

ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги **ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА**
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.T.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

КЎЛОБ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА ИННОВАЦИОН МЕНЕЖМЕНТ
ИНСТИТУТИ В.И. НИКИТИН номли **КИМЁ ИНСТИТУТИ**

ТОЖИКИСТОН МИЛЛИЙ ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ

ҲАКИМОВ ИСКАНДАР БОЗОРОВИЧ

ХРОМ, МАРГАНЕЦ ВА НИКЕЛЬ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН ZN22AL
РУХ-АЛЮМИНИЙ ҚОТИШМАСИНИНГ АНОД ЎЗИНИ ТУТИШИ ВА
ОКСИДЛАНИШИ

05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик.
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 – 2022

ИСЛОМ КАРИМОВ номидаги **ТОШКЕНТ ДАВЛАТ ТЕХНИКА**
УНИВЕРСИТЕТИ ҲУЗУРИДАГИ ИЛМИЙ ДАРАЖАЛАР БЕРУВЧИ
DSc.03/30.12.2019.T.03.04 РАҚАМЛИ ИЛМИЙ КЕНГАШ

КЎЛОБ ТЕХНОЛОГИЯЛАР ВА ИННОВАЦИОН МЕНЕЖМЕНТ
ИНСТИТУТИ В.И. НИКИТИН номи **КИМЁ ИНСТИТУТИ**

ТОЖИКИСТОН МИЛЛИЙ ФАҢЛАР АКАДЕМИЯСИ

ХРОМ, МАРГАНЕЦ ВА НИКЕЛЬ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН ZN22AL
РУХ-АЛЮМИНИЙ ҚОТИШМАСИНИНГ АНОД ЎЗИНИ ТУТИШИ ВА
ОКСИДЛАНИШИ

05.02.01 – Машинасозликда материалшунослик. Қуймачилик.
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 ФАҢЛАРИ БЎЙИЧА ФАЛСАФА ДОКТОРИ (PhD)
ДИССЕРТАЦИЯСИ АВТОРЕФЕРАТИ

Тошкент – 2022

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

**Оглавление автореферата диссертации доктора философии (PhD)
по техническим наукам**

**Content of the abstract of dissertation of doctor of philosophy (PhD)
on technical sciences**

Ҳакимов Искандар Бозорович

Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий
котишмасининг анод ўзини тутиши ва оксидланиши.....5

Ҳакимов Искандар Бозорович

Анодное поведение и окисление цинково-алюминиевого сплава Zn22Al,
легированного хромом, марганцем и никелем.....25

Hakimov Iskandar Bozorovich

Anode behavior and oxidation of zinc-aluminium Zn2Al alloy, doped with chrome,
manganese and nickel.....47

Эълон қилинган ишлар рўйхати

Список опубликованных работ
List of published works51

Фалсафа доктори (PhD) диссертацияси мавзуси Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамаси ҳузуридаги Олий аттестация комиссиясида _____ рақам билан рўйхатга олинган.

Диссертация Кўлоб технологиялар ва инновацион менежмент институти, В.И. Никитин номли кимё институти Тожикистон миллий фанлар академиясида бажарилган.

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

Илмий раҳбар:

Обидов Зиёдулло Раҳматович
кимё фанлари доктори, профессор

Расмий оппонентлар:

Норхўжаев Файзулла Рамазанович
техника фанлари доктори, профессор
Тўрахўжаева Ширинхон Нодир қизи
техника фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD

Етакчи ташкилот:

Миллий технологик тадқиқотлар университети «МИСиС» Олмалик филиали

Диссертация ҳимояси Тошкент давлат техника университети ҳузуридаги илмий даражалар берувчи DSc.03/30.12.2019.T.03.04 рақамли Илмий кенгашнинг 2022 йил «15» 10 соат 14⁰⁰ даги мажлисида бўлиб ўтади. (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси, 2.Тел./факс: (+998971) 227-10-32; e-mail: tadqiqotchi@edu.uz).

Диссертация билан Тошкент давлат техника университети Ахборот-ресурс марказида танишиш мумкин (275 рақам билан рўйхатга олинган) (Манзил: 100095, Тошкент, Университет кўчаси-2. Тел: (998971) 227-10-32).

Диссертация автореферати 2022 йил «30» 09. тарқатилди (2022 йил «30» 09. даги 151 рақамли реестр баённомаси).

К.А. Каримов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш раиси,
техника фанлари доктори, профессор

Ш.Б.Ташбулатов

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш илмий котиби,
техника фанлари бўйича фалсафа доктори, PhD

Н.Д. Тураходжаев

Илмий даражалар берувчи илмий кенгаш
қошидаги илмий семинар раиси,
техника фанлари доктори, профессор

КИРИШ (фалсафа доктори (PhD) диссертациясининг аннотацияси)

Диссертация мавзусининг долзарблиги ва зарурати. Жаҳонда легирланган рух-алюминий қотишмаси асосида машинасозлик деталларини ишлаб чиқаришда материалларнинг коррозияланишини олдини олиш учун коррозиядан ҳимоялаш воситаларини ишлаб чиқиш масалаларига алоҳида аҳамият берилмоқда. Ҳозирги кунда хром, марганец ва никель билан легирланган алюминий қотишмасининг мустаҳкамлигини ошириш, ушбу қотишмадан олинаётган маҳсулотларнинг хизмат муддатини ошириш, қотишмани олиш жараёнида ресурс тежамкорлигини таъминлаш муҳим вазифа ҳисобланади. Бу борада ривожланган мамлакатларда, жумладан Англия, Германия, Россия, Япония, Қозоғистон, Хитой каби мамлакатларнинг илмий-тадқиқот марказларида алюминий-рух қотишмаларини хром, марганец ва никель билан легирлашда ташкил этувчиларнинг оптимал таркибини аниқлаш, легирлаш режимларининг оптимал параметрларини ишлаб чиқиш, легирланган қотишманинг коррозиябардошлигини таъминлашда энергия тежамкорлигини оширишга алоҳида эътибор қаратилмоқда.

Жаҳонда рух-алюминий қотишмасининг мустаҳкамлигига хром миқдорининг таъсирини таъсирини ўрганиш, марганецни қотишма таркибига киритиш усулининг таъсирини тадқиқ қилиш, никель билан легирлашда ҳарорат режимларини оптималлаш бўйича кенг кўламда илмий-тадқиқот ишлари олиб борилмоқда. Ушбу йўналишда, жумладан, машинасозлик деталларини ишлаб чиқаришда алюминий қотишмаларининг оптимал таркибини ишлаб чиқиш, қотишмани хром асосидаги легирловчи элементлар билан ишлов бериш, легирланган қотишманинг структурасига марганец ва никельнинг таъсир этиш даражасини аниқлаш бўйича тадқиқотлар устивор ҳисобланмоқда. Шу билан бирга қуйма усулда олинadиган рух-алюминий қотишмаларининг легирлаш жараёнида металл ҳароратининг таъсирини аниқлаш, иссиқлик алмашинув жараёнида энергия тежамкорликни таъминлайдиган технологияни ишлаб чиқиш, легирлаш жараёнида элементларнинг куйишини камайтириш режимларини ишлаб чиқиш бугунги куннинг долзарб вазифаларидан бири бўлиб қолмоқда.

Ўзбекистон Республикаси ва Тожикистон Республикасида машина деталлари ва асбобларини рух-алюминий қотишмасидан қуймакорлик усулида олиш технологиясини қўллаш орқали ижобий натижалар олиш бўйича илмий изланишлар олиб боришга катта эътибор қаратилиб, давлат стратегик ва иқтисодий аҳамиятга эга бўлган чора-тадбирлар амалга оширилиб, муайян натижаларга эришилмоқда. 2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича тараққиёт стратегиясида ¹“...саноатни сифат жиҳатдан янги босқичга кўтариш, маҳаллий хомашё манбаларини чуқур қайта ишлаш, тайёр маҳсулотлар ишлаб чиқаришни жадаллаштириш, янги турдаги маҳсулотлар

¹Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон “2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тарққиёт стратегияси тўғрисида”ги Фармони.

ва технологияларни ўзлаштириш...” бўйича илмий тадқиқотлар олиб бориш муҳим вазифалар белгилаб берилган. Ушбу вазифаларни амалга ошириш, жумладан турли металлларга ишлов берувчи асбобларни металл қатламли композициялар асосида олиш ва олинаётган асбобларнинг юқори эксплуатацион хоссаларини таъминлайдиган металл қатламли композициялар асосида ишлаб чиқиш жараёнларини тадқиқ қилиш ҳамда энергия тежамкор пухталаш технологияларни ишлаб чиқишга йўналтирилган илмий-тадқиқотлар муҳим аҳамиятга эга.

Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2022 йил 28 январдаги ПФ-60-сон «2022-2026 йилларга мўлжалланган Янги Ўзбекистоннинг тараққиёт стратегияси тўғрисида»ги Фармони, 2018 йил 27 апрелдаги ПҚ-3682-сонли “Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалий жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги қарори, Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 27 апрелдаги №ПФ-3682 «Инновацион ғоялар, технологиялар ва лойиҳаларни амалиётга жорий қилиш тизимини янада такомиллаштириш бўйича чоралар тўғрисида» Фармони, 2021 йил 24 июндаги №ПФ-5159 «Кон-металлургия саноати ва ёндош тармоқларни ривожлантириш бўйича қўшимча чоралар тўғрисида» Фармони, Тожикистон Республикаси Президентининг 2015 йил 5 ноябрдаги №ГР0102ТД923 «Тожикистон Республикасининг фан ва технологиялар соҳасида 2015-2020 йилларга мўлжалланган Стратегияси тўғрисида» Фармони ҳамда мазкур фаолиятга тегишли бошқа меъёрий-ҳуқуқий ҳужжатларда белгиланган вазифаларни амалга оширишга ушбу диссертация тадқиқоти муайян даражада хизмат қилади.

Тадқиқотнинг Республика фан ва технологиялари ривожланишининг устувор йўналишларига мослиги. Мазкур тадқиқот Тожикистон Республикаси ва Ўзбекистон Республикаси фан ва технологиялар ривожланишининг: II. «Энергетика, энергия ва ресурс тежамкорлик» устувор йўналиши доирасида бажарилган.

Муаммонинг ўрганилганлик даражаси. Дунёнинг етакчи олимлари руҳ-алюминий қотишмаларини суяқлантиришда ва легирлашда янги технологияларини яратиш ва мавжуд технологияларни такомиллаштириш, эритишда қўлланиладиган легирловчи элементларнинг таркибини ишлаб чиқиш бўйича қатор тадқиқотлар олиб боришган.

Калифорния (АҚШ) Maximilian Sokoluk, Chezhenг Cao, Jie Yuan, (Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California Los Angeles, California), Min Zuo (School of Materials Science and Engineering, University of Jinan, Jinan, 250022, People’s Republic of China) алюминий қотишмаларининг хоссаларини оширишда иссиқда кенгайишининг паст коэффициентни ҳисобига механик хоссаларининг ошишига эришдилар. Алюминийни легирлаш жараёнида ҳосил бўладиган кимёвий реакциялар устида Канада олими Т.А. Utigard ресурс тежамкорлигини таъминлашни 4-5% га ошириш имконига эришган. Англиялик Annalisa Pola, Marialaura Tocci қаттиқ металлни юқори иситиш тезлигида қайта ишлаш ва секин совутиш орқали қотишма структурасининг шарсимон ҳолатга келишига сабаб бўлиши

асосида механик хоссаларнинг яхшиланишига эришишган. Германия олими Jean Ducrocq эритма юзасидаги кўпикни доимий равишда олиш асосида ҳамда оксид қобик иссиқлик ўтказиш коэффициентини камайтиришини таъминлаш ҳисобига энерготежамкорликни 6-7% га оширишга эришган. Хитойлик тадқиқотчилар Zang Liguo, Van Wenhong, алюминий қотишмаларига ишлов беришда қўлланиладиган ҳимоя қобиғининг натрийсиз таркибини ишлаб чиқганлар.

Беларусь Миллий техника университети олимлари С.П.Задруцкий, Г.А.Румянцева, Б.М.Немененок, И.А.Горбель алюминий қайта ишлаш самарадорлигини ошириш технологиясини ишлаб чиқишган. Ўзбекистон тадқиқотчилари доцент Э.Х.Туляганов, профессор Н.Д.Тураходжаев ва доцент Т.Х.Турсуновлар қотишманинг углерод билан тўйиниш натижасида қуймадаги газ қўшимчаларининг миқдорини 12-14% га камайтиришга эришилган. Тожикистон олими З.Р.Обидов томонидан руҳ-алюминий қотишмасини хром билан легирлашда ресурс тежамкорликни 7-8 % га ошириш технологиясини ишлаб чиқган.

Рух-алюминий қотишмалари кўпгина ҳимоя қопламалари ва коррозияга бардошли қотишмаларнинг асосини ташкил қилади. Рух-алюминий қопламаларининг коррозияга бардошлилигини ошириш учинчи элемент билан легирлаш орқали амалга оширилади. Бериллий, магний, ноёб металллар ва ишқорли металлларни Zn-Al қотишмаларнинг коррозион бардошлилигига ижобий таъсир кўрсатиши қайд қилинган. Қопламани шикастланган жойда паст кутблаш билан (бу пўлатни ҳимоялашни белгилайди) ва унинг мазкур зонадан узокдаги коррозияга бардошлилиги ўртасидаги мувофиқликни топиш ҳал қилувчи бўлиб ҳисобланади. Юқорида кўрсатилган вазифаларни ҳал қилиш учун қотишманинг ўзаро таъсирлашишларини тадқиқ қилишда хром, марганец ва никельнинг ўзаро таъсирини ҳисобга олган ҳолда ўрганиш бўйича тадқиқотлар олиб борилмаган, бу эса долзарб ва илмий-амалий вазифа ҳисобланади.

Диссертация тадқиқоти диссертация бажарилган олий таълим муассасасининг илмий-тадқиқот ишлари режалари билан боғлиқлиги. Диссертация тадқиқоти Тожикистон Республикасида Кўлоб технологиялар ва инновацион менежмент институти илмий- тадқиқот ишлари режаларига биноан ИТ-25-ИХ «Халқ хўжалиги ва турли саноат тармоқларининг эҳтиёжлари учун янги руҳ-алюминий қотишмаларини ишлаб чиқиш» (2016-2021 йиллар) илмий-тадқиқот ишлари доирасида, «Тожикистон Республикасида 2015-2020 йилларда энг муҳим ишланмаларни жорий қилиш дастури» Давлат илмий-техник дастури доирасида бажарилган.

Тадқиқотнинг мақсади хром, марганец ва никель билан легирланган Zn₂₂Al руҳ-алюминий қотишмасининг турли коррозион муҳитларда анод ўзини тутиши ва оксидланишини ўрганиш асосида самарали технологияни ишлаб чиқишдан иборат.

Тадқиқотнинг вазифалари:

- хром, марганец ва никель билан легирланган Zn₂₂Al руҳ-алюминий қотишмасининг коррозион муҳитнинг турлича рН қийматларида HCl, NaCl ва

NaOH электролитларнинг нордон, нейтрал ва ишқорли эритмаларида анод ўзини тутишини тадқиқ қилиш;

- хром, марганец ва никель легирлайдиган қўшимчаларнинг Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг микроструктурасига таъсирини ўрганиш;

- хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг қаттиқ ҳолатда, ҳаво муҳитида оксидланишини тадқиқ қилиш;

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

- уларнинг структураси, коррозион-электрохимёвий ва физикавий-химёвий хусусиятларини аниқлаш асосида учталик қотишмаларнинг таркибини оптималлаштириш ва уларнинг мумкин бўлган қўлланилиш соҳаларини аниқлаш.

Тадқиқотнинг объекти сифатида Zn22Al рух-алюминий қотишмаси олинган.

Тадқиқотнинг предмети хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг турли муҳитларда анод ўзини тутиши ва оксидланишини ўрганиш бўлиб ҳисобланади.

Тадқиқотнинг усуллари. Олинган қотишманинг миқдорий кўрсаткичларини ўрганишда оксид қўшимчаларининг миқдорий кўрсаткичлари экстракция усули билан аниқланган, қотишма таҳлили UV-VIS-NIR маркали оптик спектроскопия ёрдамида амалга оширилди; нурларнинг ўтиши асосида SEM-EDX маркали сканерлаш электрон микроскопи ёрдамида қотишманинг микро тузилиши ўрганилди; қотишманинг механик хоссалари ва структураси Empyrean Malvern Panalytical дифрактометри орқали ўрганилди, химёвий таркибнинг лаборатория синовлари мураккаб сканерловчи электрон микроскоп (Carl Zeiss EVO-MA-10) ёрдамида амалга оширилган.

Тадқиқотнинг илмий янгилиги қуйидагилардан иборат:

рух-алюминий қотишмасининг янги таркиби рухнинг алюминий таркибидаги миқдорининг ўзгариши натижасида олинаётган қотишманинг механик хоссаларининг ўзгариш динамикаси асосида ишлаб чиқилган;

пўлатни коррозиядан ҳимояловчи қопламалар таркиби қоплама ташкил этувчи элементларининг кимиёвий активлигининг ҳароратга боғлиқ равишда ўзгариши асосида ишлаб чиқилган;

Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг коррозион ва электрохимёвий тавсифларининг ўзгариш графиги рН коррозион муҳитнинг ҳароратга боғлиқ равишда ўзгариш параметрлари асосида аниқланган;

легируловчи элементларнинг Zn22Al қотишмаси микроструктурасига таъсири ташкил этувчи элементларнинг кристал панжараларининг ўзгариши асосида аниқланган;

Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг қаттиқ ҳолатда оксидланиш жараёнининг кинетик ва энергетик параметрлари химёвий реакцияларнинг ҳарорат асосида аниқланган.

Тадқиқотнинг амалий натижалари қуйидагилардан иборат:

ишлаб чиқариш шароитида қўллаш учун Zn22Al рух-алюминий қотишмасида хром, марганец ва никелнинг юқори коррозияга бардошлилик билан ажралиб турувчи оптимал концентрациялари аниқланган;

амалиётда қўллаш натижасида иқтисодий самара олиш имконини берадиган янги қотишмаларнинг оптимал таркибларига Тожикистон Республикасининг 2 та кичик патенти олинган;

ишлаб чиқилган қотишмаларни углеродли пўлатлардан ишланган маҳсулотлари коррозияга бардошлилиги ва хизмат муддатини ошириш технологияси тавсия қилинган.

Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги. Тадқиқот натижаларининг ишончлилиги аниқ қўйилган вазифа асосида олинган, алюминий қотишмасини флюс билан ишлов бериш технологик жараёнини ишлаб чиқишда экспериментал тадқиқотларнинг кўплиги ва экспериментларни математик режалаштириш усулини қўллаб, экспериментлар натижаларининг математик асосда қайта ишлов берилиши замонавий техника ва технологиялардан фойдаланиш асосида аниқланган.

Тадқиқот натижаларининг илмий ва амалий аҳамияти. Тадқиқот натижаларининг илмий аҳамияти структура, фазавий таркиб, коррозион муҳит ва легирлайдиган хром, марганец ва никель қўшимчаларининг Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг анод ўзини тутиши ва оксидланишига таъсири мажмуавий физикавий-кимёвий ва коррозион-электрокимёвий тадқиқ қилинган ва юқори ҳароратли ва электрокимёвий коррозияда учталик қотишмаларнинг кинетик параметрларининг ўзгариш динамикаси ишлаб чиқилган.

Тадқиқот натижаларининг амалий аҳамияти Zn22Al рух-алюминий қотишмасига ишлов бериш технологиясининг ишлаб чиқариш шароитида қўлланилиши олинаётган маҳсулотлар коррозиябардошлигини 1,2-1,3 мартагача ошириш имконини беради.

Тадқиқот натижаларининг жорий қилиниши. Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг анод ўзини тутиши ва оксидланиши бўйича олинган натижалар асосида қуйидагилар ишлаб чиқилди ва ишлаб чиқаришга жорий этилди:

- рух-алюминий қотишмасининг янги таркиби Кўлоб технологиялар ва инновацион менежмент институтининг илмий тадқиқотлар бўлимида жорий қилинган (“Саноат ва янги технологиялар” Вазирлигининг 2022 йил 23 августдаги №15-2191 сон маълумотномаси). Натижада қопламаларнинг аксилкоррозион бардошлилиги 2-3 мартага ортишига эришилган;

- пўлатни коррозиядан ҳимояловчи қопламалар сифатида ишлаб чиқилган янги рух-алюминий қотишмалари «ТалКо» ОАЖ корхонасида кабель-ўтказгич маҳсулотларини монтаж қилиш ва ётқизиш учун жорий қилинган (“Саноат ва янги технологиялар” Вазирлигининг 2022 йил 23 августдаги №15-2191 сон маълумотномаси). Натижада самара коррозия тезлигининг 2-3 марта пасайиши ҳисобига 1 м² ҳимоя қилинадиган юзага 9.4\$ ни (12 сомони 70 дирҳам) ташкил қилади.

Тадқиқот натижаларининг апробацияси. Тадқиқотнинг асосий натижалари 4 та Халқаро ва 3 та Республика илмий-амалий конференцияларида муҳокама қилинган.

Тадқиқот натижаларининг эълон қилинганлиги. Диссертация мавзуси бўйича жами бўлиб 13 та илмий ишлар нашр қилинган. Асосий илмий натижалар 6 та илмий нашрларда, жумладан 3 та хорижий журналларда ва Ўзбекистон Республикаси ОАК томонидан докторлик диссертацияларининг асосий илмий натижаларини нашр қилиш учун тавсия қилинган Республика журналларида эълон қилинган. Ишлаб чиқилган қотишмаларнинг таркибига Тожикистон Республикасининг 2 та кичик патенти олинган (ТJ № 1081, 1116).

Диссертациянинг тузилиши ва ҳажми. Диссертация иши кириш, учта боб, хулоса, адабиётлар рўйхати ва иловадан ташкил топган. Диссертациянинг ҳажми 120 бетни ташкил қилади.

ДИССЕРТАЦИЯНИНГ АСОСИЙ МАЗМУНИ

Кириш қисмида тадқиқотнинг йўлланмалари ва асосий муаммолари ифодаланган, ишнинг долзарблиги асослаб берилган.

Диссертациянинг **«Рух-алюминий қотишмаларининг турли муҳитларда анод ўзини тутиши ва оксидланиши»** деб номланган биринчи бобда рух-алюминий қотишмаларининг турли коррозия муҳитларда анод ўзини тутиши тўғрисидаги масала бўйича мавжуд адабиётлардаги маълумотларнинг таҳлили, рух-алюминий қотишмаларининг қаттиқ ва суюқ ҳолатларда оксидланишининг таҳлили, рух-алюминий қотишмалари асосидаги оксид пленкаларда структуравий таркиб топтирувчилар ва фазалар келтирилган.

Адабиётлар шарҳини муҳокама қилиш шуни кўрсатадики, аксарият ҳолларда техникада фойдаланиладиган металллар, қотишмалар, металл ва пўлат буюмлар ёки электрохимиявий коррозияланиш оқибатида, ёки юқори ҳароратда оксидланиш туфайли емирилади. Пўлат конструкцияларнинг бундай турдаги емирилишга мойиллиги кенг диапазонда ўзгаради. Масалан темир (пўлат) жуда тез оксидланади ва занглайди, никель ва хром эса бундай таъсирга нисбатан секин тортилади. Бундан бу материалларнинг тажовузкор муҳитларда ўзини қандай тутишида юза қатламларнинг оксидланиш характери ҳал қилувчи аҳамият касб этиши келиб чиқади.

Шундай қилиб, барча юқорида айтилганлар гальфан химоя қопламалари оиласидан саноат рух-алюминий қотишмасининг анод эриши ва оксидланиши механизмини ўрганиш ва пўлат буюмларни коррозиядан самарали химоялаш усуллари кидиришнинг муҳимлигини таъкидлайди. Кўрсатилган контекстда турли углеродли пўлатлардан ишланган буюмларни коррозия-эрозия емирилишдан химоялаш учун янги анод қопламаларни ишлаб чиқиш мақсадида хром, марганец ва никель билан легирланган Zn₂₂Al рух-алюминий қотишмасининг анод ўзини тутиши ва оксидланишини тадқиқ қилиш долзарб бўлиб ҳисобланади.

Диссертациянинг «ХРОМ, МАРГАНЕЦ ВА НИКЕЛЬ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН Zn₂₂Al РУХ-АЛЮМИНИЙ ҚОТИШМАСИНИНГ

НОРДОН, НЕЙТРАЛ ВА ИШҚОРЛИ МУҲИТЛАРДА АНОД ҶЗИНИ ТУТИШИ» деб номланган иккинчи бобда Zn22Al-Cr(Mn, Ni) тизимларидаги қотишмаларининг электрохимий коррозияланишини тадқиқ қилишнинг мақсади турли электролитларда уларнинг анод барқарорлигини ва бу барқарорликка турли омилларнинг мумкин бўлган таъсирини баҳолаш, коррозия жараёнининг механизмини аниқлаш, коррозия-электрохимий параметрларни ва назорат қилувчи параметрни аниқлаш бўлиб ҳисобланади.

Тадқиқ қилиш учун қотишмалар СШОЛ типдаги электр қаршиликли печда 700÷850°C ҳароратлар интервалида синтезланган. Қотишмаларнинг химий таркиби SEM (AIS 2100) сканерлайдиган электрон микроскопда микрорентгеноспектрал таҳлил қилиш билан назорат қилинган. Олинган қотишмалардан графит қолипга 8 мм диаметри 140 мм узунликдаги намуналар қўйилган. Қотишмани ишчи эритмага чўктиришдан олдин унинг олд қисми наждак қоғоз билан тозаланган, ялтиратилган, мойсизлантирилган, спирт билан ювилган ва сўнгра HCl, NaCl ва NaOH электролитларга чўктирилган. Ячейкада электролитнинг ҳарорати МЛШ-8 термостат ёрдамида доимо 20°C қилиб ушлаб турилган.

Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг анод ҷзини тутишини потенциостатик тадқиқ қилиш HCl, NaCl и NaOH электролитларнинг нордон (pH=1: 0.1н, 2: 0.01н, 3: 0.001н), нейтрал (pH=7: 3%, 0.3%, 0.03%) ва ишқорли (pH=10: 0.001н, 11: 0.01н, 12: 0.1н) муҳитларида ПИ-50.1.1 потенциостатда потенциални 2мВ/с чизикли ёйиш тезлиги билан потенциодинамик режимда ўтказилган. Таққослаш электроди сифатида кумуш-хлорид электроддан, ёрдамчи электрод сифатида – платина электроддан фойдаланилган.

Марганецнинг турлича миқдорига эга бўлган Zn22Al рух-алюминий қотишмасини тадқиқ қилиш натижалари шуни кўрсатадики, тўсқинликсиз анод эриш фақатгина намуналарни HCl, NaCl ва NaOH электролитларнинг турли муҳитларига чўктиришнинг бошида кузатилади. Қотишмаларнинг намуналари 30-40 мин давомида нордон, нейтрал ва ишқорли муҳитларда ушлаб турилганда $E_{\text{эркин кор.}}$ потенциалнинг мусбат қийматлар томонга силжиши содир бўлади. Сўнгра қотишмалар намуналарининг юзасида яхлит коррозия маҳсулотлари пленкаси ҳосил бўлиши боис кузатиладиган катталик тажриба бошлангандан кейин 40 минутдан кейин стационар бўлиб қолади. Шу нарса аниқланганки, тадқиқ қилинадиган турлича концентрацияли электролитларда $E_{\text{эркин кор.}}$ потенциалларнинг қийматлари бир-бирдан сезиларли фарқ қилади (1-жадвал).

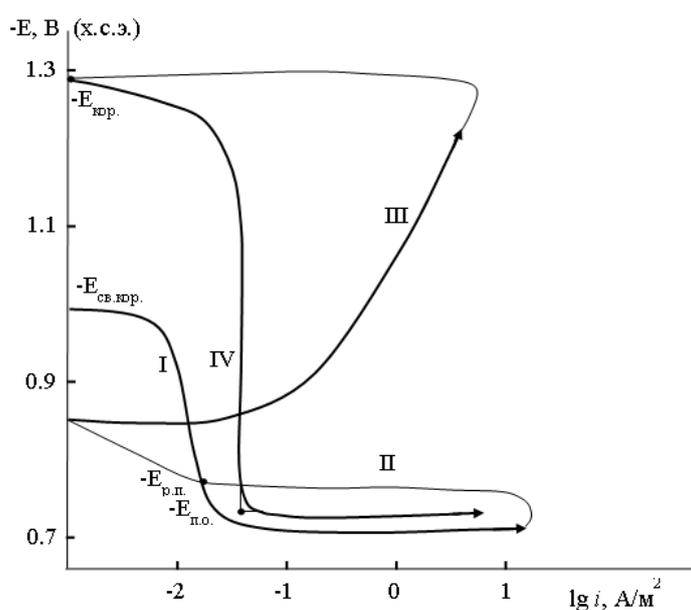
Потенциостатик тадқиқотларда намуналар электролитга чўктиришда пitting ҳосил бўлиши ($E_{\text{п х б}}$) натижасида қарор топган стационар потенциалдан ($E_{\text{эркин кор}}$) мусбат йўналишда потенциодинамик (2мВ/с) қутбланган (1-расм, I эгри чизик). Сўнгра намуналар тескари йўналишда 1300 В потенциалгача қутбланган (1-расм, II, III эгри чизиклар), II эгри чизикда кўрсатилган букилиш бўйича эса репассивация потенциалининг ($E_{\text{р.п.}}$) қиймати топилган. Ниҳоят, намуналар мусбат йўналишда қутбланган (1-расм, IV эгри чизик), бунда юқорида кўрсатилган қотишмаларнинг қутбланиш эгри

чизиклари олинган (Zn22Al рух-алюминий қотишмаси мисолида, 1-расм), сўнгра анод эгри чизиклари бўйича тадқиқ қилинаётган қотишмаларнинг электрохимик потенциаллари аниқланган.

1-жадвал

Марганецли Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг нордон, нейтрал ва ишқорли муҳитларда эркин коррозия потенциалининг ($-E_{\text{эркин кор.}}$, В) вақтда ўзгариши.

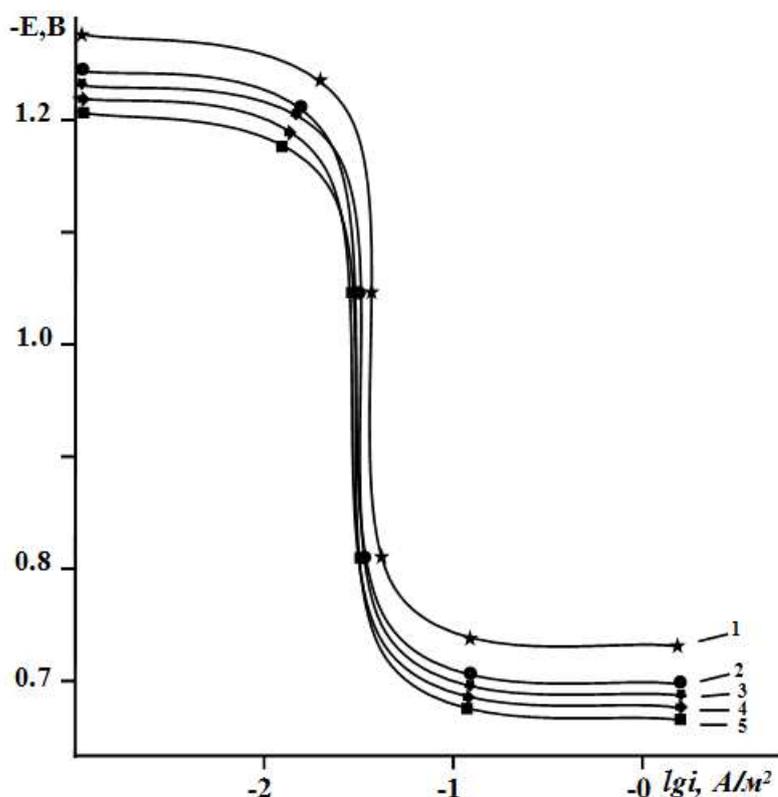
Муҳит	Қотишмада Cr қўшимчалари, мас. %	Вақт, мин							
		1/3	2/3	1	5	15	30-40	50	60
0.01н Cl	0.0	1.080	1.078	1.075	1.072	1.068	1.053	1.053	1.053
	0.01	1.049	1.048	1.046	1.031	1.027	1.018	1.018	1.018
	0.05	1.098	1.098	0.995	0.989	0.988	0.983	0.983	0.983
	0.1	0.962	0.961	0.960	0.952	0.948	0.943	0.943	0.943
	0.5	1.041	1.039	1.039	1.034	1.029	1.026	1.026	1.026
3% NaCl	0.0	0.984	0.983	0.981	0.977	0.972	0.960	0.960	0.960
	0.01	0.973	0.971	0.968	0.962	0.957	0.949	0.949	0.949
	0.05	0.958	0.957	0.953	0.946	0.943	0.938	0.938	0.938
	0.1	0.948	0.948	0.944	0.936	0.931	0.927	0.927	0.927
	0.5	0.940	0.937	0.933	0.927	0.922	0.916	0.916	0.916
0.01н NaOH	0.0	1.112	1.112	1.103	1.106	1.099	1.098	1.098	1.098
	0.01	1.042	1.041	1.041	1.029	1.026	1.025	1.025	1.025
	0.05	1.017	1.016	1.016	1.009	1.005	1.000	1.000	1.000
	0.1	1.006	1.006	1.005	1.001	0.995	0.983	0.983	0.983
	0.5	1.054	1.053	1.050	1.045	1.039	1.031	1.031	1.031



Расм – 1. Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг 3% ли NaCl электролит муҳитида потенциодинамик (2 мВ/с) анод ва катод кутбланиш эгри чизиклари.

Zn22Al-Cr(Mn, Ni) тизимларидаги қотишмаларнинг HCl, NaCl ва NaOH электролитларнинг турли коррозия муҳитларида потенциодинамик режимда (2мВ/с) анод ўзини тутиши бўйича бажарилган эксперимент доирасида анод кутбланиш эгри чизиқлари олинган, улардан қотишмаларнинг коррозия-электрохимик тавсифлари аниқланган. Масалан, NaCl электролитда олинган анод эгри чизиқлари 2-расмда кўрсатилган. Эгри чизиқлар учун эриш участкалари, пассив участкалар ва энг чекка ток майдончалари умумий бўлиб ҳисобланади. Zn22Al рух-алюминий қотишмасида никель миқдорини 0.1 мас.% гача ошириш анод эриш жараёнини бостиради, ток зичлигининг қиймати пасаяди (2-4 жадваллар).

Базавий Zn22Al рух-алюминий қотишмасини 0.01÷0.5 мас.% дан хром, марганец ва никель билан легирлаш базавий қотишманинг коррозия, питтинг ҳосил бўлиш ва репассивация потенциалларининг мос равишда нордон, нейтрал ва ишқорли муҳитларда мусбат қийматлар соҳасига силжишига олиб келади. Хром билан легирланган қотишмалардан марганец билан легирланган қотишмаларга ўтилганда дастлаб коррозия тезлиги бироз ортади, сўнгра никель билан легирланган қотишмаларга ўтилганда кўрсатилган катталиқ яна камаяди. Хром, марганец ва никелнинг кичик миқдорларига (0.01÷0.1 мас.% дан) эга бўлган қотишмалар намуналарида барча синов муҳитларида коррозиянинг энг кичик тезлиги кузатилиши аниқланган (2-4 жадваллар).



Расм- 2. 0.5 (2); 0.01 (3); 0.05 (4); 0.1 (5) мас.% никель миқдорида эга бўлган Zn22Al (1) рух-алюминий қотишмасининг 3% ли NaCl электролитда потенциодинамик (2мВ/с) кутбланиш эгри чизиқларининг анод шохчалари.

Анод қотишманинг фаол эришида хлорид ва гидроксид-ионлар устувор роль ўйнайди, тадқиқ қилинадиган қотишмаларнинг турлича рН муҳитли

электролитларда коррозияланиш тезлигининг ортиши ёки камайиши шуни кўрсатади. Масалан NaCl электролитнинг нейтрал эритмасида рН = 7 да тадқиқ қилинаётган қотишмаларнинг коррозияланиш тезлиги HCl ва NaOH электролитларнинг мос равишда нордон (рН =1, 2, 3) ва ишқорли (рН =10, 11, 12) эритмаларидагига қараганда катта фарқ қилади. Базавий Zn22Al рух-алюминий қотишмаси таркибига хром, марганец ва никелни киритиш (0.01÷0.1 мас.% дан) базавий қотишманинг коррозияланиш тезлигининг 3 мартагача пасайишига ёрдам беради. Қотишмаларнинг энг катта коррозияга бардошлилиги муҳитнинг рН ининг 3 дан 10 гача қийматларида кузатилади (3-расм).

Муҳитнинг рН қийматининг тадқиқ қилинган қотишмаларнинг коррозияланиш тезлигига таъсирини тадқиқ қилиш натижалари шуни кўрсатадики, хром билан легирланган қотишмалардан марганец билан легирланган қотишмаларга ўтилганда дастлаб коррозия тезлиги бироз ортади, сўнгра никель билан легирланган қотишмаларга ўтилганда кўрсатилган катталик яна камаяди (3-расм). Олинган боғланиш 0,1 мас.% дан хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг замонавий ERGOLUX АМС микроскопда 500 марта катталаштириш билан суратга олинган ўзгаришларига яхши мос келади (4-расм).

2-жадвал

Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг нордон муҳитда коррозия-электрохимик тавсифлари (х к э).

Муҳит HCl, н.	Қотишмани легирайди ан таркибий қисм, мас.%	Электрохимик потенциаллар (х к э), В				Коррозия тезлиги	
		-E _{эр кор.}	-E _{кор.}	-E _{п х б}	-E _{р.п.}	$i_{кор} \cdot 10^2$	$K \cdot 10^3$
						A/м ²	г/м ² · с
0.001	Zn22Al (1)	1.023	1.028	0.948	0.968	0.055	0.564
	(1) + 0.01 Cr	0.949	0.950	0.859	0.866	0.026	0.266
	(1) + 0.1 Cr	0.919	0.925	0.814	0.823	0.021	0.215
	(1) + 0.5 Cr	0.960	0.965	0.869	0.879	0.028	0.287
	(1) + 0.01 Mn	1.006	1.010	0.940	0.954	0.027	0.277
	(1) + 0.1 Mn	0.938	0.942	0.900	0.911	0.022	0.225
	(1) + 0.5 Mn	1.011	1.015	0.915	0.921	0.029	0.297
	(1) + 0.01 Ni	1.010	1.014	0.944	0.958	0.025	0.256
	(1) + 0.1 Ni	0.948	0.954	0.879	0.897	0.020	0.205
0.01	(1) + 0.5 Ni	1.018	1.024	0.969	0.992	0.027	0.277
	Zn22Al (2)	1.053	1.060	1.010	1.016	0.065	0.666
	(2) + 0.01 Cr	0.961	0.961	0.864	0.878	0.027	0.277
	(2) + 0.1 Cr	0.927	0.930	0.819	0.829	0.024	0.246
	(2) + 0.5 Cr	0.969	0.985	0.874	0.886	0.029	0.297
	(2) + 0.01 Mn	1.018	1.020	0.930	0.942	0.028	0.287
(2) + 0.1 Mn	0.943	0.950	0.905	0.914	0.025	0.256	

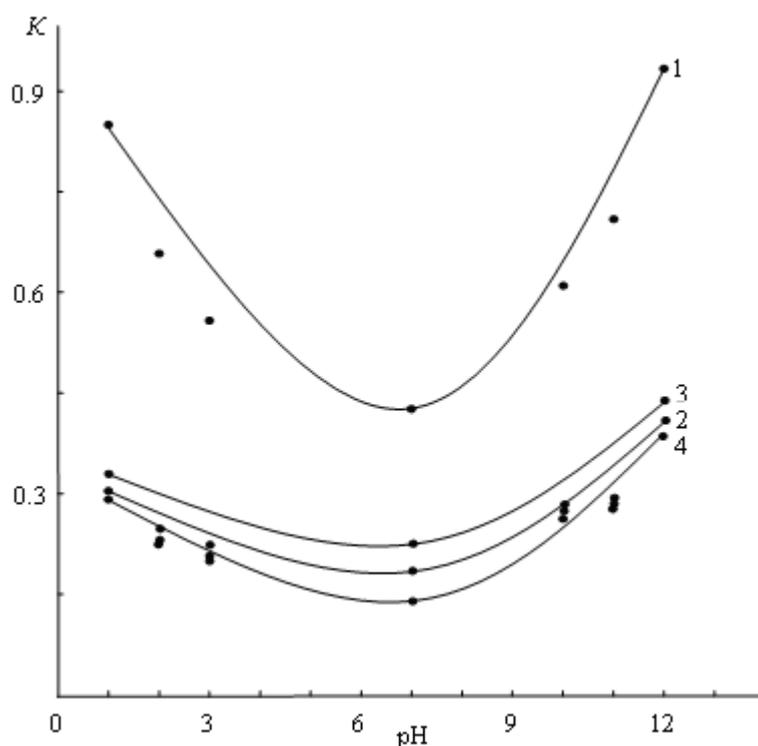
	(2) + 0.5 Mn	1.026	1.030	0.955	0.969	0.030	0.307
	(2) + 0.01 Ni	1.028	1.037	0.949	0.964	0.026	0.266
	(2) + 0.1 Ni	0.961	0.964	0.899	0.908	0.022	0.225
	(2) + 0.5 Ni	1.064	1.064	0.979	0.999	0.028	0.287
0.1	Zn22Al (3)	1.083	1.088	1.038	1.043	0.083	0.851
	(3) + 0.01 Cr	0.973	0.975	0.874	0.886	0.033	0.338
	(3) + 0.1 Cr	0.934	0.935	0.829	0.836	0.031	0.318
	(3) + 0.5 Cr	0.987	0.990	0.879	0.894	0.035	0.359
	(3) + 0.01 Mn	1.031	1.038	0.935	0.946	0.036	0.369
	(3) + 0.1 Mn	0.954	0.960	0.920	0.926	0.034	0.348
	(3) + 0.5 Mn	1.043	1.050	0.965	0.973	0.037	0.379
	(3) + 0.01 Ni	1.033	1.039	0.964	0.979	0.031	0.318
	(3) + 0.1 Ni	0.976	0.974	0.904	0.920	0.029	0.297
	(3) + 0.5 Ni	1.055	1.054	0.984	1.005	0.034	0.348

3-жадвал

Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг нейтрал муҳитда коррозион-электрохимёвий тавсифлари (х к э).

Муҳит NaCl, мас.%	Қотишмани легирайди ан таркибий қисм, мас.%	Электрохимёвий потенциаллар (х к э), В				Коррозия тезлиги	
		-E _{эр кор.}	-E _{кор.}	-E _{п х б}	-E _{р.п.}	$i_{кор} \cdot 10^2$	K · 10 ³
						А/ м ²	г/м ² · с
0.03	Zn22Al (1)	0.920	1.250	0.710	0.815	0.039	0.400
	(1) + 0.01 Cr	0.900	1.230	0.690	0.796	0.020	0.205
	(1) + 0.1 Cr	0.879	1.211	0.670	0.778	0.017	0.174
	(1) + 0.5 Cr	0.868	1.200	0.661	0.770	0.027	0.277
	(1) + 0.01 Mn	0.908	1.240	0.700	0.803	0.024	0.246
	(1) + 0.1 Mn	0.886	1.221	0.680	0.785	0.020	0.205
	(1) + 0.5 Mn	0.875	1.210	0.671	0.777	0.031	0.318
	(1) + 0.01 Ni	0.888	1.218	0.678	0.785	0.018	0.184
	(1) + 0.1 Ni	0.865	1.199	0.656	0.767	0.015	0.154
	(1) + 0.5 Ni	0.854	1.190	0.645	0.760	0.025	0.256
3 0.	Zn22Al (2)	0.960	1.270	0.725	0.830	0.042	0.430
	(2) + 0.01 Cr	0.940	1.250	0.705	0.806	0.022	0.225
	(2) + 0.1 Cr	0.920	1.230	0.684	0.786	0.018	0.184
	(2) + 0.5 Cr	0.910	1.220	0.675	0.775	0.029	0.297
	(2) + 0.01 Mn	0.949	1.259	0.714	0.815	0.026	0.266
	(2) + 0.1 Mn	0.927	1.237	0.691	0.791	0.023	0.236
	(2) + 0.5 Mn	0.916	1.228	0.680	0.779	0.033	0.338
	(2) + 0.01 Ni	0.928	1.236	0.690	0.797	0.020	0.205
	(2) + 0.1 Ni	0.906	1.210	0.670	0.780	0.014	0.143

	(2) + 0.5 Ni	0.895	1.200	0.660	0.770	0.027	0.277
0	Zn22Al (3)	0.993	1.288	0.735	0.765	0.048	0.492
	(3) + 0.01 Cr	0.958	1.261	0.715	0.812	0.026	0.266
	(3) + 0.1 Cr	0.938	1.238	0.692	0.795	0.024	0.246
	(3) + 0.5 Cr	0.927	1.227	0.683	0.790	0.034	0.348
	(3) + 0.01 Mn	0.977	1.270	0.724	0.822	0.032	0.328
	(3) + 0.1 Mn	0.954	1.242	0.701	0.803	0.029	0.297
	(3) + 0.5 Mn	0.940	1.230	0.690	0.796	0.037	0.379
	(3) + 0.01 Ni	0.940	1.245	0.700	0.800	0.024	0.246
	(3) + 0.1 Ni	0.919	1.220	0.680	0.782	0.021	0.215
	(3) + 0.5 Ni	0.910	1.208	0.670	0.774	0.032	0.328



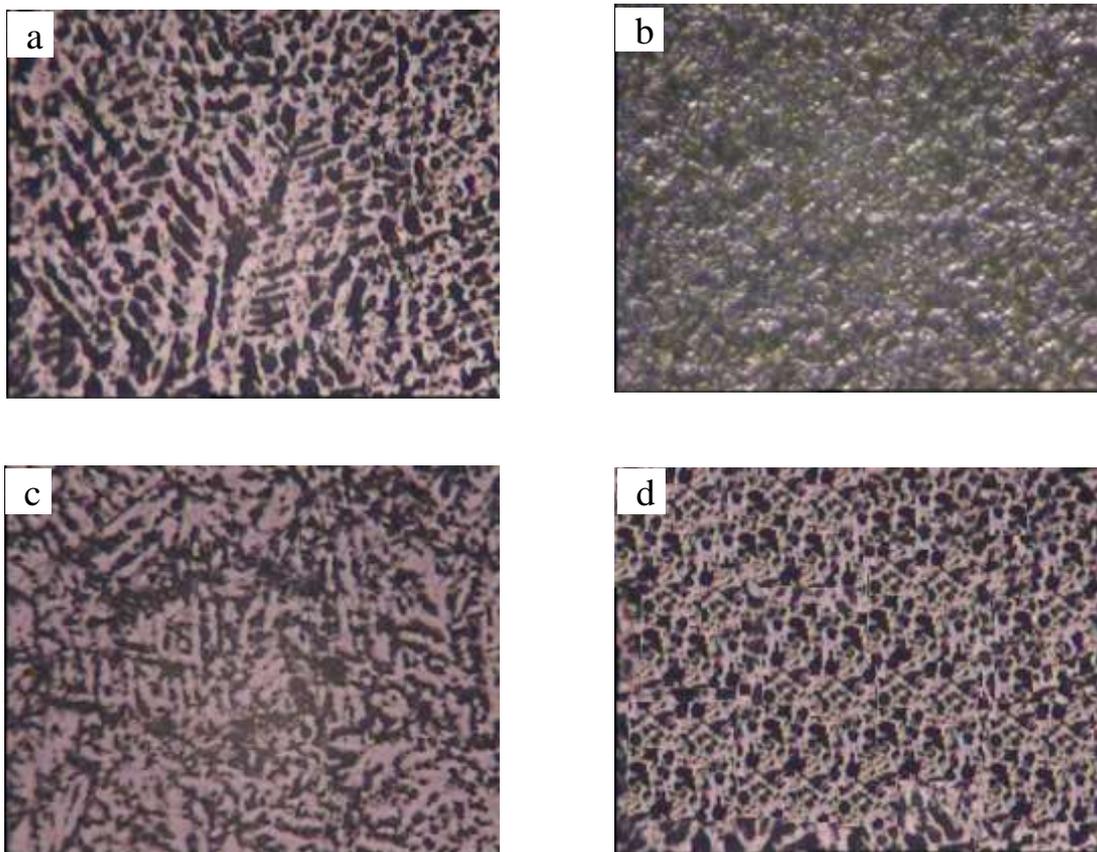
3-расм –0.01 мас.% дан хром (2), марганец (3) ва никелни (4) ўз таркибига олган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг (1) $K \cdot 10^3$ ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ коррозия тезлигининг муҳитнинг рН қийматига боғланиши.

4-жадвал

Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг ишқорли муҳитда коррозия-электрохимёвий тавсифлари (х к э).

Муҳит NaOH, н.	Қотишмани легирлайдиган	Электрохимёвий потенциаллар (х к э), В				Коррозия тезлиги	
						$i_{\text{кор}} \cdot 10^2$	$K \cdot 10^3$

	таркибий қисм, мас. %	-E _{эп} кор.	-E _{кор.}	-E _{п х б}	-E _{р.п.}	A/м ²	Г/м ² · с
0.001	Zn22Al (1)	1.063	1.068	1.098	1.003	0.060	0.615
	(1) + 0.01 Cr	0.906	0.910	0.840	0.841	0.030	0.307
	(1) + 0.1 Cr	0.854	0.860	0.806	0.812	0.027	0.277
	(1) + 0.5 Cr	0.919	0.930	0.854	0.862	0.034	0.348
	(1) + 0.01 Mn	1.015	1.020	1.005	1.008	0.034	0.348
	(1) + 0.1 Mn	0.974	0.980	0.790	0.797	0.028	0.287
	(1) + 0.5 Mn	1.018	1.025	0.840	0.849	0.036	0.369
	(1) + 0.01 Ni	1.048	1.049	0.999	1.014	0.029	0.297
	(1) + 0.1 Ni	0.998	1.004	0.900	0.912	0.026	0.266
(1) + 0.5 Ni	1.075	1.079	1.019	1.030	0.033	0.338	
0.01	Zn22Al (2)	1.098	1.105	0.938	0.946	0.070	0.717
	(2) + 0.01 Cr	0.921	0.925	0.862	0.867	0.033	0.338
	(2) + 0.1 Cr	0.866	0.867	0.757	0.778	0.028	0.287
	(2) + 0.5 Cr	0.932	0.935	0.874	0.883	0.036	0.369
	(2) + 0.01 Mn	1.025	1.030	0.850	0.861	0.034	0.348
	(2) + 0.1 Mn	0.983	0.985	0.795	0.806	0.029	0.297
	(2) + 0.5 Mn	1.031	1.035	0.890	0.897	0.038	0.399
	(2) + 0.01 Ni	1.056	1.059	1.004	1.023	0.032	0.328
	(2) + 0.1 Ni	1.005	1.009	0.904	0.919	0.027	0.277
(2) + 0.5 Ni	1.078	1.084	1.015	1.026	0.035	0.359	
0.1	Zn22Al (3)	1.128	1.133	1.073	1.078	0.091	0.933
	(3) + 0.01 Cr	0.942	0.955	0.874	0.881	0.043	0.441
	(3) + 0.1 Cr	0.874	0.883	0.764	0.781	0.040	0.410
	(3) + 0.5 Cr	0.947	0.953	0.895	0.901	0.045	0.461
	(3) + 0.01 Mn	1.041	1.045	0.855	0.866	0.044	0.451
	(3) + 0.1 Mn	0.998	1.003	0.810	0.822	0.041	0.420
	(3) + 0.5 Mn	1.055	1.060	0.903	0.910	0.047	0.482
	(3) + 0.01 Ni	1.073	1.076	1.024	1.041	0.041	0.420
	(3) + 0.1 Ni	1.018	1.021	0.917	0.925	0.038	0.389
(3) + 0.5 Ni	1.092	1.094	1.027	1.037	0.044	0.451	



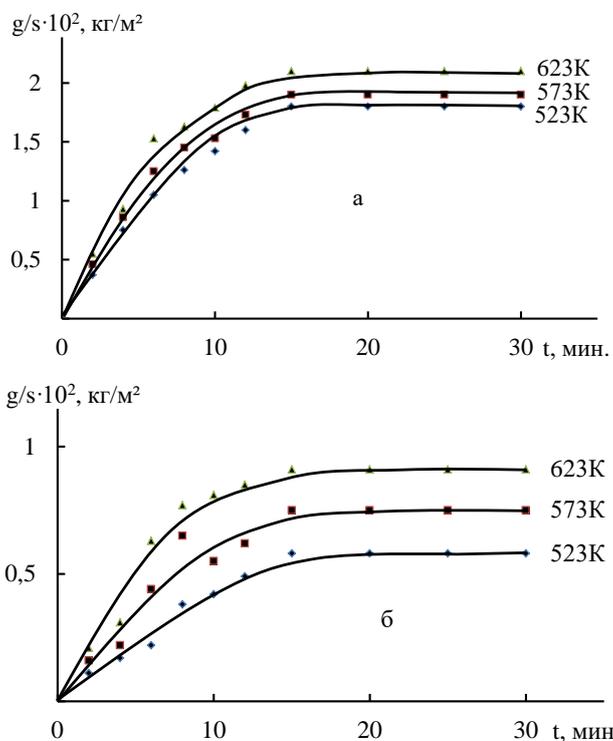
4-расм – 0.1 мас.% лан хром (b), марганец (c) ва никелни (d) ўз таркибига олган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг (a) микроструктураси (x500).

Диссертациянинг «**ХРОМ, МАРГАНЕЦ ВА НИКЕЛЬ БИЛАН ЛЕГИРЛАНГАН Zn22Al РУХ-АЛЮМИНИЙ ҚОТИШМАСИНИНГ ҚАТТИҚ ҲОЛАТДА ОКСИДЛАНИШИ**» деб номланган учинчи бобда оксидланиш жараёнини тадқиқ қилиш учун 0.01÷1.0 мас.% дан хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмаси намуналари олинган. Қаттиқ қотишмаларнинг оксидланш кинетикасини тадқиқ қилишлар ҳаво муҳитида ўтказилган ва оксид пленканинг вақт ўтиши билан ортиши оқибатида 523, 573 ва 623 К доимий ҳароратларда намунанинг солиштирма массасининг оғирлиги ўлчанган. Ҳақиқий оксидланиш тезлиги координаталар бошидан эгри чизиқларга ўтказилган уринмалар бўйича $K=g/s\Delta t$ формула бўйича ҳасобланган, юқори ҳароратли оксидланиш жараёнининг самарали энергиясининг қиймати эса тўғри чизиқнинг эгилиш бурчагининг тангенци бўйича $lgK-1/T$ боғланиш бўйича ҳисобланган.

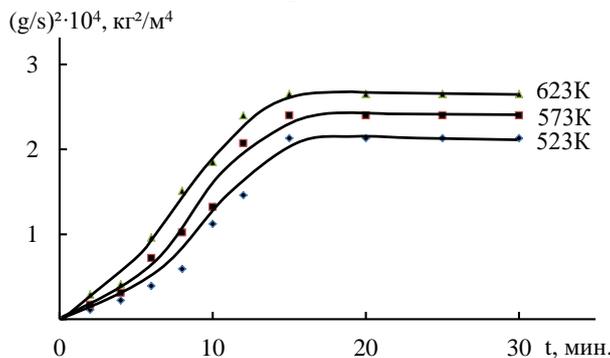
Никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмаси мисолида 5-расмда келтирилган оксидланиш жараёнининг кинетик эгри чизиқлари шуни кўрсатадики, ҳарорат ортиши билан (t) оксидланиш жараёнини кузатиш вақтида барча тадқиқ қилинаётган қотишмалар намуналарининг массаси (g/s) ортади. Ўрганиладиган қотишмаларнинг оксидланиш жараёни тадқиқотнинг бошида 10-12 минут давомида тўғри чизиқли характерни намоён қилади ва шиддат билан кечади. Қотишмаларнинг ўзини бундай тутиши уларнинг юзасида юпқа оксид пленка ҳосил бўлиши билан шартланади, яъни оксидланиш жараёнининг бошланғич босқичларида ҳосил бўлган оксид

пенкалар ҳимоялаш хусусиятларини намоён қилмайди. Қотишмалар намуналарининг юзасида оксид пленка қалинлигининг ортиши жараён бошлангандан кейин 15-20 минутдан кейин бошланади. Қотишмаларнинг кинетик эгри чизиқларининг тўғри чизиқлари 1 соатгача ўзгармас кўринишда бўлади (5-расмда 30 минута кўрсатилган), бу уларнинг металл юзаларида яхлит оксид пленка шаклланиши билан изоҳланади.

Кинетик эгри чизиқларнинг йўналиши тадқиқ қилинаётган қотишмаларнинг оксидланиш механизми гиперболик характерга эга эканлигини кўрсатади. Бундан эгри чизиқларнинг $(g/s)^2-t$ координаталарда ночизиқли характери (6-расм), шунингдек $y = Kt^n$ аналитик боғланишлар, бу ерда $n = 2 \div 4$, гувоҳлик беради (5-жадвал). Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг кинетик эгри чизиқлардан ҳарорат ва тадқиқ қилинаётган қотишмаларнинг таркибига боғлиқ равишда ҳисобланган ҳақиқий оксидланиш тезлигининг қийматлари никель билан легирланган қотишмалар мисолида 6-жадвалда келтирилган.



5-расм – 0.1 мас.% никелни ўз таркибига олган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланиш жараёнининг кинетик эгри чизиқлари



6-расм – 0.5 мас.% никелни ўз таркибига олган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланиш жараёнининг квадратик кинетик эгри чизиқлари

Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланиш кинетик эгри чизикларига математик ишлов бериш натижалари

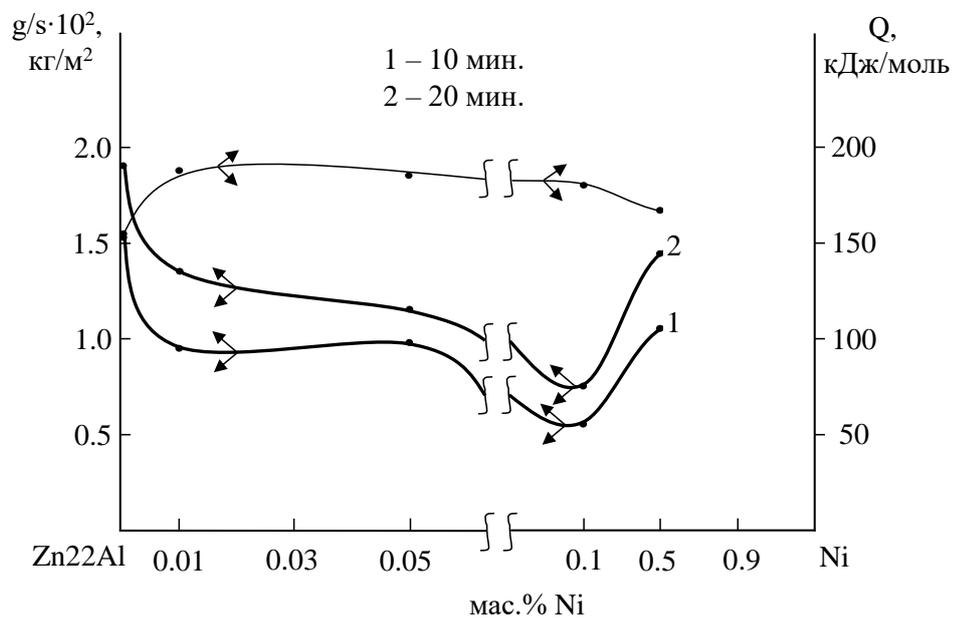
Қотишмада легирлайдиган таркибий қисмнинг миқдори, мас.%	Оксидланиш ҳарорати, К	Қотишмаларнинг оксидланиш квадратик кинетик эгри чизикларининг полиномлари	Корреляция коэффициенти R
0.0	523	$y = 0.002x^4 + 0.005x^3 - 0.066x^2 + 0.334x$	0.987
	573	$y = 0.002x^4 + 0.003x^3 - 0.053x^2 + 0.369x$	0.990
	623	$y = 0.001x^4 + 0.002x^3 - 0.069x^2 + 0.615x$	0.993
0.5 Cr	523	$y = 0.002x^4 + 0.004x^3 - 0.036x^2 + 0.215x$	0.988
	573	$y = 0.001x^4 + 0.002x^3 - 0.043x^2 + 0.246x$	0.990
	623	$y = 0.001x^4 + 0.001x^3 - 0.059x^2 + 0.272x$	0.995
0.5 Mn	523	$y = 0.002x^4 + 0.004x^3 - 0.048x^2 + 0.291x$	0.986
	573	$y = 0.002x^4 + 0.003x^3 - 0.066x^2 + 0.303x$	0.989
	623	$y = 0.001x^4 + 0.002x^3 - 0.073x^2 + 0.311x$	0.994
0.5 Ni	523	$y = 0.002x^4 + 0.004x^3 - 0.039x^2 + 0.221x$	0.986
	573	$y = 0.001x^4 + 0.003x^3 - 0.057x^2 + 0.259x$	0.989
	623	$y = 0.001x^4 + 0.001x^3 - 0.061x^2 + 0.276x$	0.994

Тадқиқ қилинаётган қотишмаларнинг ҳақиқий оксидланиш тезлиги ва оксидланиш жараёнини фаоллаштиришнинг самарали энергиясининг ўзгариш динамикасини никелнинг турлича миқдорига эга бўлган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланиш изохронлари бўйича кузатиш мумкин, бу изохронлар оксидланиш жараёнининг 10- ва 20- минутларига мос келадиган 573К ҳароратда қурилган. Zn22Al рух-алюминий қотишмаси кўрсатилган концентрациялар доирасида хром ва никель билан легирланганда оксидланиш жараёни эгри чизиклари оксидланиш тезлигининг монотон пасайиши ва фаоллашиш энергиясининг ортиши билан тавсифланади (7-расм). Марганец қўшимчалари (0.01÷0.5 мас.%) Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланувчанлигини бироз оширади (6-жадвал, 7-расм).

6-жадвал – Никелни ўз таркибига олган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг қаттиқ ҳолатда оксидланиш жараёнининг кинетик ва энергетик параметрлари.

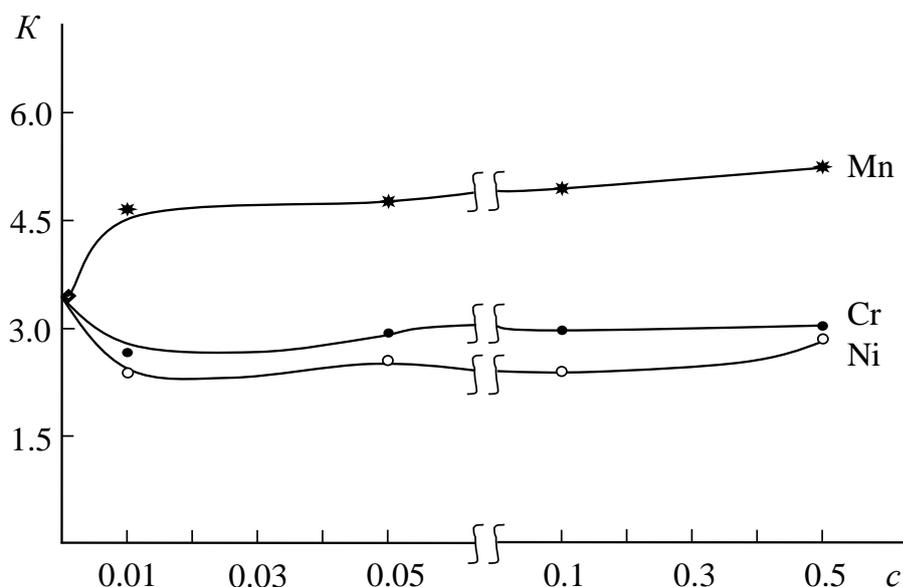
Қотишмада Ni қўшимчалари, мас.%	Оксидланиш ҳарорати, К	Ҳақиқий оксидланиш тезлиги (К·10 ⁴), кг·м ⁻² ·сек ⁻¹	Самарали фаоллаштириш энергияси, кДж/моль
0.0	523	3.00	151.2
	573	3.44	
	623	3.79	

0.01	523	2.30	180.0
	573	2.42	
	623	3.05	
0.05	523	2.16	184.8
	573	2.55	
	623	2.86	
0.1	523	2.05	188.2
	573	2.35	
	623	2.71	
0.5	523	2.41	168.4
	573	2.83	
	623	3.29	



7-расм – Никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланиш изохронлари (573К).

Солиштирма таҳлил қилиш учун 8-расм ва 7-жадвалда умумлаштирилган кўринишда хром, марганец ва никель қўшимчаларининг Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланиш жараёнининг кинетик ва энергетик параметрларига таъсирини тадқиқ қилиш натижалари келтирилган. Кўриниб турибдики, никель билан легирланган қотишмалардан хром билан легирланган қотишмаларга ўтилганда, сўнгра марганец билан легирланган қотишмаларга ўтилганда тадқиқ қилинаётган қотишмаларнинг ҳақиқий оксидланиш тезлигининг ортиши кузатилади, бу оксидланиш жараёнининг самарали фаоллашиш энергиясининг камайиши билан биргаликда кузатилади (8-расм, 7-жадвал).



8-расм – 573К ҳароратда Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланиш тезлигининг ($K \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$) хром, марганец ва никель миқдорига боғланишини таққослаш.

7-жадвал – Zn22Al рух-алюминий қотишмаси оксидланишининг самарали фаоллашиш энергиясининг хром, марганец ва никель миқдорига боғланишини таққослаш.

Zn22Al қотишмаси легирлайдиган таркибий қисм	Самарали фаоллашиш энергияси, кДж/моль				
	Легирлайдиган таркибий қисм қўшимчалари, мас.%				
	-	0.01	0.05	0.1	0.5
-	151.2	-	-	-	-
Cr	-	162.4	164.7	169.3	160.6
Mn	-	147.5	145.0	141.3	137.1
Ni	-	180.0	184.8	188.2	168.4

Умуман, хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг 523, 573 и 623 К ҳароратда қаттиқ ҳолатда ҳаводаги кислород билан ўзаро таъсирлашиши тадқиқ қилинган. Қотишмаларнинг оксидланиш жараёнининг кинетик ва энергетик параметрлари аниқланган. Рентген-фазавий таҳлил қилиш билан тадқиқ қилинаётган қотишмалар оксидланганда ZnO, Al₂O₃, Cr₂O₃, Mn₂O₃, NiO, Al₂O₃·ZnO, ZnO·Cr₂O₃ ва Al₂O₃·NiO оксидлар ҳосил бўлиши аниқланган. 0.01÷0.1 мас.% концентрациялар диапазонидаги хром ва никель қўшимчалари Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланувчанлигини камайтириши кўрсатилган.

ХУЛОСА

Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг анод ўзини тутиши ва оксидланиши мавзусида ўтказилган

экспериментал тадқиқотлар натижасида қуйидаги хулосалар ва тавсиялар шакллантирилган:

1. Қотишмаларни нордон (0.001н HCl (pH=3)), нейтрал (0.03; 0.3; 3% NaCl (pH=7)) ва ишқорли (0.001н NaOH (pH=10)) муҳитларда анод ўзини тутишини потенциометрик тадқиқ қилиш билан Zn22Al рух-алюминий қотишмаси 0.01÷0.1 мас.% дан хром, марганец ва никель билан легирланганда унинг анод барқарорлиги ортиши (коррозия тезлиги 2-3 мартага камайиши) кўрсатилган. Янги коррозияга бардошли қотишмаларнинг анод ҳимояловчи қопламалар сифатида ишлаб чиқилган таркибларига Тожикистон Республикасининг 2 та кичик патенти олинган (№ TJ 1081, 1116). Бу қотишмалар учун қоплама таркибини ишлаб чиқиш учун хизмат қилади.

2. Коррозион-электрохимёвий тадқиқ қилиш билан Zn22Al-Cr(Mn, Ni) тизимидаги қотишмаларнинг коррозия, питтинг ҳосил бўлиши ва репассивация потенциаллари коррозион муҳитнинг pH қийматидан мусбат қийматлар соҳасига силжиши кўрсатилган. Хром билан легирланган қотишмалардан никель билан легирланган қотишмаларга ўтилганда қотишмаларнинг коррозияланиш тезлиги пасаяди, сўнгра марганец билан легирланган қотишмаларга ўтилганда эса бироз ортади. Бу легирланадиган металллар орасидан хром ва никель Zn22Al анод қотишманинг коррозияга бардошлилигини кўпроқ самарали ошириш имконини беради.

3. Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг қаттиқ ҳолатда 523÷623K ҳароратлар интервалида ҳаводаги кислород билан ўзаро таъсирлашишини термогравиметрик тадқиқ қилиш билан қотишмаларнинг оксидланиш жараёни гиперболик механизмга эга эканлиги аниқланган. Хром ва никель қўшимчалари (0.01÷0.1 мас.% дан) Zn22Al қотишманинг оксидланувчанлигини анчагина камайтириши кўрсатилган. Никель билан легирланган қотишмалардан хром ва марганец билан легирланган қотишмаларга ўтилганда оксидланиш жараёнининг самарали фаоллашиш энергияси қийматининг камайиши имконини беради.

4. Рентген-фаза таҳлил қилиш билан хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al рух-алюминий қотишмасининг оксидланиш маҳсулотларининг фаза таркиби ва коррозия жараёни механизмида уларнинг роли аниқланган. Тадқиқ қилинган қотишмалар оксидланганда ZnO, Al₂O₃, Cr₂O₃, Mn₂O₃, NiO, Al₂O₃·ZnO, ZnO·Cr₂O₃ ва Al₂O₃·NiO оксидлар ҳосил бўлиши учун хизмат қилади.

5. Хром, марганец ва никель билан легирланган Zn22Al, рух-алюминий қотишмасининг микроструктурасини металлографик тадқиқ қилиш билан легирлайдиган таркибий қисмларнинг Zn22Al базавий қотишманинг структурасига модификацияловчи таъсири кўрсатилган. Базавий қотишманинг таркибига 0.1 мас.% дан хром ва никель киритилганда қотишмаларнинг донли структураси анчагина майдалашиши учун хизмат қилади.

6. Тадқиқот натижалари материалшунослик, гальванотехника, металлургия соҳаси мутахассисларига, шунингдек пўлпт конструкциялар ва ускуналарни коррозион-эрозия эмирилишдан ҳимоялаш муаммолари билан шуғулланувчи

материалшунослар ва ишлаб чиқарувчиларга фойдаланиш учун хизмат қилади.

7. Хром марганец ва никелни ўз таркибига оловчи янги Zn22Al рух-алюминий қотишмаларининг ишлаб чиқилган оптимал таркиблари углеродли пўлатлардан ишланган буюмлар, конструкциялар ва иншоотларнинг коррозияга бардошлилигини ошириш ва хизмат қилиш муддатини узайтириш учун хизмат қилади.

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

**ИНСТИТУТ ТЕХНОЛОГИЙ И ИННОВАЦИОННОГО
МЕНЕДЖМЕНТА В ГОРОДЕ КУЛЯБ
ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В.И. НИКИТИНА
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА**

ХАКИМОВ ИСКАНДАР БОЗОРОВИЧ

**АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ОКИСЛЕНИЕ
ЦИНКОВО-АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА $Zn_{22}Al$,
ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ, МАРГАНЦЕМ И НИКЕЛЕМ**

**05.02.01 –Материаловедение в машиностроении. Литейное производство.
Термическая обработка и обработка металлов давлением. Металлургия чёрных,
цветных и редких металлов. Технология редких и радиоактивных элементов (литейное производство и обработка металлов)**

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ ДОКТОРА ФИЛОСОФИИ (PhD) ПО ТЕХНИЧЕСКИМ НАУКАМ**

Ташкент– 2022

Тема диссертации доктора философии (PhD) по техническим наукам зарегистрирована в Высшей аттестационной комиссии при Кабинете Министров Республики Узбекистан за _____

Диссертация выполнена в Ташкентском государственном техническом университете. Автореферат диссертации на двух языках (узбекский, русский и английский (резюме)) размещен на веб – странице (www.tdtu.uz) и информационно – образовательном портале «Ziyonet» (www.ziyonet.uz).

Научный руководитель:	Обидов Зиёдулло Рахматович доктор химических наук, профессор
Официальные оппоненты:	Норхўжаев Файзулла Рамазанович доктор технических наук, профессор Тўрахўжаева Ширинхон Нодир кизи кандидат технических наук,
Ведущая организация:	Алмалыкский филиал Национального исследовательского технологического университета (НИТУ) «МИСИС»

Защита диссертации состоит «15» 10. 2022 года в 14⁰⁰ часов на заседании Научного совета DSc.03/30.12.2019.T.03.04. Ташкентского государственного технического университета (Адрес: 100095, г.Ташкент, 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 № 275 (Адрес: 100095, г.Ташкент, ул. Университетская, 2.Тел./факс: (99871)227-10-32)

Автореферат диссертации разослан «30» 09.2022 года
(реестр протокола рассылки №151 от «30» 09.2022 года)

К.А. Каримов
Председатель Научного совета по присуждению
учёных степеней, д.т.н., профессор

Ш.Б.Ташбулатов
Ученый секретарь Научного
совета по присуждению ученых
степеней, д.ф.т.н. (PhD)

Н.Д.Тураходжаев
Председатель научного семинара
при Научном совете по присуждению
учёных степеней, д.т.н. профессор

ВВЕДЕНИЕ (автореферат диссертации доктора философии (PhD))

Актуальность и востребованность темы диссертации. В мире в области машиностроения при производстве деталей на основе легированного цинк-алюминиевого сплава особое значение придается вопросам разработки средств защиты материалов от коррозии. В настоящее время важной задачей является повышение прочности алюминиевого сплава, легированного хромом, марганцем и никелем, увеличение срока службы изделий, полученных из этого сплава, и обеспечение ресурсосбережения в процессе получения сплава. В связи с этим особое внимание уделяется определению оптимального состава при легировании алюминиево-цинковых сплавов с хромом, марганцем и никелем разработке оптимальных параметров режимов легирования, повышения энергоэффективности при обеспечении коррозионной стойкости легированного сплава в развитых странах, в том числе в исследовательских центрах этих стран, как Англия, Германия, Россия, Япония, Казахстан, Китай,

В мире проводится широкий спектр исследовательских работ по изучению влияния количества хрома на прочность цинко-алюминиевого сплава, изучению влияния способа введения марганца в сплав, оптимизации температурных режимов при легировании никелем. Этим направлениям, включая разработку оптимального состава алюминиевых сплавов при производстве деталей машиностроения, обработку сплава элементами на основе хрома, исследования по определению степени влияния марганца и никеля на структуру легированного 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.

В Республике Узбекистан и Республике Таджикистан большое внимание уделяется научным исследованиям по получению положительных результатов за счет применения технологии получения деталей машин и инструментов методом литья из цинко-алюминиевых сплавов, проводятся мероприятия стратегического и экономического значения государства и достигаются определенные результаты. В стратегии дальнейшего развития Нового Узбекистана на 2022-2026 годы отмечается "...поднятие промышленности на качественно новый уровень, глубокая переработка местных источников сырья, ускорение производства готовой продукции, освоение новых видов продукции и технологий ..." Этим было определено проведение научных исследований по важным задачам. Реализация этих задач, включая приобретение различных металлообрабатывающих инструментов на основе металlosлойных композитов и исследование процессов разработки на их основе, обеспечивающих высокие эксплуатационные свойства получаемых инструментов, а также исследования, направленные на разработку технологии энергоэффективной металлообработки имеют первостепенное значение.

Данная диссертационная работа в определённой мере 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 Президента Республики Узбекистан от 27 апреля 2018 года № ПФ-3682 "О мерах по дальнейшему совершенствованию системы внедрения инновационных идей, технологий и проектов в практику", Указе № ПФ-5159 от июня 24 декабря 2021 года "О дополнительных мерах по развитию горнодобывающей и металлургической промышленности, 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 II. «Энергетика, энерго- и ресурсосбережение».

Степень изученности проблемы.

Ведущими учеными мира проведен ряд исследований по созданию новых технологий в области сжижения и легирования цинко-алюминиевых сплавов и совершенствованию существующих технологий, разработке состава разборочных элементов, используемых при выплавке.

Калифорния (США) Максимилиан Соколук, Чежэн Цао, Цзе Юань (Факультет машиностроения и аэрокосмической инженерии Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе, Калифорния), Мин Цзо (Школа материаловедения и инженерии Университета Цзинань, Цзинань, 250022, Китайская Народная Республика) добились увеличения механических свойств благодаря низкому коэффициенту теплового расширения алюминиевых сплавов. Канадский ученый Т.А. Утигарт добился экономии ресурсов на 4-5% при химических реакциях, образующихся в процессе легирования алюминия. Аннализа Пола из Англии, Мариалаура Туччи разработали улучшение механических свойств, основанного на том факте, что обработка твердого металла при высоких скоростях нагрева и медленном охлаждении приводит к тому, что структура сплава приобретает шаровидную форму. Немецкий ученый Жан Дюкрот установил повышения энергоэффективности на 6-7% за счет того, что, исходя из постоянного поступления пены на поверхность раствора, оксидная оболочка в наполнителе снижает коэффициент теплопередачи. Китайские исследователи Руст Лигуо и Ван Венхонг разработали не содержащий натрия состав защитной оболочки, который используется при обработке алюминиевых сплавов.

Ученые Белорусского национального технического университета С.П.Задрусский, Г.А.Румянцева, Б.М.Немененак, И.А.Горбель разработали технологию повышения эффективности переработки алюминия. Исследователи из Узбекистана доцент Т.Х.Туляганов, профессор

Н.Д.Тураходжаев и доцент Т.Х.Турсунов результате насыщения сплава углеродом добились снижения количества газовых добавок в отливке на 12-14%. Таджикский ученый З.Р.Обидов разработал технологию повышения ресурсоэффективности на 7-8% при легировании цинко-алюминиевого сплава с хромом.

Цинково-алюминиевые сплавы составляют основу многих защитных покрытий и коррозионностойких сплавов. В дальнейшем повышение коррозионной стойкости цинково-алюминиевых покрытий удастся легированием третьим элементом. Отмечено положительное влияние бериллия, магния, редкоземельных и щелочноземельных металлов на коррозионную устойчивость Zn-Al сплавов. Определяющим является компромисс между низкой поляризацией покрытия в области повреждения (что и определяет защиту стали) и его коррозионной стойкостью вдали от этой зоны. Для решения вышеуказанных задач необходимо исследовать процессы взаимодействия металлических сплавов с газообразными и агрессивными средами при повышенных температурах и поиска эффективных способов защиты стальных материалов от коррозии. В связи с вышеуказанным можно сказать о том, что данное исследование сосредоточено на цинково-алюминиевом сплаве Zn22Al путем введения в его состав отдельно легирующего компонента – хрома, марганца и никеля с целью разработки новых анодных защитных покрытий, повышения коррозионной стойкости и продления срока службы углеродистых стальных конструкций, изделий и сооружений.

Связь диссертационного исследования с планами научно-исследовательских работ высшего учебного заведения, где выполнена диссертация. Диссертационное исследование проводилось в республике Таджикистан в рамках научно-исследовательской работы "Разработка новых цинк - алюминиевых сплавов для нужд народного хозяйства и различных отраслей промышленности" (2016-2021) в соответствии с планами научно-исследовательской работы Института технологий и инновационного менеджмента Колоб в Республике Таджикистан в рамках Государственной научно-технической программы.

Целью исследования является изучение анодного поведения и окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного хромом, марганцем и никелем в различных коррозионных средах и разработка оптимального состава новых сплавов, предназначенных в качестве анодных покрытий.

Задачи исследования:

исследование анодного поведения цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного хромом, марганцем и никелем, в кислых, нейтральных и щелочных растворах электролитов HCl, NaCl и NaOH от pH коррозионной среды;

изучение влияния легирующих добавок хрома, марганца и никеля на микроструктуру цинково-алюминиевого сплава Zn22Al;

исследование процесса окисления цинково-алюминиевого сплава Zn₂₂Al, легированного хромом, марганцем и никелем, в твёрдом состоянии, в воздушной среде;

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

оптимизация состава тройных сплавов на основе установления их структуры, коррозионно-электрохимических и физико-химических свойств и определение возможных областей их применения.

Объектом исследования являются цинко-алюминиевый сплав Zn₂₂al.

Предметом исследования является изучение анодного поведения и окисления цинково-алюминиевого сплава Zn₂₂Al, легированного хромом, марганцем и никелем в различных средах.

Методы исследования. При изучении количественных показателей полученного сплава оксидные добавки были определены путём экстракции, анализ сплава определяли с помощью оптического спектроскопа марки VIS-NIR, микроструктура сплава изучена электронным микроскопом марки SEM-EDX, механические свойства и структура определялась дифрактометром марки Empyrean Malvern Panalytical.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

разработан новый состав цинк-алюминиевого сплава № TJ 1081; получен патент за номером 1116. Состав был разработан на основе изменения динамики механических свойств сплава, в котором варьировалось количество цинка;

состав новой защитной композиции разработан на основе смещения текучести легирующих элементов;

новые цинк-алюминиевые сплавы, исследованные в качестве покрытий для защиты стали от коррозии, разработаны на основе химической активности элемента цинка при формировании концентрации в алюминиевом сплаве;

определены закономерности изменения коррозионных и электрохимических характеристик цинк-алюминиевого сплава zn₂₂al в кислых, нейтральных и щелочных средах электролитов HCl, NaCl и NaOH при различных значениях RN коррозионных сред с различными концентрациями хрома, марганца и никеля на основе изменения параметров RN коррозионной среды по отношению к температуре;

влияние легирующих добавок (Cr, Mn, Ni) на микроструктуру сплава zn₂₂al и поведение анода было определено на основе степени взаимосвязи элементов в структуре;

кинетические и энергетические параметры процесса окисления в твердом состоянии цинк-алюминиевого сплава zn₂₂al, легированного хромом, марганцем и никелем различных концентраций, были определены на основе продолжительности образующихся реакций.

Практические значения исследования заключается в следующем:

определены и синтезированы образцы новых тройных сплавов Zn₂₂Al-Cr, Zn₂₂Al-Mn и Zn₂₂Al-Ni, содержащих различные добавки переходного металла;

установлены оптимальные концентрации (по 0.01÷0.1 мас.%) хрома, марганца и никеля в цинково-алюминиевом сплаве Zn22Al, отличающиеся высокой коррозионной стойкостью;

разработанные оптимальные составы новых сплавов защищены 2 малыми патентами Республики Таджикистан;

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

Достоверность результатов исследования. 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.

Научное и практическое значение результатов исследования. Научная значимость результатов исследования объясняется тем, что впервые было проведено комплексное физико-химическое и коррозионно-электрохимическое исследование влияния структуры, фазового состава, коррозионной среды и легирующих добавок хрома, марганца и никеля на анодное поведение и окисление цинково-алюминиевого сплава Zn22Al и установлены закономерности изменения кинетических параметров высокотемпературной и электрохимической коррозии тройных сплавов.

Практическая значимость результатов исследования объясняется тем, что легирование базового сплава Zn22Al с хромом, марганцем и никелем (по 0.01÷0.5%) приводит к смещению потенциалов коррозии базового сплава в положительную область значений, в кислых, нейтральных и щелочных средах. Введение хрома, марганца и никеля в количествах 0.01÷0.1% в составе базового сплава Zn22Al способствует снижению скорости коррозии базового сплава 1,2-1,3 раза.

Внедрение результатов исследования. На основе результатов, полученных по анодному поведению и окислению цинк-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного хромом, марганцем и никелем, были разработаны и внедрены в производство следующие результаты:

- новый состав цинк-алюминиевого сплава №. ТЖ 1081, получил патент с номером 1116. Внедрён в отдел научных исследований Кулябского института технологий и инновационного менеджмента;

- новый состав цинк-алюминиевого сплава был внедрен в научно-исследовательском отделе Института технологий и инновационного менеджмента Озера (справка ОАО "Талко" с 10 января по 10 марта 2022 года). В результате было достигнуто увеличение стойкости покрытий к противоборствующим факторам в 2-3 раза;

- на предприятии ОАО "Талко" по монтажу и прокладке кабельно-проводниковой продукции внедрены новые цинко-алюминиевые сплавы, разработанные в качестве антикоррозионных покрытий для стали (Справка ОАО "Талко" с 10 января по 10 марта 2022 года). Результат составляет 9,4

доллара (12 сомон 70 дирам) за 1 м² защищаемой поверхности за счет снижения скорости коррозии металла в 2-3 раза.

Апробация результатов исследования. Основные результаты исследования диссертации обсуждались на 4 международных и 3 республиканских научно-практических конференциях.

Публикация результатов исследования. Всего по теме диссертации опубликовано 13 научных работ. Основные научные результаты опубликованы в 6 научных изданиях, в том числе 3 в республиканских и 3 в зарубежных журналах, рекомендованных к опубликованию основных научных результатов докторских (PhD) диссертаций ВАК Республики Узбекистан. Также получено 2 малых патента Республики Таджикистан (ТJ № 1081, 1116) на составы разработанных сплавов.

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении изложены предпосылки и основные проблемы исследования, обоснована актуальность работы.

В первой главе диссертации, названной «**Анодное поведение и окисление цинково-алюминиевых сплавов в различных средах**» приведен анализ имеющихся литературных данных по вопросу об анодном поведении цинково-алюминиевых сплавов в различных коррозионных средах; окисление цинково-алюминиевых сплавов в твёрдом и жидком состояниях; структурные составляющие и фазы в оксидных плёнках на основе цинково-алюминиевых сплавов.

Обсуждение обзора литературы указывает на то, что большинство используемых в технике металлов, сплавов, металлических и стальных изделий подвергаются разрушению либо электрохимической коррозии, либо из-за окисления при высокой температуре. Склонность стальных конструкций к подобному роду разрушений изменяется в широких пределах. Например, железо (сталь) окисляется и ржавеет очень быстро, в то время, как никель и хром поддаются подобному воздействию сравнительно медленно. Отсюда решающее значение в поведении этих материалов в агрессивных атмосферах имеет характер окисления поверхностных слоев.

Таким образом, все вышесказанное подчеркивает важность изучения механизма анодного растворения и окисления промышленного цинково-алюминиевого сплава из семейств гальфановых защитных покрытий и поиска эффективных способов защиты стальных изделий от коррозии. В указанном аспекте актуальным является исследование анодного поведения и окисления цинково-алюминиевого сплава Zn₂₂Al, легированного хромом, марганцем и никелем с целью разработки новых анодных покрытий для защиты различных углеродистых стальных изделий от коррозионно-эрозионного разрушения.

Во второй главе диссертации, названной **«АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ЦИНКОВО-АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Zn₂₂Al, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ, МАРГАНЦЕМ И НИКЕЛЕМ, В КИСЛЫХ, НЕЙТРАЛЬНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ СРЕДАХ»** приведены исследования электрохимической коррозии сплавов систем Zn₂₂Al-Cr(Mn, Ni), оценка их анодной устойчивости в различных электролитах и возможное влияние на эту устойчивость различных факторов, установление механизма коррозионного процесса, определение коррозионно-электрохимических параметров и выявление контролирующего фактора.

Сплавы для исследования были синтезированы в печи электрического сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 700÷850°С. Химический состав сплавов контролировался микрорентгеноспектральным анализом на сканирующем электронном микроскопе SEM (AIS 2100). Из полученных сплавов отливали в графитовую изложницу образцы диаметром 8 мм и длиной 140 мм. Перед погружением сплава в рабочий раствор его торцевую часть зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжировали, промывали спиртом и затем погружали в электролитах HCl, NaCl и NaOH. Температуру электролита в ячейке поддерживали постоянно 20°С с помощью термостата МЛШ-8.

Потенциостатическое исследование анодного поведения цинково-алюминиевого сплава Zn₂₂Al, легированного хромом, марганцем и никелем проводилось в кислых (рН=1: 0.1н, 2: 0.01н, 3: 0.001н), нейтральных (рН=7: 3%, 0.3%, 0.03%) и щелочных (рН=10: 0.001н, 11: 0.01н, 12: 0.1н) средах электролитов HCl, NaCl и NaOH, в потенциодинамическом режиме со скоростью линейной развёртки потенциала 2мВ/с на потенциостате ПИ-50.1.1. В качестве электрода сравнения использовали хлоридсеребряный (х.с.э.), вспомогательным – платиновый.

Результаты исследования на примере цинково-алюминиевого сплава Zn₂₂Al с различным содержанием марганца показывают, что беспрепятственное анодное растворение во времени наблюдается лишь от начала погружения их в различных средах электролитов HCl, NaCl и NaOH. Видно, что при выдержке образцов сплавов в течение 30-40 мин в кислых, нейтральных и щелочных средах происходит смещение потенциала $E_{св.кор.}$ в сторону положительных значений. Затем, в связи с образованием сплошной плёнки продуктов коррозии на поверхности образцов сплавов, наблюдаемая величина после 40 мин процесса опыта становится стационарной. Установлено, что значения потенциалов $E_{св.кор.}$ в исследуемых электролитах различной концентрации заметно отличаются друг от друга (табл 1).

Таблица 1

Изменение потенциала свободной коррозии ($-E_{\text{св.кор.}}$, В) цинково-алюминиевого сплава Zn22Al с марганцем во времени, в кислой, нейтральной и щелочной средах

Среда	Добавки Cr в сплаве, мас.%	Время, мин							
		1/3	2/3	1	5	15	30-40	50	60
0.01н HCl	0.0	1.080	1.078	1.075	1.072	1.068	1.053	1.053	1.053
	0.01	1.049	1.048	1.046	1.031	1.027	1.018	1.018	1.018
	0.05	1.098	1.098	0.995	0.989	0.988	0.983	0.983	0.983
	0.1	0.962	0.961	0.960	0.952	0.948	0.943	0.943	0.943
	0.5	1.041	1.039	1.039	1.034	1.029	1.026	1.026	1.026
0.3% NaCl	0.0	0.984	0.983	0.981	0.977	0.972	0.960	0.960	0.960
	0.01	0.973	0.971	0.968	0.962	0.957	0.949	0.949	0.949
	0.05	0.958	0.957	0.953	0.946	0.943	0.938	0.938	0.938
	0.1	0.948	0.948	0.944	0.936	0.931	0.927	0.927	0.927
	0.5	0.940	0.937	0.933	0.927	0.922	0.916	0.916	0.916
0.01н NaOH	0.0	1.112	1.112	1.103	1.106	1.099	1.098	1.098	1.098
	0.01	1.042	1.041	1.041	1.029	1.026	1.025	1.025	1.025
	0.05	1.017	1.016	1.016	1.009	1.005	1.000	1.000	1.000
	0.1	1.006	1.006	1.005	1.001	0.995	0.983	0.983	0.983
	0.5	1.054	1.053	1.050	1.045	1.039	1.031	1.031	1.031

При потенциостатических исследованиях образцы потенциодинамически (2мВ/с) поляризовали в положительном направлении от стационарного потенциала ($E_{\text{св.кор.}}$) (рис 1, кривая I), установившегося при погружении в электролите до резкого возрастания тока в результате питтингообразования ($E_{\text{п.о.}}$). Затем образцы поляризовали в обратном направлении до потенциала – 1300 В (рис 1, кривые II, III), а по изгибу указанной на кривой II находили значения потенциала репассивации ($E_{\text{р.п.}}$). Наконец, образцы поляризовали в положительном направлении (рис 1, кривая IV), получив поляризационные кривые вышеуказанных сплавов (на примере цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, рис 1), далее по анодным кривым определяли электрохимические потенциалы исследуемых сплавов.

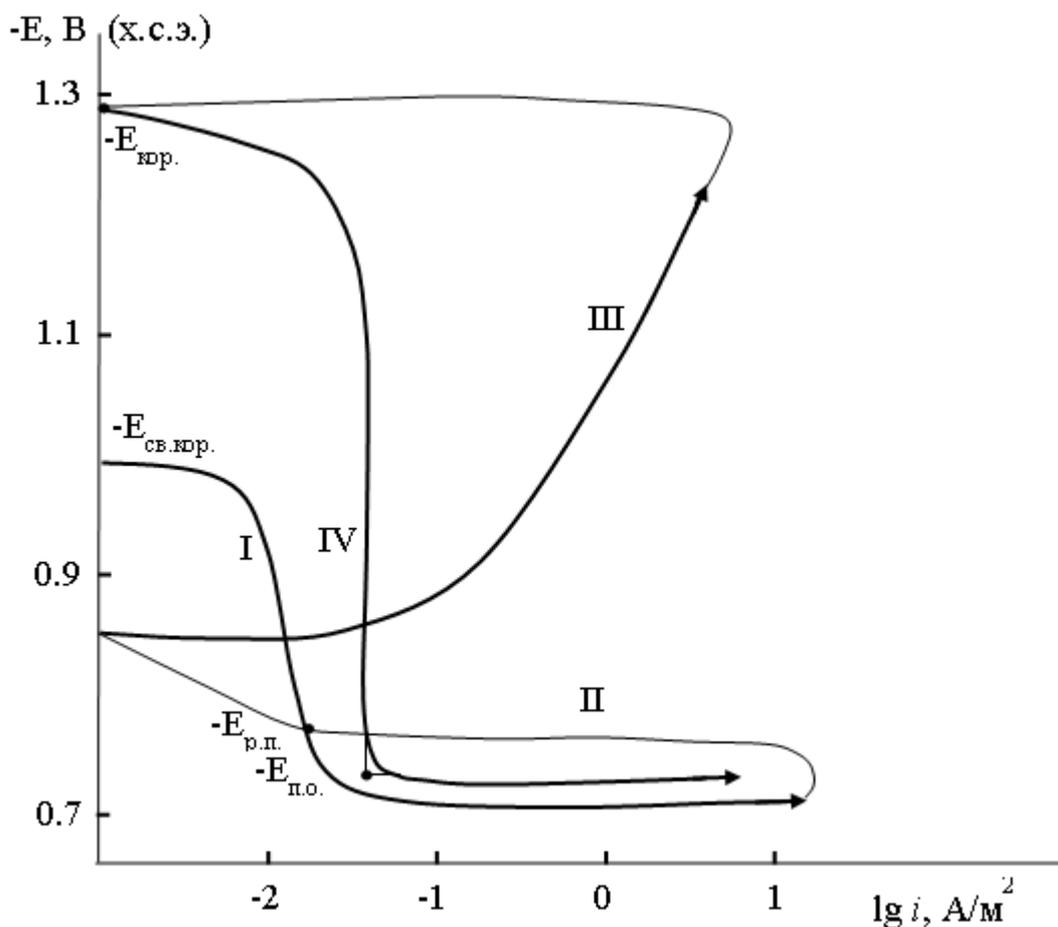


Рис 1. Потенциодинамические (2 мВ/с) анодные и катодные поляризационные кривые цинково-алюминиевого сплава Zn22Al в среде 3%-ного электролита NaCl

В рамках выполненного эксперимента по анодному поведению сплавов систем Zn22Al-Cr(Mn, Ni) в различных коррозионных средах электролитов HCl, NaCl и NaOH в потенциодинамическом режиме (2мВ/с) получены анодные поляризационные кривые, из которых установлены коррозионно-электрохимические характеристики сплавов. Например, анодные кривые, полученные в электролите NaCl, показаны на рис 2. Общими для кривых являются участки растворения, пассивные участки и площадки предельного тока. Увеличение содержания никеля в цинково-алюминиевом сплаве Zn22Al до 0.1 мас.% подавляет процесс анодного растворения, снижаются значения плотности тока (табл 2-4).

Легирование базового цинково-алюминиевого сплава Zn22Al по 0.01÷0.5 мас.% хромом, марганцем и никелем приводит к сдвигу потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации базового сплава в положительную область значений, соответственно, в кислых, нейтральных и щелочных средах. При переходе от легированных хромом сплавов к сплавам с марганцем сначала несколько повышается скорость коррозии, затем к сплавам с никелем указанная величина снова уменьшается. Выяснено, что в образцах сплавов с малым содержанием (по 0.01÷0.1 мас.%) хрома, марганца и никеля наблюдается наименьшая скорость коррозии во всех испытываемых

средах (табл 2-4).

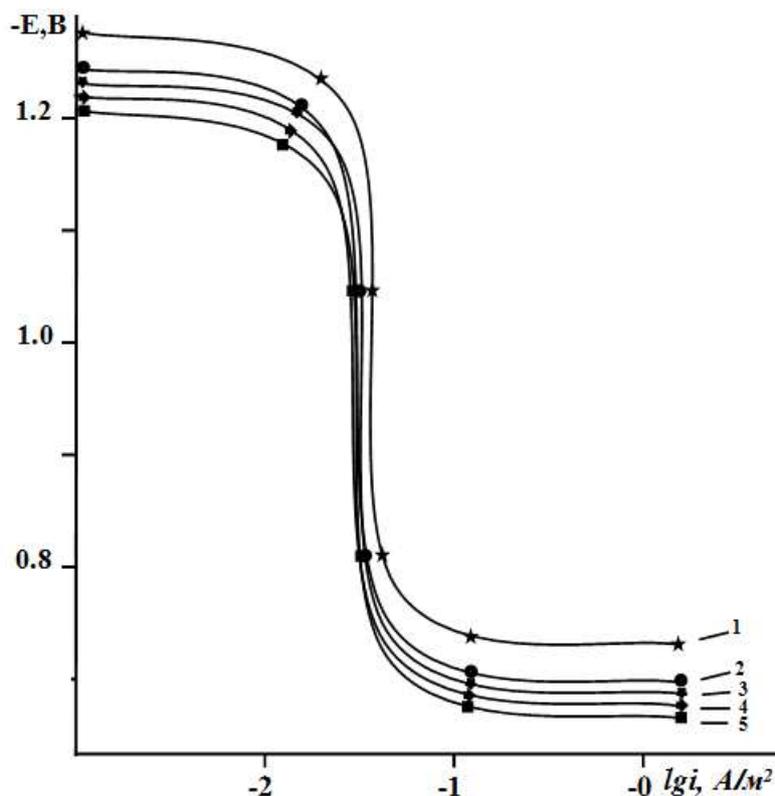


Рис 2. Анодные ветви потенциодинамических (2мВ/с) поляризационных кривых цинково-алюминиевого сплава Zn22Al (1), содержащего никель, мас.‰: 0.5 (2); 0.01 (3); 0.05 (4); 0.1 (5), в среде 3%-ного электролита NaCl

В активном растворении анодного сплава преобладающую роль играют хлорид и гидроксид-ионы, на что указывает повышение либо уменьшение скорости коррозии исследуемых сплавов в различных электролитах от pH среды. Например, в нейтральном растворе электролита NaCl при pH = 7 скорость коррозии исследуемых сплавов существенно отличается по сравнению с кислыми (pH = 1, 2, 3) и щелочными (pH = 10, 11, 12) растворами электролитов HCl и NaOH, соответственно. Введение хрома, марганца и никеля (по 0.01 ÷ 0.1 мас.‰) в составе базового цинково-алюминиевого сплава Zn22Al способствует снижению скорости коррозии базового сплава до 3 раза. Наибольший эффект коррозионностойкости сплавов наблюдается в диапазоне pH среды от 3 до 10 (рис 3).

Результаты исследования влияния pH среды на скорость коррозии исследованных сплавов свидетельствуют, что при переходе от легированных хромом сплавов к сплавам с марганцем сначала несколько повышается скорость коррозии, затем к сплавам с никелем эта величина снова уменьшается (рис 3). Полученная зависимость хорошо согласуется с изменениями микроструктуры цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного по 0.1 мас.‰ хромом, марганцем и никелем, снятые на современном микроскопе ERGOLUX AMC при $\times 500$ (рис 4).

Таблица 2

Коррозионно-электрохимические характеристики (х.с.э.) цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного хромом, марганцем и никелем, в кислой среде

Среда HCl, н.	Легирующий компонент сплава, мас. %	Электрохимические потенциалы (х.с.э.), В				Скорость коррозии	
		-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{р.п.}	$i_{кор.} \cdot 10^2$	$K \cdot 10^3$
						А/м ²	г/м ² · ч
0.001	Zn22Al (1)	1.023	1.028	0.948	0.968	0.055	0.564
	(1) + 0.01 Cr	0.949	0.950	0.859	0.866	0.026	0.266
	(1) + 0.1 Cr	0.919	0.925	0.814	0.823	0.021	0.215
	(1) + 0.5 Cr	0.960	0.965	0.869	0.879	0.028	0.287
	(1) + 0.01 Mn	1.006	1.010	0.940	0.954	0.027	0.277
	(1) + 0.1 Mn	0.938	0.942	0.900	0.911	0.022	0.225
	(1) + 0.5 Mn	1.011	1.015	0.915	0.921	0.029	0.297
	(1) + 0.01 Ni	1.010	1.014	0.944	0.958	0.025	0.256
	(1) + 0.1 Ni	0.948	0.954	0.879	0.897	0.020	0.205
(1) + 0.5 Ni	1.018	1.024	0.969	0.992	0.027	0.277	
0.01	Zn22Al (2)	1.053	1.060	1.010	1.016	0.065	0.666
	(2) + 0.01 Cr	0.961	0.961	0.864	0.878	0.027	0.277
	(2) + 0.1 Cr	0.927	0.930	0.819	0.829	0.024	0.246
	(2) + 0.5 Cr	0.969	0.985	0.874	0.886	0.029	0.297
	(2) + 0.01 Mn	1.018	1.020	0.930	0.942	0.028	0.287
	(2) + 0.1 Mn	0.943	0.950	0.905	0.914	0.025	0.256
	(2) + 0.5 Mn	1.026	1.030	0.955	0.969	0.030	0.307
	(2) + 0.01 Ni	1.028	1.037	0.949	0.964	0.026	0.266
	(2) + 0.1 Ni	0.961	0.964	0.899	0.908	0.022	0.225
(2) + 0.5 Ni	1.064	1.064	0.979	0.999	0.028	0.287	
0.1	Zn22Al (3)	1.083	1.088	1.038	1.043	0.083	0.851
	(3) + 0.01 Cr	0.973	0.975	0.874	0.886	0.033	0.338
	(3) + 0.1 Cr	0.934	0.935	0.829	0.836	0.031	0.318
	(3) + 0.5 Cr	0.987	0.990	0.879	0.894	0.035	0.359
	(3) + 0.01 Mn	1.031	1.038	0.935	0.946	0.036	0.369
	(3) + 0.1 Mn	0.954	0.960	0.920	0.926	0.034	0.348
	(3) + 0.5 Mn	1.043	1.050	0.965	0.973	0.037	0.379
	(3) + 0.01 Ni	1.033	1.039	0.964	0.979	0.031	0.318
	(3) + 0.1 Ni	0.976	0.974	0.904	0.920	0.029	0.297
(3) + 0.5 Ni	1.055	1.054	0.984	1.005	0.034	0.348	

Таблица 3

Коррозионно-электрохимические характеристики (х.с.э.) цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного хромом, марганцем и никелем, в нейтральной среде

Среда NaCl, мас.%	Легирующий компонент сплава, мас.%	Электрохимические потенциалы (х.с.э.), В				Скорость коррозии	
		-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{р.п.}	$i_{кор.} \cdot 10^2$	К · 10 ³
						А/м ²	г/м ² · ч
0.03	Zn22Al (1)	0.920	1.250	0.710	0.815	0.039	0.400
	(1) + 0.01 Cr	0.900	1.230	0.690	0.796	0.020	0.205
	(1) + 0.1 Cr	0.879	1.211	0.670	0.778	0.017	0.174
	(1) + 0.5 Cr	0.868	1.200	0.661	0.770	0.027	0.277
	(1) + 0.01 Mn	0.908	1.240	0.700	0.803	0.024	0.246
	(1) + 0.1 Mn	0.886	1.221	0.680	0.785	0.020	0.205
	(1) + 0.5 Mn	0.875	1.210	0.671	0.777	0.031	0.318
	(1) + 0.01 Ni	0.888	1.218	0.678	0.785	0.018	0.184
	(1) + 0.1 Ni	0.865	1.199	0.656	0.767	0.015	0.154
(1) + 0.5 Ni	0.854	1.190	0.645	0.760	0.025	0.256	
0.3	Zn22Al (2)	0.960	1.270	0.725	0.830	0.042	0.430
	(2) + 0.01 Cr	0.940	1.250	0.705	0.806	0.022	0.225
	(2) + 0.1 Cr	0.920	1.230	0.684	0.786	0.018	0.184
	(2) + 0.5 Cr	0.910	1.220	0.675	0.775	0.029	0.297
	(2) + 0.01 Mn	0.949	1.259	0.714	0.815	0.026	0.266
	(2) + 0.1 Mn	0.927	1.237	0.691	0.791	0.023	0.236
	(2) + 0.5 Mn	0.916	1.228	0.680	0.779	0.033	0.338
	(2) + 0.01 Ni	0.928	1.236	0.690	0.797	0.020	0.205
	(2) + 0.1 Ni	0.906	1.210	0.670	0.780	0.014	0.143
(2) + 0.5 Ni	0.895	1.200	0.660	0.770	0.027	0.277	
3.0	Zn22Al (3)	0.993	1.288	0.735	0.765	0.048	0.492
	(3) + 0.01 Cr	0.958	1.261	0.715	0.812	0.026	0.266
	(3) + 0.1 Cr	0.938	1.238	0.692	0.795	0.024	0.246
	(3) + 0.5 Cr	0.927	1.227	0.683	0.790	0.034	0.348
	(3) + 0.01 Mn	0.977	1.270	0.724	0.822	0.032	0.328
	(3) + 0.1 Mn	0.954	1.242	0.701	0.803	0.029	0.297
	(3) + 0.5 Mn	0.940	1.230	0.690	0.796	0.037	0.379
	(3) + 0.01 Ni	0.940	1.245	0.700	0.800	0.024	0.246
	(3) + 0.1 Ni	0.919	1.220	0.680	0.782	0.021	0.215
(3) + 0.5 Ni	0.910	1.208	0.670	0.774	0.032	0.328	

Таблица 4

Коррозионно-электрохимические характеристики (х.с.э.) цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного хромом, марганцем и никелем, в щелочной среде

Среда NaOH, н.	Легирующий компонент сплава, мас.%	Электрохимические потенциалы (х.с.э.), В				Скорость коррозии	
		-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{р.п.}	$i_{кор.} \cdot 10^2$	К · 10 ³
						А/м ²	г/м ² · ч
0.001	Zn22Al (1)	1.063	1.068	1.098	1.003	0.060	0.615
	(1) + 0.01 Cr	0.906	0.910	0.840	0.841	0.030	0.307
	(1) + 0.1 Cr	0.854	0.860	0.806	0.812	0.027	0.277
	(1) + 0.5 Cr	0.919	0.930	0.854	0.862	0.034	0.348
	(1) + 0.01 Mn	1.015	1.020	1.005	1.008	0.034	0.348
	(1) + 0.1 Mn	0.974	0.980	0.790	0.797	0.028	0.287
	(1) + 0.5 Mn	1.018	1.025	0.840	0.849	0.036	0.369
	(1) + 0.01 Ni	1.048	1.049	0.999	1.014	0.029	0.297
	(1) + 0.5 Ni	1.075	1.079	1.019	1.030	0.033	0.338
0.01	Zn22Al (2)	1.098	1.105	0.938	0.946	0.070	0.717
	(2) + 0.01 Cr	0.921	0.925	0.862	0.867	0.033	0.338
	(2) + 0.1 Cr	0.866	0.867	0.757	0.778	0.028	0.287
	(2) + 0.5 Cr	0.932	0.935	0.874	0.883	0.036	0.369
	(2) + 0.01 Mn	1.025	1.030	0.850	0.861	0.034	0.348
	(2) + 0.1 Mn	0.983	0.985	0.795	0.806	0.029	0.297
	(2) + 0.5 Mn	1.031	1.035	0.890	0.897	0.038	0.399
	(2) + 0.01 Ni	1.056	1.059	1.004	1.023	0.032	0.328
	(2) + 0.5 Ni	1.078	1.084	1.015	1.026	0.035	0.359
0.1	Zn22Al (3)	1.128	1.133	1.073	1.078	0.091	0.933
	(3) + 0.01 Cr	0.942	0.955	0.874	0.881	0.043	0.441
	(3) + 0.1 Cr	0.874	0.883	0.764	0.781	0.040	0.410
	(3) + 0.5 Cr	0.947	0.953	0.895	0.901	0.045	0.461
	(3) + 0.01 Mn	1.041	1.045	0.855	0.866	0.044	0.451
	(3) + 0.1 Mn	0.998	1.003	0.810	0.822	0.041	0.420
	(3) + 0.5 Mn	1.055	1.060	0.903	0.910	0.047	0.482
	(3) + 0.01 Ni	1.073	1.076	1.024	1.041	0.041	0.420
	(3) + 0.5 Ni	1.018	1.021	0.917	0.925	0.038	0.389
	(3) + 0.5 Ni	1.092	1.094	1.027	1.037	0.044	0.451

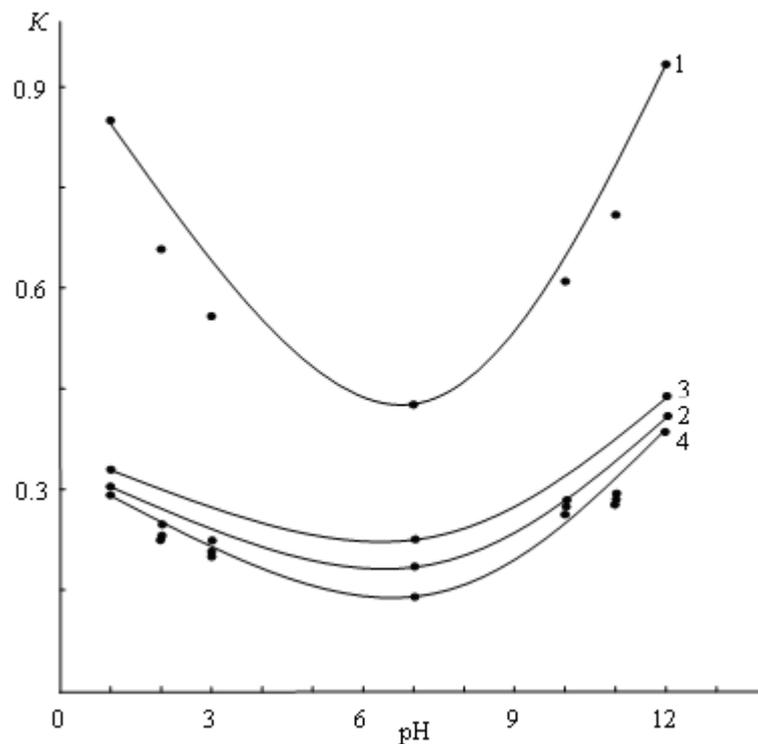


Рис 3. Зависимость скорости коррозии $K \cdot 10^3$ ($\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$) цинково-алюминиевого сплава Zn22Al (1), содержащего по 0.01 мас.% хрома (2), марганца (3) и никеля (4) от pH среды

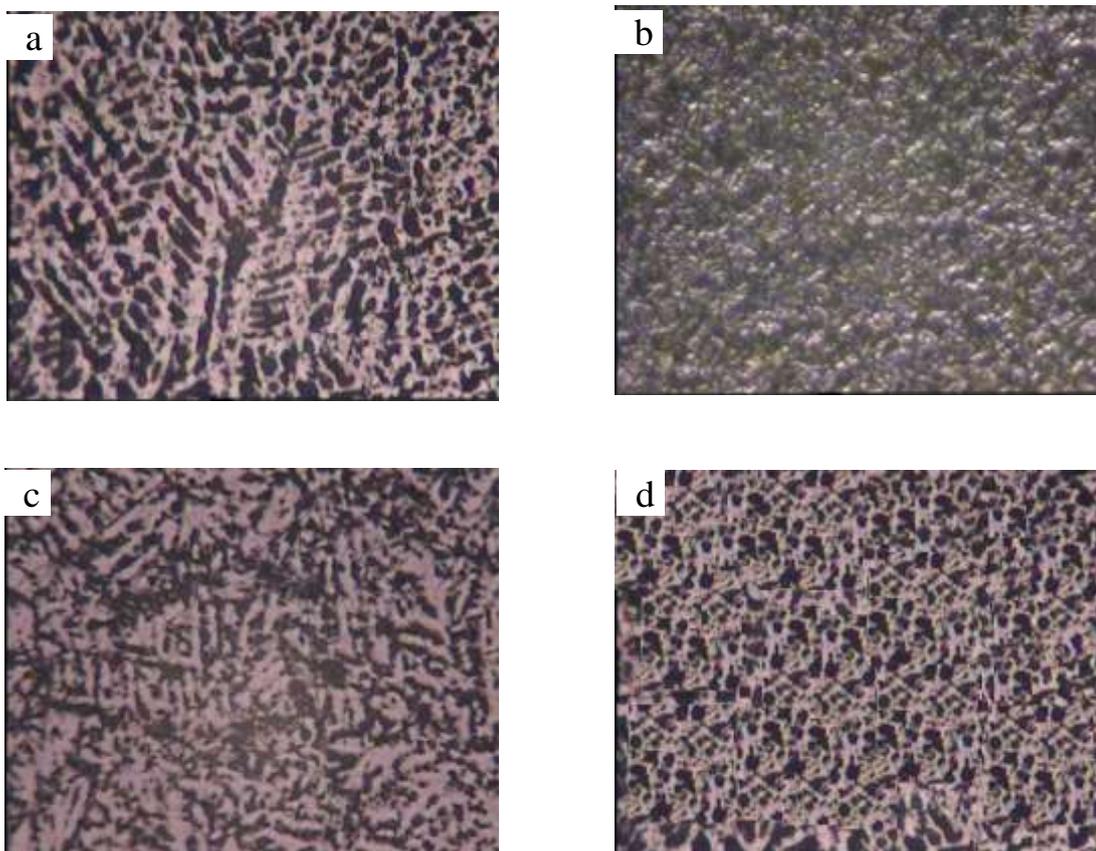


Рис 4. Микроструктуры (x500) цинково-алюминиевого сплава Zn22Al (a), содержащего по 0.1 мас.% хрома (b), марганца (c) и никеля (d)

В третьей главе диссертации, названной «ОКИСЛЕНИЕ ЦИНКОВО-АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА Zn22Al, ЛЕГИРОВАННОГО ХРОМОМ, МАРГАНЦЕМ И НИКЕЛЕМ, В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ» приведены исследования процесса окисления, для чего получали образцы цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного по 0.01÷1.0 мас.% хромом, марганцем и никелем. Исследования кинетики окисления твёрдых сплавов проводили в воздушной среде и измеряли увеличение удельной массы образца, с ростом оксидной плёнки во времени, при постоянных температурах 523, 573 и 623 К. Истинную скорость окисления вычисляли по касательным, проведённым от начала координат к кривым по формуле: $K=g/s \cdot \Delta t$, а значение эффективной энергии активации процесса высокотемпературного окисления вычисляли по тангенсу угла наклона прямой зависимости $lgK-1/T$.

Приведённые на рис 5 кинетические кривые процесса окисления на примере цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного никелем, показывают, что с возрастанием температуры привес масса (g/s) всех исследуемых образцов сплавов возрастает во времени (t) наблюдения процесса окисления. Процесс окисления изучаемых сплавов в начале 10-12 мин исследования представляет прямолинейный характера и протекает интенсивно. Такое поведение сплавов обусловливается образованием тонкой оксидной плёнки на их поверхности, то есть на начальных стадиях протекания процесса окисления образующейся оксидной плёнки не проявляются защитные свойства. Нарастание толщины оксидной плёнки на поверхности образцов сплавов происходит во времени наблюдения окисления сплавов после 15-20 мин процесса. Прямые линии кинетических кривых сплавов приобретают неизменный вид до 1 часа (на рис. 5 показано только 30 мин), что объясняется формированием сплошной оксидной плёнки на их металлической поверхности.

Направление кинетических кривых подчеркивает гиперболической характер механизма окисления исследуемых сплавов. Об этом свидетельствует непрямолинейный характер кривых в координатах $(g/s)^2-t$ (рис 6), а также аналитические зависимости $y = Kt^n$, где $n = 2 \div 4$ (табл 5). Рассчитанные из кинетических кривых значения истинной скорости окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного хромом, марганцем и никелем, на примере сплавов с никелем в зависимости от температуры и состава исследованных сплавов приведены в таб 6.

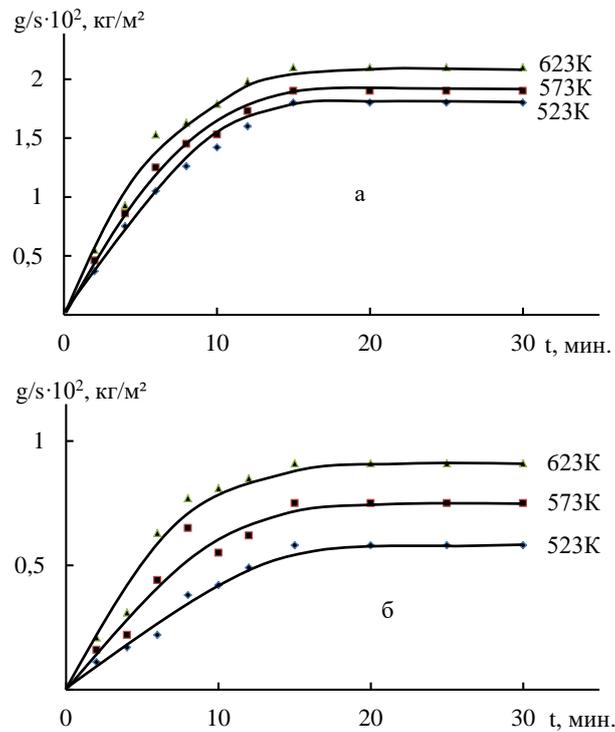


Рис 5. Кинетические кривые процесса окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al (а), содержащего 0.1 мас.% никель

Таблица 5

Результаты математической обработки кинетических кривых окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al с хромом, марганцем и никелем

Содержание легирующего компонента в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Полиномы квадратичных кинетических кривых окисления сплавов	Коэффициент корреляции R
0.0	523	$y = 0.002x^4 + 0.005x^3 - 0.066x^2 + 0.334x$	0.987
	573	$y = 0.002x^4 + 0.003x^3 - 0.053x^2 + 0.369x$	0.990
	623	$y = 0.001x^4 + 0.002x^3 - 0.069x^2 + 0.615x$	0.993
0.5 Cr	523	$y = 0.002x^4 + 0.004x^3 - 0.036x^2 + 0.215x$	0.988
	573	$y = 0.001x^4 + 0.002x^3 - 0.043x^2 + 0.246x$	0.990
	623	$y = 0.001x^4 + 0.001x^3 - 0.059x^2 + 0.272x$	0.995
0.5 Mn	523	$y = 0.002x^4 + 0.004x^3 - 0.048x^2 + 0.291x$	0.986
	573	$y = 0.002x^4 + 0.003x^3 - 0.066x^2 + 0.303x$	0.989
	623	$y = 0.001x^4 + 0.002x^3 - 0.073x^2 + 0.311x$	0.994
0.5 Ni	523	$y = 0.002x^4 + 0.004x^3 - 0.039x^2 + 0.221x$	0.986
	573	$y = 0.001x^4 + 0.003x^3 - 0.057x^2 + 0.259x$	0.989
	623	$y = 0.001x^4 + 0.001x^3 - 0.061x^2 + 0.276x$	0.994

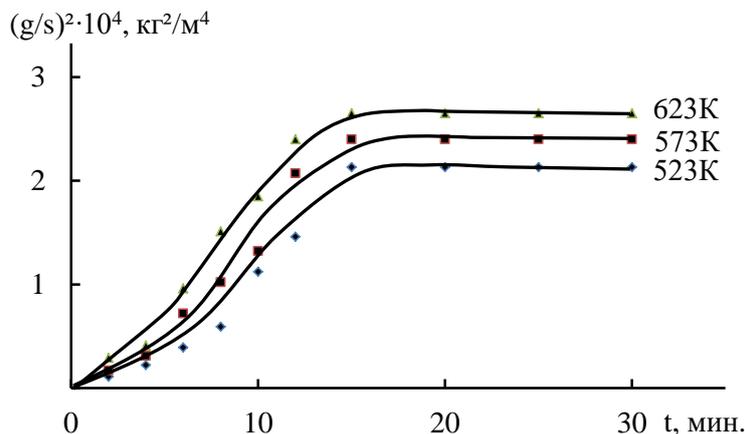


Рис 6. Квадратичные кинетические кривые процесса окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, содержащего 0.5 мас.% никель

Динамику изменения истинной скорости окисления и эффективной энергии активации процесса окисления исследуемых сплавов можно наблюдать по изохронне окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al с различным содержанием никеля, который построен при температуре 573К, соответствующей 10 и 20 минутам процесса окисления. Кривые процесса окисления характеризуются монотонным снижением скорости окисления и повышением энергии активации при легировании цинково-алюминиевого сплава Zn22Al хромом и никелем, в пределах изученной концентрации (рис 7). Добавки марганца (0.01÷0.5 мас.%) несколько увеличивают окисляемость цинково-алюминиевого сплава Zn22Al (табл 6, рис 7).

Таблица 6

Кинетические и энергетические параметры процесса окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al с никелем, в твёрдом состоянии

Добавки Ni в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Истинная скорость окисления ($K \cdot 10^4$), $кг \cdot м^{-2} \cdot сек^{-1}$	Эффективная энергия активации, кДж/моль
0.0	523	3.00	151.2
	573	3.44	
	623	3.79	
0.01	523	2.30	180.0
	573	2.42	
	623	3.05	
0.05	523	2.16	184.8
	573	2.55	
	623	2.86	
0.1	523	2.05	188.2
	573	2.35	
	623	2.71	
0.5	523	2.41	168.4
	573	2.83	
	623	3.29	

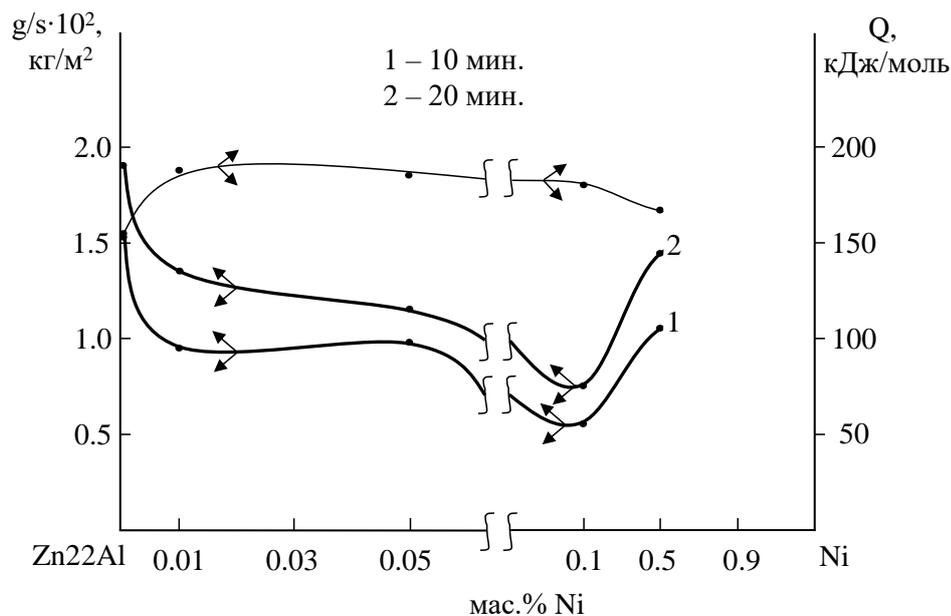


Рис 7. Изохронны окисления (573К) цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного никелем

Для сравнительного анализа в обобщенном виде на рис 8 и в табл 7 приведены результаты исследования влияния добавок хрома, марганца и никеля на кинетические и энергетические параметры процесса окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al. Видно, что при переходе от сплавов, легированных никелем к сплавам с хромом, далее, к сплавам с марганцем, наблюдается повышение истинной скорости окисления исследованных сплавов, что сопровождается уменьшением эффективной энергии активации процесса окисления (рис 8, табл 7).

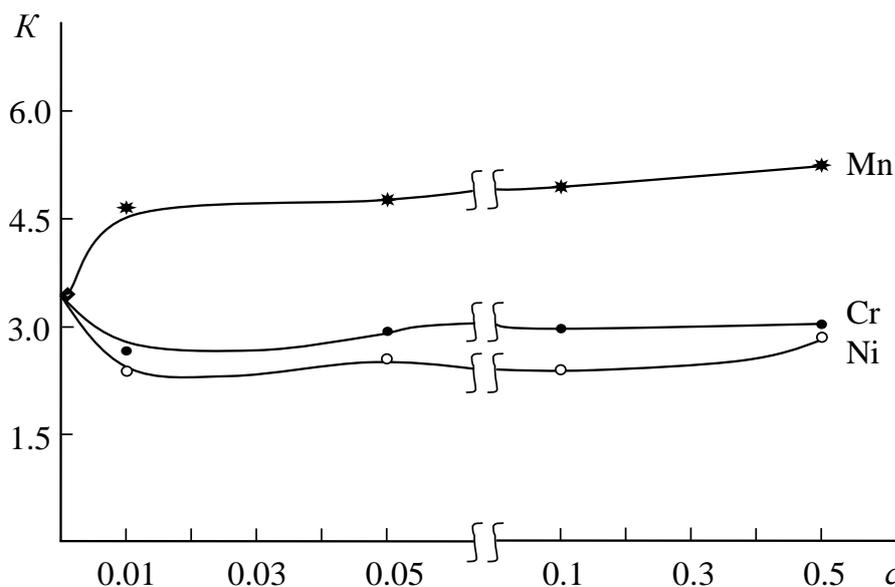


Рис 8. Сравнение зависимости изменения скорости окисления ($K \cdot 10^4$, кг·м⁻²·сек⁻¹) цинково-алюминиевого сплава Zn22Al от содержания (с, мас.%) хрома, марганца и никеля при температуре 573 К

Таблица 7

Сравнение зависимости эффективной энергии активации окисления цинково-алюминиевого сплава Zn22Al от содержания хрома, марганца и никеля

Легирующий компонент сплава Zn22Al	Эффективная энергия активации, кДж/моль				
	Добавки легирующего компонента, мас.%				
	-	0.01	0.05	0.1	0.5
-	151.2	-	-	-	-
Cr	-	162.4	164.7	169.3	160.6
Mn	-	147.5	145.0	141.3	137.1
Ni	-	180.0	184.8	188.2	168.4

В целом, термогравиметрическим методом исследовано взаимодействие цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного хромом, марганцем и никелем с кислородом воздуха при температурах 523, 573 и 623 К, в твёрдом состоянии. Определены кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов. Рентгенофазовым анализом установлено, что при окислении исследованных сплавов образуются оксиды ZnO, Al₂O₃, Cr₂O₃, Mn₂O₃, NiO, Al₂O₃·ZnO, ZnO·Cr₂O₃ и Al₂O₃·NiO. Показано, что добавки хрома и никеля в диапазоне концентрации 0.01÷0.1 мас.% значительно уменьшают окисляемость цинково-алюминиевого сплава Zn22Al.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

1. Потенциодинамическим исследованием анодного поведения сплавов в кислых (0.001н HCl (pH=3)), нейтральных (0.03; 0.3; 3% NaCl (pH=7)) и щелочных (0.001н NaOH (pH=10)) средах показана возможность повышения анодной устойчивости цинково-алюминиевого сплава Zn22Al (скорость коррозии уменьшается в 2–3 раза) при легировании его хромом, марганцем и никелем по 0.01÷0.1 мас.%. Разработанные составы новых коррозионностойких сплавов, как анодных защитных покрытий, защищены 2 малыми патентами Республики Таджикистан (№ TJ 1081, 1116).

2. В предприятии ООО «ТалКо» Республики Таджикистан проведены опытно-промышленные испытания на основании изобретённых новых цинк-алюминиевых сплавов в качестве защитных покрытий стали от коррозии на предмет их пригодности как оцинкованно-алюминизированный стали для изготовления кабельных лотков различного типа, используемых для монтажа и прокладки кабельно-проводниковой продукции. При расчёте технико-экономических показателей выявлено, что экономический эффект от использования данных изобретений в качестве защитных покрытий на

стальных изделиях из кабельных лотков различного типа за счет уменьшения скорость коррозии в 2-3 раза составляет 9.4\$ (12 сомони 70 дирам) на 1м² защищаемой поверхности.

3. Коррозионно-электрохимическим исследованием показано смещение потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов систем Zn₂₂Al-Cr(Mn, Ni) в область положительных значений от pH коррозионной среды. Определено, что при переходе от легированных хромом сплавов к сплавам с никелем скорость коррозии сплавов снижается, а далее - к сплавам с марганцем несколько растёт. Установлено, что среди легирующих металлов хром и никель более эффективно повышают коррозионную стойкость анодного сплава Zn₂₂Al.

4. Термогравиметрическим исследованием взаимодействия с кислородом воздуха цинково-алюминиевого сплава Zn₂₂Al, легированного хромом, марганцем и никелем, в твердом состоянии, в интервале температур 523÷623К установлен гиперболический механизм процесса окисления сплавов. Показано, что добавки хрома и никеля (по 0.01÷0.1 мас.%) значительно уменьшают окисляемость сплава Zn₂₂Al. Выявлено, что при переходе от легированных никелем сплавов к сплавам с хромом и марганцем наблюдается уменьшение значения эффективной энергии активации процесса окисления.

5. Рентгенофазовым анализом установлен фазовый состав продуктов окисления цинково-алюминиевого сплава Zn₂₂Al, легированного хромом, марганцем и никелем и их роли в механизме коррозионного процесса. Определено, что при окислении исследованных сплавов образуются оксиды ZnO, Al₂O₃, Cr₂O₃, Mn₂O₃, NiO, Al₂O₃·ZnO, ZnO·Cr₂O₃ и Al₂O₃·NiO.

6. Металлографическим исследованием микроструктуры цинково-алюминиевого сплава Zn₂₂Al, легированного хромом, марганцем и никелем показано модифицирующее влияние легирующих компонентов на структуру базового сплава Zn₂₂Al. Выявлено, что при введении в составе базового сплава по 0.1 мас.% хрома и никеля происходит значительное измельчение зерновой структуры сплавов.

7. Результаты исследования рекомендуются для специалистов в области материаловедения, гальванотехники, металлургии, а также материаловедов и производителей, занимающихся проблемами защиты стальных конструкций и оборудования от коррозионно-эрозионного разрушения.

8. Разработанные оптимальные составы новых цинково-алюминиевых сплавов Zn₂₂Al с хромом, марганцем и никелем рекомендуются в качестве анодных защитных покрытий для повышения коррозионной стойкости и увеличения срока службы углеродистых стальных изделий, конструкций и сооружений.

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

**KULOB INSTITUTE OF TECHNOLOGY AND INNOVATION
MANAGEMENT
INSTITUTE OF CHEMISTRY NAMED AFTER V.I. NIKITINA
ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF TAJIKISTAN**

HAKIMOV ISKANDAR BOZOROVICH

**ANODE BEHAVIOR AND OXIDATION OF ZINC-ALUMINIUM ZN2AL
ALLOY, DOPED WITH CHROME, MANGANESE AND NICKEL**

**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. Technology of rare, rare and radioactive elements**

**ABSTRACT OF DOCTOR OF PHILOSOPHY (PhD) IN
TECHNICAL SCIENCES**

Tashkent – 2022

The theme of the dissertation of the Doctor of Philosophy (PhD) in technical sciences is registered in the Higher Attestation Commission under the Cabinet of Ministers of the Republic of Uzbekistan for _____

The dissertation was completed at Tashkent State Technical University.

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 adviser:

Obidov Ziyodullo Rakhmatovich
Doctor of Chemical Sciences, professor

Official opponents:

Norkhuzhaev Fayzulla Ramazanovich
Doctor of Technical Sciences, Professor

Turakhuzhaeva Shirinkhon Nodir qizi
doctor of philosophy (PhD) technical science

Leading organization:

Almalyk branch of the National University of technological research "MISIS"

The defense of the dissertation consists of «15» October 2022 at 14-00 hours at a meeting of the Scientific Council .No DSc.03/12.2019.T.03.04. under the Tashkent State Technical University of Uzbekistan (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 No 275. (Address: 100095, Tashkent, Universitetskaya St., 2. Tel. / Fax: (99871) 227-10-32)

Abstract of the dissertation sent «30» September 2022
(register of the distribution protocol No. 151 from «30» September 2022)

K.A. Karimov

Chairman of the Award Scientific Council
accounting degrees, doctor of technical sciences, professor

Sh.B. Tashbulatov

Scientific secretary of the scientific council
awarding scientific degrees,
doctor of philosophy (PhD)
technical science

N.D. Turakhodjaev

Chairman of scientific seminar at scientific
council on awarding of scientific degrees,
doctor of technical sciences, professor

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

The aim of the research work is the study of the anodic behavior and oxidation of the zinc-aluminum alloy Zn22Al alloyed with chromium, manganese and nickel in various corrosive environments and the development of the optimal composition of new alloys intended as anode coatings.

The object of the research is the objects of research in this work are zinc grade XCh (granulated), aluminum grade A7 and its alloys with chromium (grade KhCh), manganese (grade MCh) and nickel (grade H-2) (2% Cr, Mn and 6% Ni).

The scientific novelty of a research consists in the following:

- a new composition of zinc-aluminum alloy No. TJ 1081 was developed; received a patent number 1116. The composition was developed on the basis of changing the dynamics of the mechanical properties of the alloy, in which the amount of zinc varied;

- the composition of the new protective composition is developed on the basis of displacement of alloying elements flow;

- new zinc-aluminum alloys, investigated as coatings for protecting steel from corrosion, are developed on the basis of the chemical activity of the zinc element when forming a concentration in an aluminum alloy;

- the regularities of changes in the corrosion and electrochemical characteristics of the zinc-aluminum alloy zn22al in acidic, neutral and alkaline media of electrolytes HCl, NaCl and NaOH at different values of RN of corrosive media with different concentrations of chromium, manganese and nickel are determined based on changes in the RN parameters of the corrosive environment with respect to temperature;

- the effect of alloying additives (Cr, Mn, Ni) on the microstructure of the zn22al alloy and the behavior of the anode was determined based on the degree of interconnection of elements in the structure;

- kinetic and energy parameters of the oxidation process in the solid state of zinc-aluminum alloy zn22al alloyed with chromium, manganese and nickel of various concentrations were determined based on the duration of the resulting reactions.

Implementation of the research results. Based on the results obtained on the anodic behavior and oxidation of zinc-aluminum alloy ZN22al alloyed with chromium, manganese and nickel, the following results were developed and introduced into production:

- new composition of zinc-aluminum alloy no. TJ 1081, received a patent number 1116. Introduced into the scientific research department of the Kulyab Institute of Technology and Innovation Management;

- a new composition of the zinc-aluminum alloy was introduced in the research department of the Ozera Institute of Technology and Innovation Management (certificate of Talco OJSC from January 10 to March 10, 2022). As a result, an increase in the resistance of coatings to opposing factors by 2-3 times was achieved;

- new zinc-aluminum alloys, developed as anti-corrosion coatings for steel, were introduced at the JSC Talco enterprise for the installation and laying of cable and wire products (Certificate of JSC Talco from January 10 to March 10, 2022). The result is 9.4 dollars (12 somon 70 diram) per 1 m² of the protected surface due to a 2-3 times reduction in the metal corrosion rate.

The structure and volume of the thesis. The dissertation work consists of an introduction, a general description of the work, a review of the literature, three chapters, a conclusion, a list of references and an appendix. The dissertation is presented on 117 pages of a computer set, including 36 tables, 43 figures and 88 titles of literary sources.

ЭЪЛОН ҚИЛИНГАН ИШЛАР РЎЙХАТИ
СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ
LIST OF PUBLISHED WORKS

I – бўлим (I – часть; I – part)

1. **Хакимов, И.Б.** Окисление сплава Zn22Al, легированного хромом / И.Б. Хакимов, З.Р. Обидов, А.Н. Тураев // КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ Научно-технический и производственный журнал 2/2022 . // -№2. – С. 112-115 (05.00.00. №13)..
2. **Х. Хакимов, И.Б.** OXIDATION OF ALLOY, DOPED WITH NICKEL. / I.B. Nakimov, Z.R. Obidov // UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. -2022 . - №3(96) (Scopus).
3. Хакимов И.Б. Кинетика окисления и анодное поведение сплава Zn22Al, легированного никелем / И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. (Scopus). – 2021. – Т. 64. – Вып. 6. – С. 35-40. (Scopus).

II бўлим (II часть; part II)

4. **Хакимов И.Б.** Влияние добавок марганца на анодное поведение сплава Zn22Al, в нейтральной среде / И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук. – 2019. – № 4. – С. 132-135.
5. **Хакимов И.Б.** Влияние добавок хрома на анодное поведение сплава Zn22Al в нейтральной среде / И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук (ТНУ). – 2020. – № 1. – С. 120-125.
6. **Хакимов И.Б.** Кинетика окисления сплава Zn22Al, легированного хромом, в твёрдом состоянии / И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Известия АН Республики Таджикистан. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук.– 2021.– № 2 (168). – С. 31-35.
7. Малый патент Республики Таджикистан № ТД 1081. Цинк-алюминиевый сплав / **Хакимов И.Б.**, Обидов З.Р., Ганиев И.Н., Назаров О.Н. и др. / № 2001388; заявл. 20.01.20, опубл. 16.04.20, бюл. 159, 2020. – 3 с.
8. Малый патент Республики Таджикистан № ТД 1116. Цинк-алюминиевый сплав / **Хакимов И.Б.**, Ганиев И.Н., Обидов З.Р., Сироджидинов М.Э. и др. / № 2001423; заявл. 10.04.20, опубл. 14.10.20, бюл. 164, 2020. – 3 с.
9. **Хакимов И.Б.** Анодное поведение цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного никелем / И.Б. Хакимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Сб. матер. Межд. науч.-практ. конф. «Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых». Горно-металлургический институт Таджикистана. – Бустон. – 2019. – С. 46-48.

10. **Хахимов И.Б.** Влияния никеля на потенциал свободной коррозии сплава Zn22Al, в среде электролита NaCl / И.Б. Хахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Мат. Респ. науч. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – 2020. – С. 278-280.

11. **Хахимов И.Б.** Кинетика окисления сплава Zn22Al, легированного марганцем, в твёрдом состоянии / И.Б. Хахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Мат. Респ. науч. конф. «Инновационное развитие науки». ГНУ «Центр исследования инновационных технологий» при Национальной академии наук Таджикистана. – 2020. – С. 168-170.

12. **Хахимов И.Б.** Анодное поведение цинково-алюминиевого сплава Zn22Al, легированного марганцем / И.Б. Хахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Мат. Респ. науч. конф. «Инновационное развитие науки». ГНУ «Центр исследования инновационных технологий» при Национальной академии наук Таджикистана. – 2020. – С. 177-178.

13. **Хахимов И.Б.** Кинетика окисления сплава Zn22Al, легированного хромом, в твердом состоянии / И.Б. Хахимов, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Ф.А. Рахимов // Мат. Межд. науч.-практ. конф. «Индустриально-инновационное развитие экономики Республики Таджикистан: состояние, проблемы и перспективы». Филиал национального исследовательского технологического университета «МИС и С» в городе Душанбе. – 2021. – С. 47-48.

14. **Хахимов И.Б.** Влияние добавок марганца на анодное поведение сплава Zn22Al, в нейтральной среде / И.Б. Хахимов // Мат. Межд. науч.-практ. конф. "Ресурсо-и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве». Ташкент. – 2022. С. 151-156.

15. **Хахимов И.Б.** Изменение свойств алюминиевых сплавов в зависимости от режима плавки / И.Б. Хахимов, Н.Д. Тураходжаев, С.Ж. Тураходжаев, А.И. Султанов // Мат. Межд. науч.-практ. конф. "Ресурсо-и энергосберегающие инновационные технологии в литейном производстве». Ташкент. – 2022. С. 463-465.

Автореферат “ТошДТУ хабарлари” журнали таҳририятида таҳрирдан ўтказилди ва ўзбек, рус ва инглиз тилларидаги матнларини мослиги текширилди.

Бичими 60x84¹/₁₆. «Times New Roman» гарнитураси.
Рақамли босма усулида босилди.
Шартли босма табағи: 3. Адади 100. Буюртма № 50.

«Тошкент кимё-технология институти» босмахонасида чоп этилди.
100011, Тошкент, Навоий кўчаси, 32-уй.