекистан, излагаются научная новизна и практическая значимость полученных результатов, даются сведения о опубликованных работах по результатам исследования и структуре диссертации.

В первой главе диссертации «Особенности анодного поведения и окисления легированных цинковых сплавов и защитных покрытий на их

основе» приведены результаты исследований ряда ведущих ученых мира в области свойств алюминиевых сплавов.

В сплавах с содержанием цинка (99,5, 95, 78, 45 мас.% Zn) имеется более прочная связь между атомами алюминия и цинка, чем в сплавах другого состава. В системе Zn-Al показано эвтектоидное и эвтектическое превращение (рис. 1.1). Цинк сплавляется с алюминием с выделением тепла. Определения постоянных кристаллических решеток производились при предельном содержании цинка (β -фаза) и алюминия (α -фаза) в твердом растворе. С ростом температуры отмечается повышение растворимости Zn в Al (%):

Температура, °C	77	127	177	227	275	327	340	351.2	340	443
% (по массе)	2.5	6.2	11.5	18.0	31.6	43.5	49	61.3	69.5	70.0
% (ат.)	1.25	2.8	5.5	8.0	15.9	24.0	28.8	38.7	47.9	49.3

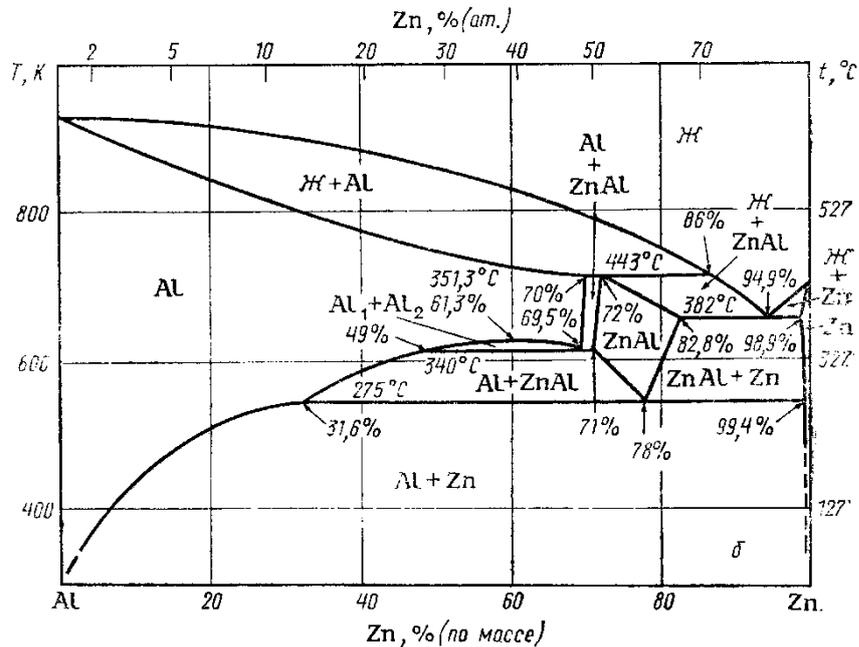


Рисунок 1.1. – Диаграмма состояния системы Zn-Al

Сведения о кристаллические фазы двойных оксидов системы ZnO-Al₂O₃ обобщены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Кристаллические фазы системы ZnO-Al₂O₃

Соединение	Плотность, g/cm ³	Форма кристаллов	Nq	Np	2Vo°	Двупреломление	Оптический знак	Цвет	Спайность	Погасание
ZnO	5.53 - 5.7	Призмы гексагональные	2.02	2.00	0	0.016	+	Красный	120	Прямое

ZnO·Al ₂ O ₃	4.58	Кубическая система, октаэдры	1.80	-	-	-	-	-	(III)	,
------------------------------------	------	------------------------------	------	---	---	---	---	---	-------	---

Система Zn-Al-Ga. Тройная фазовая диаграмма Zn-Al-Ga была ранее установлена с помощью термодинамического моделирования. По-видимому, никаких экспериментальных исследований этой системы не проводилось, за исключением измерения энтальпий смешения в жидкости. Установлены четыре изоплетических разреза и частично изучены два других в богатом Al углу диаграммы. На этих срезах определены две изобарные тройные инвариантные реакции: эвтектическая при $23\pm 1^\circ\text{C}$ и метатектическая при $123\pm 1^\circ\text{C}$. Были найдены доказательства существования ретроградной смешиваемости Ga в твердом растворе α_{SS} , который проникает в тройную систему, начиная с бинарной системы Al-Zn, вплоть до концентрации Ga около 30% (рис. 1.2).

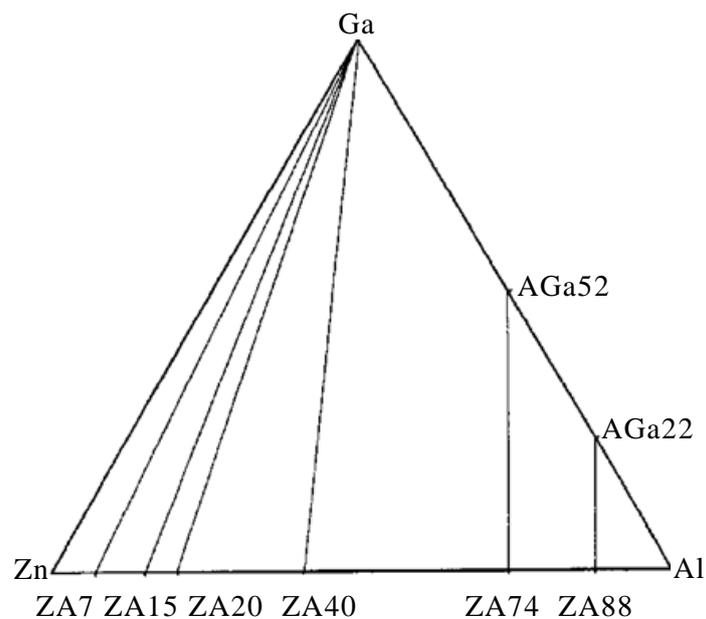


Рисунок 1.2. – Изоплетные разрезы в системе Zn-Al-Ga

Данное экспериментальное исследование проведено методами термического анализа и рентгеноструктурного анализа при различных температурах методом изоплетических срезов. На основе данных были выбраны четыре основных изоплетических разреза (рис. 1.2): по этим изоплетам были определены составы и температуры тройных инвариантных равновесий.

Также были идентифицированы поля смешиваемости в твердом состоянии. Кроме того, были частично изучены два изоплетических разреза с целью определения пределов изобарных тройных инвариантов в богатом Al-углу: ZA74-AGa52 и ZA88-AGa22.

В работах авторов представлены пять экспериментальных изоплетических разрезов на тройной фазовой диаграмме Zn-Al-Ga. На этих разрезах были определены две изобарные тройные инвариантные реакции, и наблюдалась значительная ретроградная смешиваемость Ga в твердом растворе α_{SS} . Подробно изучены две изобарические инвариантные реакции. В частности, указан состав инвариантных фаз и изучена растворимость Ga в тройном твердом растворе α_{SS} . Установлены изотермические разрезы. Результаты подтверждают существование точки схода в области ликвидуса, сопряженной с тройной критической точкой около 290°C. Предложен общий перспективный вид равновесий на диаграмме.

В работе исследователей подчеркивается влияние фазовых превращений на электрохимическое поведение бинарных сплавов Al-Ga и тройных сплавов Zn-Al-Ga, используемых в качестве расходных анодов. Исследование тройной фазовой диаграммы Zn-Al-Ga было проведено для нахождения стабильных и метастабильных равновесий. Знание этих равновесий позволило определить термические обработки, которые определяют при комнатной температуре существование (или отсутствие) богатой галлием жидкой фазы в сплавах. Более значительная депассивация наблюдалась, когда термодинамические данные указывали на то, что галлий находился в жидком состоянии. Для этих сплавов установлена корреляция электрохимической депассивации с фазовой диаграммой.

Во второй главе диссертации «Исследование анодного поведения сплава Zn₂₂Al, легированного галлием, индием и таллием, в коррозионно-активных средах» приводятся результаты исследований по изучению анодного поведения сплава легированного галлием, индием и таллием».

Нагрев и плавление металлов, их взаимное растворение при образовании сплавов, обработка полученного расплава, его заливка в литейную форму с последующей кристаллизацией, затвердевание литой заготовки представляют собой процессы, имеющие место при любой технологии синтеза сплавов. Важное значение имеют свойства металлических сплавов в твердом состоянии при высоких температурах. Необходимы также сведения о взаимодействии металлических расплавов с газами и различными веществами, используемыми в качестве шлаков и флюсов. Температура плавления во многом предопределяет способ получения расплава: вид энергии, способ нагрева, материал плавильной емкости и материал литейной формы.

Синтез и разработки новых сплавов Zn₂₂Al с рассеянными редкими металлами (Ga, In, Tl), совершенствование процесса синтеза сплавов и улучшения их различных свойств к развитию фундаментальных научных и металлургических исследований наряду с решением конкретных технологических задач является значительное достижение в науке и технике.

В качестве исходных материалов использовали гранулированный цинк (ч.д.а.), алюминий А7 (тех.ч.), металлический галлий Гл-0 (х.ч.), таллий Тл-0 (х.ч.) и индий Ин-0 (х.ч.), которую синтезировали в печи СШОЛ в интервале температур 650–750 °С. Их химический состав оценивали методом

рентгеноспектрального микроанализа с помощью прибора SEMAIS2100. Результаты свидетельствуют о соответствии заданных (целевая программа) и полученных (достигаемая программа) составы синтезированных тройных сплавов систем Zn₂₂Al-Ga(In,Tl). Точность проверки по результатам анализа сплавов составляло $\pm 10^{-3}\%$ (рис. 2.1, 2.2).

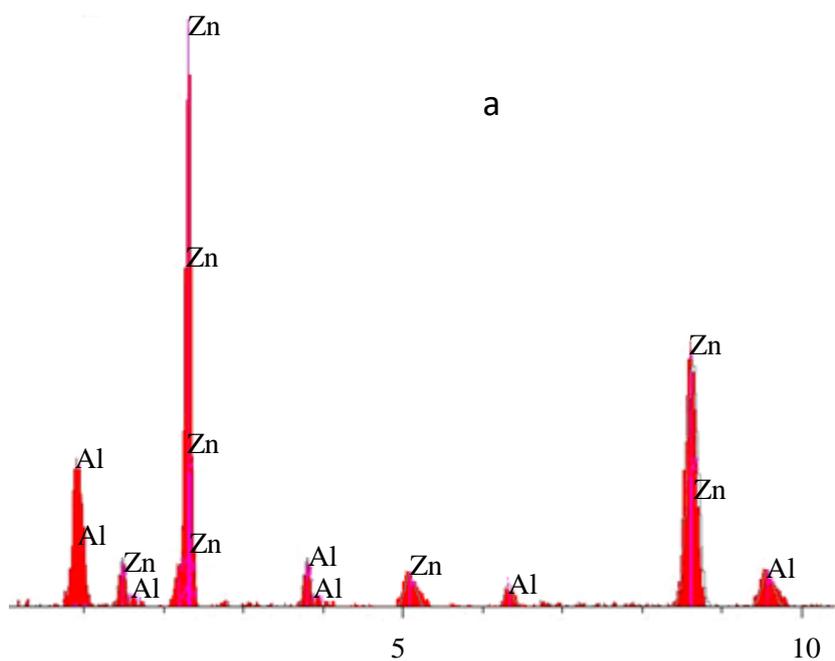
В качестве методики исследования коррозионно-электрохимических свойств сплавов приводятся ряд современных методик исследований. В частности, образцы из сплава Zn₂₂Al, легированного галлием, индием и таллием подготовили следующим образом: из синтезированных сплавов различного состава (см. параграфе 2.1) отливали в изложницу стержни размером 8X140 мм; для получения одинаковую площадь поверхности, боковая часть образцов покрывали коррозионностойким лаком; каждую образцу предварительно полировали и обрабатывали наждачной бумагой; образцы из исследуемых сплавов обезжировали, промывали спиртом и погружали в HCl, NaCl и NaOH.

Особое внимание уделено предварительную подготовку поверхности рабочего электрода, выбору электроду сравнения и вспомогательного электрода электрохимической ячейки. Следовательно, в некоторых случаях воздействие коррозионной среды приводит к глубоким изменениям состава и свойств материала. С целью измерения электродных потенциалов и выявления поведение сплавов при анодной защите, исследуемый сплав различного состава использовали рабочий электрод, а электрод сравнения служил хлоридсеребряный электрод. Также применялись вспомогательный платиновый электрод.

Потенциостатическое исследование анодного поведения легированного галлием, индием и таллием сплава Zn₂₂Al проводили в потенциодинамическом режиме (2мВ/с) с помощью прибора потенциостат ПИ-50.1.1 в различных коррозионных средах электролитов: 0.1; 0.01; 0.001н (рН=1; 2; 3) HCl, 0.03; 0.3; 3% (рН=7) NaCl и 0.001; 0.01; 0.1н (рН=10; 11; 12) NaOH. Методика исследования подробно описана в работах.

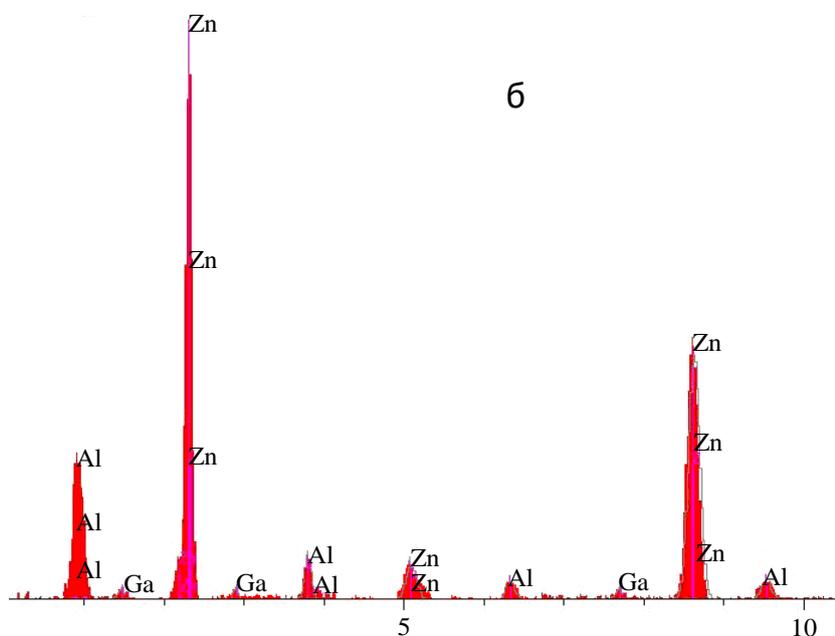
На изображенной графике, как пример, схематически показано последовательность ход снятия потенциодинамической анодной и катодной поляризационной кривой базового сплава Zn₂₂Al в нейтральной среде (рис. 2.3). Каждый образец из полученных сплавов отдельно потенциодинамически поляризовали в положительную сторону начиная от стационарного потенциала свободной коррозии ($E_{св.кор.}$) (кривая I, рис. 2.3) до величины потенциала питтингообразования ($E_{п.о.}$). Затем образец поляризовали снова в обратную сторону (кривая II, рис. 2.3) и по изгибу, указанной на кривой II находили значения потенциала репассивации ($E_{р.п.}$). Образующая оксидная плёнка удалялась от поверхности образца при катодной поляризации до установленного значения ($E=1300$ В) (кривая III, рис. 2.3). Затем снова образец поляризовали в положительную сторону (кривая IV, рис. 2.3). Наконец, по анодным потенциодинамическим кривым определяли электродные потенциалы, характеризующие коррозионно-электрохимическое поведение образцов из исследованных сплавов. Плотность тока коррозии в зависимости

от электродного потенциала определяли по катодной потенциодинамической кривой, учитывая наклону тафелевской прямой.



kV 20.0
Take off Angle 25.0°
Elapsed Livetime 10.0

	Units	Conc	Error-2sig	Intensity (c/s)	Line	Elt
	wt. %	22.003	0.952	110.04	Ka	Al
	wt. %	77.997	2.048	389.96	Ka	Zn
Total	wt. %	100.000				



	Units	Conc	Error-2sig	Intensity (c/s)	Line	Elt
	wt. %	0.010	0.001	8.75	Ka	Ga
	wt. %	22.001	0.536	129.72	Ka	Al
	wt. %	77.989	1.844	292.92	Ka	Zn
Total	wt. %	100.000				

Рисунок 2.1. – Интенсивности рентгеноспектральных линий компонентов сплава Zn22Al (а) с 0.01 мас.% галлий (б).

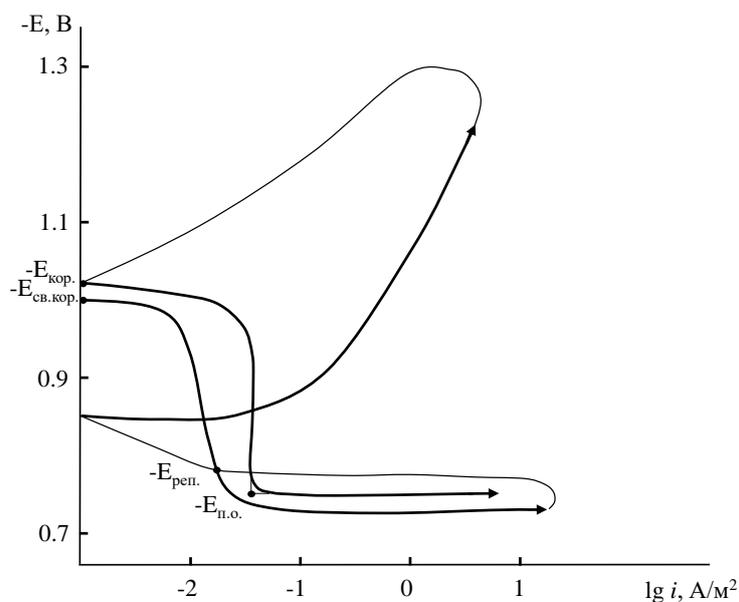


Рисунок 2.3. – Потенциодинамические (2мВ/с) анодные и катодные поляризационные кривые сплава Zn22Al, содержащего 1.0 мас.% таллия, в среде 0.03%-ного электролита NaCl.

В третьей главе диссертации «Исследование высокотемпературного окисления сплава Zn22Al, легированного галлием, индием и таллием, в твердом состоянии» приводятся результаты исследований по высокотемпературному окислению сплава Zn22Al, легированного галлием, индием и таллием. Исследование высокотемпературное окисление металлов и сплавов, в твёрдом состоянии, в воздушной среде представляет научный и практический интерес.

Высокотемпературное окисление – основа газовой коррозии – является в свою очередь достаточно сложным процессом, определяющим законы роста оксидных слоев. Окисляющим газом помимо кислорода могут быть серо- и углеродсодержащие газы и др. Разрушение оксидные плёнки, изменяя законы роста, ускоряет высокотемпературное окисление металлов и сплавов.

Вследствие контакта металлических сплавов с газовыми средами или кислородом воздуха происходит газовая коррозия, где фундаментальное представление об их окислении при высоких температурах является основанием для создания специальных защитных металлических покрытий. Специальные защитные покрытия, нанесённые на поверхности углеродистых стальных изделий и конструкций, применяемые в народном хозяйстве, машиностроении, гальванотехнике, строительстве и т.д. позволят повысить коррозионной стойкости и продлевать срока их службы.

Таким образом, анализ литературных источников свидетельствует о том, что авторами изучены окисления цинково-алюминиевых сплавов (Zn55Al, Zn5Al, Zn0.5Al), легированных с ряд металлами. В частности, в работах сообщается об окислении Zn-Al сплавов эвтектоидного (Zn0.5Al) и эвтектического (Zn5Al) состава с участием рассеянных редких металлов (Ga, In, Tl). Следовательно, анализ литературы указывает об отсутствии данных по окислению цинково-алюминиевого сплава Zn22Al с различным

содержанием галлия, индия и таллия.

Для изучения окисления сплавов использовался метод непрерывного взвешивания образцов, применяемый обычно при изучении высокотемпературной коррозии металлов. Этот метод позволяет определить кинетические и энергетические параметры окисления металлов и сплавов. К достоинствам данного метода следует отнести относительную простоту аппаратного оформления и возможности его использования при высоких температурах. Легированный сплав Zn₂₂Al с Ga, In и Tl подвергался окислению в твердом состоянии и изотермических условиях (при T = 473, 523, 623 К).

Синтезированные образцы сплавов различного состава для изучения их окисления приготовили отрезанием на приборе электроэрозионной резки. Образцы сплавов имели форму цилиндра с геометрическим размером 8×4 мм. После шлифования образцов сплавов наждачной бумагой удаляли примесей, образующие на их поверхности при резке. Затем образцы сплавов обезжиривали в растворе NaOH (10%), длительность процесса обезжиривания составляла 10-15 с. Навески образцов сплавов в среднем составляли 1.25 г, а погрешность нахождения изменения массы образцов составили ±0.5%.

Термогравиметрическое исследование окисления образцов сплавов проводили на известной установке. С использованием катетометра КМ-8 контролировали изменение веса образцов сплавов по растяжению висящей пружины в электрической печи сопротивления. Используемые тигли для исследования имели геометрическим размером 20×25 мм. Процесс прокаливании тигли перед опытом осуществлялось при температуре 1000–1200⁰ С и контролировалось до приобретения постоянного веса. Затем с применением рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН-2.0 используя медного К α -излучения определяли фазовые составляющие продукты окисления. Расшифровку экспериментально нами полученных пиков на дифрактограмме проводили путём сопоставления с дифракционными данными из картотеки ICDD.

В четвёртой главе диссертации «Разработка математической модели окисления сплава Zn₂₂Al, легированного галлием, индием и таллием» приводятся результаты математического моделирования процесса, в частности. На основании экспериментальных данных степень зависимости количественных показателей ввода галлия в сплав, разработана математическая модель процесса. На основе этих данных рассматривается задача математического моделирования количественных изменений оксидных добавок в сплаве, то есть математическая оценка результатов экспериментов с аналитической точки зрения путем определения математической функциональной связи. Определение экспериментальных данных с помощью математической функции эквивалентно задаче определения однозначных многоуровневых коэффициентов.

Для определения изменение количества окисления сплава при изменении количества ввода галлия можно написать следующее выражение:

$$d_1 = 6_{нм}, d_2 = 10_{нм}, d_3 = 14_{нм}, d_4 = 20_{нм}, d_5 = 30_{нм};$$

$$\lambda_1 = 0,52, \lambda_2 = 0,48, \lambda_3 = 0,44, \lambda_4 = 0,38, \lambda_5 = 0,34, \left[\frac{см}{100г} \right]. \quad (1)$$

При решении этой системы неоднородных алгебраических уравнений с использованием метода Гаусса или Крамера с использованием программного пакета Maple 13, мы получим следующие решения:

$$a_1 = 0,59312, a_2 = -0,01509, a_3 = 0,00069, a_4 = -0,00004, a_5 = 0.$$

Система алгебраических уравнений выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} a_1 + 6a_2 + 36a_3 + 216a_4 + 1296a_5 = 0,52 \\ a_1 + 10a_2 + 100a_3 + 1000a_4 + 10000a_5 = 0,48 \\ a_1 + 14a_2 + 196a_3 + 2744a_4 + 38416a_5 = 0,44 \\ a_1 + 20a_2 + 400a_3 + 8000a_4 + 160000a_5 = 0,38 \\ a_1 + 30a_2 + 900a_3 + 27000a_4 + 810000a_5 = 0,34 \end{cases} . \quad (2)$$

Функция, характеризующая изменение количества окислов в сплаве при изменении среднего количества галлия, выглядит следующим образом:

$$\lambda(d) = 0,59312 - 0,01509d + 0,00069d^2 - 0,00004d^3. \quad (3)$$

Используя это выражение, можно определить количество окислов в сплаве, чтобы показать уровень точности при этом используется Maple 13.

Заключение

На основании проведённых экспериментальных исследований по диссертационной работе сформулированы следующие выводы:

1. На основе влияния химических элементов на коррозионную стойкость алюминиево-цинкового сплава, разработан новый состав цинко-алюминиевого сплава (патент Таджикистана № ТЈ 1275). Это послужит для повышения коррозионной стойкости машиностроительных деталей изготавливаемых из цинко-алюминиевых сплавов.

2. Установлено, что добавки галлия, индия и таллия в пределах 0.01-0.1 мас.% в 2-3 раза повышают анодную устойчивость сплава Zn22Al, в коррозионно-активных средах. Это послужит для повышения анодной устойчивости сплава в коррозионно-активных средах.

3. На основе изменений потенциала коррозий алюминия, разработан график динамики питтингообразования и репассивации алюминиево-цинковых сплавов. Это может служить для определения питтингообразования и репассивации алюминиево-цинковых сплавов.

4. Определено, что при переходе от легированных галлием сплавов к сплавам с индием, далее к сплавам с таллием скорость коррозии сплавов несколько растёт от рН среды. Это может служить для определения скорости коррозии сплавов.

5. На основе гиперболической зависимости окисления цинка от температуры среды разработан график характера окисления сплавов систем Zn22Al-Ga(In,Tl). Это послужит для определения степени окисления сплавов.

6. На основе изменения стойкости сплава Zn22Al к окислению, разработана зависимость прочности к количеству легирующих добавок галлия, индия и таллия. Это может служить для определения стойкости сплава Zn22Al к окислению.

7. На основе эффективности обработки сплава галлием разработана схема энергии активации окисляемости сплавов. Это послужит для определения энергии активации окисляемости сплавов на основе алюминий-цинк.

8. Разработана математическая модель процесса окисления алюминиево-цинковых сплавов для различных температурных и геометрических параметров шихты. Модель может быть использована для определения оптимальных параметров вводимых элементов без проведения дополнительных исследований.

**SCIENTIFIC COUNCIL DSc.03/30.12.2019.T.03.04. ON THE ADMISSION
OF SCIENTIFIC AT THE TASHKENT STATE TECHNICAL
UNIVERSITY**

**KHUYAND STATE UNIVERSITY NAMED AFTER ACADEMICIAN B.
GAFUROV, TASHKENT STATE TECHNICAL UNIVERSITY NAMED
AFTER I. KARIMOV**

SHARIPOV JAMSHED KHAKIMOVICH

**ANODIC BEHAVIOR AND OXIDATION OF ZN22AL ALLOY DOPED
WITH GALLIUM, INDIUM AND THALLIUM, MODELING CHANGES IN
THEIR PROPERTIES**

**05.02.01 - Material Science in Mechanical Engineering. Foundry. Heat treatment and
treatment of metals by pressure. Metallurgy of ferrous, non-
ferrous and rare metals**

ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) IN TECHNICAL SCIENCES

Tashkent – 2024

The theme of doctor of philosophy (PhD) was registered at the Supreme Attestation Commission at the Supreme Attestation Commission at the Ministry of higher education, science and innovations of the Republic of Uzbekistan on the _____.

The dissertation was completed at the department of “Solid State Physics” of Khujand State University named after acad. B. Gafurov and “Foundry Technologies” Tashkent State Technical University named after I. Karimov.

The abstract of the dissertation in two languages (Uzbek, Russian and English (summary)) is available on the web page (www.tdtu.uz) and the information and educational portal “Ziyonet” (www.ziyonet.uz).

Scientific consultant:

Obidov Ziyodullo Rakhmatovich
Doctor of Technical Sciences, Professor
Turakhodjaev Nodir Djakhongirovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Official opponents:

Dunyashin Nikolai Sergeevich
Doctor of Technical Sciences, Professor
Khudoyarov Suleyman Rashidovich
Doctor of Philosophy Technical Sciences,
Assistant Professor

Leading organization:

**Andijan Mechanical Engineering
Institute**

The defense of the dissertation consists of «30» november 2024 at 14⁰⁰ hours at a meeting of the Scientific Council .No DSc.03/30.12.2019.T.03.04. under the Tashkent State Technical University (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Tel./fax: (99871) 227-10-32, e-mail: tadqiqotchi@tdtu.uz)

The dissertation can be found in the Information Resource Center of Tashkent State Technical University (registered for №405). (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Tel. / Fax: (99871) 227-10-32)
Abstract of the dissertation was distributed on «18» November 2024.
(mailing report № «181» on «18» november 2024).

K.A.Karimov
Chairman of scientific council for degrees,
Doctor of technical sciences, professor

Sh.B.Tashbulatov
Scientific secretary of the scientific
council on awarding scientific degrees, senior researcher

N.S.Dunyashin
Chairman of the scientific seminar,
Doctor of technical sciences, professor

INTRODUCTION (abstract of the thesis of the Doctor of Philosophy (PhD))

The purpose of the study. development of technology and composition of alloying elements that help reduce the oxidation of aluminum-zinc alloys.

The objectives of the research:

Is the development of technology and composition of alloying elements that help reduce the oxidation of aluminum-zinc alloys.

The object of the research work are alloys of the Zn₂₂Al-Ga, Zn₂₂Al-In and Zn₂₂Al-Tl systems.

The scientific novelty of the research work is as follows:

based on the influence of chemical elements on the corrosion resistance of an aluminum-zinc alloy, a new composition of a zinc-aluminum alloy has been developed (Tajikistan patent No. TJ 1275);

it has been established that the additions of gallium, indium and thallium are in the range of 0.01-0.1

wt.% increases the anodic stability of the Zn₂₂Al alloy by 2-3 times in corrosive environments;

based on changes in the corrosion potential of aluminum, a graph of the dynamics of pitting formation and repassivation of aluminum-zinc alloys was developed;

it has been determined that during the transition from gallium alloys to alloys with indium, then to alloys with thallium, the corrosion rate of the alloys increases slightly depending on the pH of the environment;

based on the hyperbolic dependence of zinc oxidation on environmental temperature, a graph of the nature of oxidation of alloys of Zn₂₂Al-Ga(In,Tl) systems was developed;

based on changes in the oxidation resistance of the Zn₂₂Al alloy, a relationship between the strength and the amount of alloying additives gallium, indium and thallium has been developed;

based on the efficiency of treating the alloy with gallium, a diagram of the activation energy of the oxidation of alloys has been developed;

a mathematical model of the oxidation process of aluminum-zinc alloys has been developed for various temperature and geometric parameters of the charge.

Implementation of research results.

Based on the results obtained on the anodic behavior and oxidation of the Zn₂₂Al alloy alloyed with gallium, indium and thallium, the following results were developed and introduced into production (copies of approved acts of implementation of the results are attached in the dissertation appendix):

a new composition of the Zn₂₂Al alloy with indium (patent No. TJ 1275) was introduced at the State Unitary Enterprise “Korgohi moshinasozi” (Certificate of the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan No. 14-334 dated 02/15/2023). As a result of implementation, the durability of engineering parts increased by 12-14%;

the technology of the hot method of applying protective alloy coatings by immersing parts made of carbon steels of various grades into their melt was

introduced at the State Unitary Enterprise “Korgohi moshinasozi” (Certificate of the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan No. 14-334 dated 02/15/2023). As a result of implementation, the corrosion resistance of steel parts increased by 25-27%;

the composition of the protective coating against corrosion of alloys was introduced at the State Unitary Enterprise “Korgohi Moshinasozi” (Certificate of the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan No. 14-334 dated 02/15/2023). As a result of implementation, the oxidation rate of the surface of parts decreased by 8-10%;

the economic effect from the use of the specified protective corrosion-resistant alloy coatings is 812 US dollars per year, due to improving the durability of rubbing parts and extending their service life. (Certificate of the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Tajikistan No. 15-332 dated February 14, 2023).

Structure and scope of the thesis.

The structure of the dissertation consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The volume of the dissertation is 120 pages.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I бўлим (I часть; part I)

1. Шарипов Дж.Х. Анодное поведение сплава Zn22Al, легированного галлием, в коррозионно-активных средах / Дж.Х. Шарипов, Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вопросы материаловедения. Scopus, WoS. – 2022. – № 4 (112). – С. 94-101.

2. Шарипов Дж.Х. Анодное поведение и окисление сплава Zn22Al, легированного таллием / Дж.Х. Шарипов, Ф.А. Алиев, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Неорганические материалы. – Scopus, WoS. – 2023. – Т. 59. - № 5. – С. 494-500.

3. Sharipov J.Kh. The Influence of Thallium Additives on the Kinetics of Oxidation of the Zn22Al alloy / J.H. Sharipov, I.B. Hakimov, Z.R. Obidov // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. WoS. – 2023. – V. 16. – No 3. – P. 369-370.

4. Sharipov J.Kh. Kinetics of Interaction of Hard Alloys Zn22Al-Tl System with Oxygen in the Gas Phase // Universum – Technical Science. Metallurgy and Materials Science. – Crossref, Ulrichsweb. – 2022. – №12 (105). – P. 64-66.

5. Шарипов Дж.Х. Окисление сплава Zn22Al, легированного таллием / Дж.Х. Шарипов, И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки. РИНЦ. – 2022. – № 4. – С. 122-126.

II бўлим (II часть, II part)

6. Шарипов Дж.Х. Окисление сплава Zn22Al с галлием / Дж.Х. Шарипов, З.Р. Обидов // Сб. статей и тез. Межд. науч.-практ. конф. «Технология новых материалов: перспективы развития полимерных композиционных материалов, применяемых в машиностроении». Андижанский машиностроительный институт и Национальный технологический институт Шринагара. Андижан. – 2022. – С. 283-285.

7. Шарипов Дж.Х. Исследование анодного поведения сплава Zn22Al, легированного таллием, в нейтральной среде / З.Р. Обидов, Дж.Х. Шарипов, П.Р. Иброхимов // Сб. науч. статей XXVI Межд. науч.-практ. конф. «Инновация–2022». Государственный комитет промышленной безопасности Республики Узбекистан. Ташкентский Государственный технический университет. Центр стратегических инноваций и информатизации. Навоийский горно-металлургический комбинат. Алмалыкский горно-металлургический комбинат. Узметкомбинат. Ташкент. – 2022. – С. 44-45.

8. Шарипов Дж.Х. Влияние индия на кинетику окисления сплава Zn22Al / Дж.Х. Шарипов, П.Р. Иброхимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Сб. матер. Межд. науч.-практ. конф. «Использование природных ресурсов, экология и

устойчивое развитие». Горно-металлургический институт Таджикистана, Норвежский университет естественных наук, Украинский государственный химико-технологический университет и Южно-Казахстанский государственный университет. Бустон. – 2022. – С. 131-132.

9. Шарипов Дж.Х. Окисление цинкового сплава Zn22Al с галлием / Дж.Х. Шарипов, А.Н. Шохиён, З.Р. Обидов, И.Б. Хакимов // Сб. матер. Межд. науч.-практ. конф. «Таджикистан и современный мир: новые горизонты научно-технического, экономического и инновационного сотрудничества». Министерство образования и науки республики таджикистан. Министерство промышленности и новых технологий Республики Таджикистан. Институт технологий и инновационного менеджмента в городе Куляб. Куляб. – 2022. – С. 221-222.

10. Karimov K.A. Application of mathematical modeling for the synthesis of new alloys / K.A. Karimov, N.J. Turakhodjaev, A.N. Akhmedov, M.M. Mirmuhamedov, J.H. Sharipov, Z.R. Obidov // Universum – Technical Science. Metallurgy and Materials science. – Crossref, Ulrichsweb. – 2023. – №10 (115). – С. 55-58.

11. Karimov K.A. Mathematical modeling of the development of various new alloys / K.A. Karimov, N.J. Turakhodjaev, M.M. Mirmuhamedov, J.H. Sharipov, Z.R. Obidov // Сб. науч. тр. по матер. XIX Межд. науч.-практ. конф. «Современные тенденции развития науки и мирового сообщества». – Научно исследовательский центр «Иннова». г.-к. Анапа РФ. – 2023. – С. 15-20.

12. Karimov K.A. Mathematical modeling of chemical-technological processes during the development of Various New Alloys / K.A. Karimov, N.J. Turakhodjaev, A.N. Akhmedov, M.M. Mirmuhamedov, J.H. Sharipov, Z.R. Obidov // Journal of Siberian Federal University. Materials and Metallurgy. Scopus, WoS. – 2023. – V. 16. – N. 4. – P. 324-332

13. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1275. Цинк-алюминиевый сплав / Дж.Х. Шарипов, Ш.Г. Раджабова, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов и др. // Приоритет изобретения от 26.01.2022 г.

14. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1372. Цинк-алюминиевый сплав / Дж.Х. Шарипов, М.М. Мирмухамедов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов и др. // Приоритет изобретения от 31.01.2023 г. Автореферат «ТошДТУ хабарлари» ва «Энергия ва ресурс тежаш муаммолари» журналлари тахририятида тахрирдан ўтказилиб, ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнлари ўзаро мувофиқлаштирилди.

Автореферат «ТошДТУ хабарлари» журналлари таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги (14.12.2023 йил) текширилди.

Бомишга рухсат этилди: 14.08.2023 йил.
Бичими 60x45 1/8, «Times New Roman»
Гарнитурада рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табоғи 2,75. Адади: 70. Буюртма №-26.
ТТЕСИ босмохонасида чоп этилди.
Тошкент шаҳри, Шоҳжаҳон кўчаси, 5-уй.