

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА
ИНСТИТУТ ХИМИИ им. В.И. НИКИТИНА

На правах рукописи

УДК 620.197:669.017

ДЖОБИРОВ УМЕД РУСТАМОВИЧ

АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ОКИСЛЕНИЕ
ЦИНКОВОГО СПЛАВА $Zn_{0.5}Al$, ЛЕГИРОВАННОГО
СКАНДИЕМ, ИТТРИЕМ И ЭРБИЕМ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора философии (PhD) – доктора по специальности

6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов

Душанбе – 2023

Диссертация выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана.

Научный руководитель: **Обидов Зиёдулло Рахматович,**
доктор химических наук, доцент, профессор
кафедры «Технология химических производств»
Таджикского технического университета
имени академика М.С. Осими

Официальные оппоненты: **Гафаров Абдулазиз Абдуллофизович,**
доктор технических наук, профессор,
проректор по науке и внедрению
Технологического университета Таджикистана

Назарзода Хайрулло Холназар,
доктор технических наук, доцент,
ректор Таджикского государственного
университета коммерции

Ведущая организация: **Институт энергетики Таджикистана**

Защита диссертации состоится 28 декабря 2023 года в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета 6D.КOA–028 при Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими по адресу: 734042, г. Душанбе, пр. академиков Раджабовых, 10. E-mail: adlia69@mail.ru

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

Автореферат разослан « ___ » _____ 2023 г.

**Учёный секретарь
диссертационного совета,
к.т.н., доцент**

Бабаева А.Х.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Одной из ряда ключевых задач, которые вытекает из производственного решения применительно к наиболее эффективным способам употребления производимых продукции из углеродистых сталей, является обоснованного максимального сокращения потерь продукции от разрушения вследствие коррозии. При интенсивной эксплуатации различных углеродистых стальных изделий в области машиностроения требуется надежная противокоррозионная защита. Уровень развития машиностроения определяет производительность труда в целом, качество продукции других отраслей промышленности, темпы развития технического прогресса.

До сегодняшнего времени основной материальной базой машиностроения служит черная металлургия, производящая стали и чугуны. Эти материалы имеют много положительных качеств и в первую очередь обеспечивают высокую конструкционную прочность деталей машин и изделий. Однако эти классические материалы имеют такие недостатки, как большая плотность, низкая коррозионная стойкость. Потери от коррозии составляют 20% годового производства изделий из стали и чугуна. По данным научных исследований, через 20-40 лет все развитые страны перестроятся на массовое использование металлических сплавов специального назначения.

Машиностроение – комплекс отраслей тяжелой промышленности, изготавливающих орудия труда, а также предметы потребления. Огромная роль принадлежит машиностроению в деле создания материально-технической базы всемирного общества. Большая роль в повышении качества, надежности и долговечности углеродистых стальных изделий машиностроительной промышленности принадлежит цинковым покрытиям, которые защищают этих изделий от коррозии.

Глубокое изучение физико-химических и коррозионных представлений о металлах и сплавах открывает широкие возможности в разработке новых металлических материалов для современной техники, обладающих особыми свойствами. Требования к металлическим материалам становятся настолько высоки, что старый, чисто классический металловедческий подход к их изучению и созданию новых материалов не может быть использован. Поэтому в изучение металлов, сплавов и металлических соединений все больше внедряются физико-химические и механические теории, коррозионно-электрохимические и физико-химические методы исследования. Актуальность тематики исследования целесообразно требует необходимостью проведения комплексного исследования цинковых сплавов в различных коррозионно-активных средах с целью повышения их анодной устойчивости легированием редкоземельными металлами.

Степень изученности научной темы. В настоящее время таджикская и зарубежная литература обогатилась рядом ценных монографий и статей, посвященных отдельным группам легированных металлических сплавов. Изложены основы электронной теории металлов; рассмотрены модели свободных электронов и зонная теория; дается анализ свойств кристаллической

и электронной структуры твердых растворов и основных типов промежуточных металлических фаз. Обоснованы сущность применения лигатуры, показаны важность и необходимость легирования, модифицирования и обработка различных видов сплавов, изучены физико-химические, коррозионно-электрохимические, механические и технологические свойства гостированных, промышленных, эвтектических, эвтектоидных или промежуточных сплавов разного назначения, имеющих ряд специфических особенностей, в свою очередь являющиеся объектом специализации отдельных производителей и исследователей.

Примером служит информация о том, что помимо воздействия активных газов сплавы, используемые в промышленных средах, особенно содержащих продукты сгорания природных топлив, испытывают определенное воздействие, связанное с образованием солевого осадка особенно сульфатного, на поверхности металла или оксида. Глубина воздействия горячей коррозии, которая может быть катастрофической, чувствительна к ряду параметров, включая состав осадка, атмосферу, температуру и термоциклирование, эрозию, состав сплава и его микроструктуру. Если только на поверхности сплава образовался осадок, степень его влияния на коррозионную стойкость сплава будет зависеть от того, плавится или нет, этот осадок, насколько прочно он держится на поверхности сплава, в какой мере он смачивает эту поверхность. Изделия, подверженные поверхностному разрушению при повторном нагреве, могут быть защищены либо путем регулирования состава среды с целью сведения к минимуму или устранения поверхностного разрушения либо путем нанесения сплавных покрытий для защиты изделия от воздействия среды.

Развитие народного хозяйства в значительной степени определяется производством металлов и сплавов. В современной технике применяются материалы с высокой прочностью, коррозионной стойкостью и т.д. На производственной практике доказано, что горячее цинкование изделий занимает второе место по объёму производству. На сегодняшнее время стали широко применять Zn-Al покрытия. В данном исследовании уделено внимание на разработке нового класса защитных покрытий из цинкового сплава Zn_{0.5}Al, легированного скандием, иттрием и эрбием, рекомендуемых для анодной защиты углеродистых стальных конструкций и изделий от коррозии.

Связь исследования с научными программами. Диссертационная работа способствует решению четвёртой стратегической задачи по развитию металлургической и машиностроительной промышленности на основе местного сырья. Результаты диссертационной работы направлены на решении отдельных задач «Национальной стратегии развития Таджикистана на период до 2030 года» и её начального этапа, включенные в «Программу среднесрочного развития Республики Таджикистан на 2016-2020 годы».

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цель исследования заключается в разработке оптимального состава тройных сплавов на основе цинкового сплава Zn_{0.5}Al, легированного скандием, иттрием и эрбием, путем изучения их анодного поведения и окисления в различных коррозионно-активных средах.

Задачи исследования:

- исследование возможности повышения анодной устойчивости цинкового сплава Zn0.5Al легированием скандием, иттрием и эрбием в различных коррозионно-активных средах NaOH, HCl и NaCl с различным значением pH;
- изучение микроструктуры сплава Zn0.5Al при легировании его с редкоземельными металлами (Sc, Y, Er);
- исследование возможности повышения анодной устойчивости сплава Zn0.5Al легированием скандием, иттрием и эрбием к окислению в воздушной среде, в твёрдом состоянии;
- определить особенности фазового состава продуктов окисления синтезированных сплавов и установить их роль в механизме высокотемпературного анодного растворения;
- установить особенности оптимизации химического состава образцов сплавов посредством проведения исследований их различных свойств и определить возможности их применения как анодных покрытий для противокоррозионной защиты различных углеродистых стальных изделий.

Объектом исследования являлся цинк марки ХЧ (гранулированный), алюминий марки А7 и его лигатуры со скандием (AlSc2), иттрием (AlY7) и эрбием (AlEr10) (по мас.%).

Предметом исследования является изучение анодного поведения и окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного скандием, иттрием и эрбием, в различных коррозионно-активных средах.

Методы исследования. Исследование состава, структуры и свойства сплавов проводились микрорентгеноспектральным, потенциостатическим, металлографическим, рентгенофазовым и термогравиметрическим методами.

Этапы исследования. Диссертационное исследование было выполнено в период 2020-2023 гг. по следующим этапам: синтез цинкового сплава Zn0.5Al с легирующими добавками скандия, иттрия и эрбия; исследование анодной устойчивости цинкового сплава, легированием скандием, иттрием и эрбием в различных коррозионно-активных средах, исследование влияния легирующих добавок (Sc, Y, Er) на анодную устойчивость цинкового сплава к окислению при высоких температурах, в воздушной среде; исследование микроструктуры и продуктов окисления легированных тройных сплавов.

Информационная база исследования. Информационной базой настоящей диссертации являются научные труды – патенты, монографии, диссертации, периодические научные журналы, материалы симпозиумов, конференций и интернет портал, посвященных цинковым и цинково-алюминиевым сплавам (глубина поиска более 30 лет).

Исследование анодного поведения и окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного скандием, иттрием и эрбием, в различных коррозионно-активных средах выполнено с применением следующих приборов: сканирующий электронный микроскоп SEM (AIS2100); импульсный потенциостат ПИ-50.1.1; микроскоп ERGOLUX АМС; термогравиметрические весы; прибор ДРОН-2.0.

Научная новизна исследования:

- проведены комплексные экспериментальные исследования анодной устойчивости сплавов систем $Zn_{0.5}Al-Sc(Y,Er)$ к воздействию разновидности коррозии в тестовых коррозионно-активных средах;
- установлены закономерности изменения микроструктуры и коррозионно-электрохимических потенциалов от состава образцов сплава;
- показаны значительные воздействия концентраций гидроксид и хлорид-ионов, присутствующих в растворах $NaOH$, HCl и $NaCl$;
- установлены особенности влияния скандия, иттрия и эрбия на анодную стойкость цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$ к высокотемпературному окислению;
- определены способность легирующих элементов (Sc, Y, Er) сплава $Zn_{0.5}Al$ в формировании фазового состава продуктов окисления тройных сплавов;
- показаны возможности повышения анодной устойчивости сплава $Zn_{0.5}Al$ в 2-3 раза при легировании его с редкоземельными металлами в количествах $0.01 \div 0.1\%$ Sc , Y и Er , соответственно при $pH=3 \div 10$.

Теоретические основы исследования заключается в установлении наиболее особо важные доказательные аспекты эффективного закономерного изменения структуры, анодной характеристики, стойкости к окислению и скорости коррозии сплавов систем $Zn_{0.5}Al-Sc(Y, Er)$.

Практическая значимость исследования заключается в разработке оптимальных составов анодных защитных цинковых сплавных покрытий с участием алюминия, скандия, иттрия и эрбия для противокоррозионной защиты углеродистых стальных конструкций, изделий и сооружений. Разработанные составы анодных цинковых сплавов защищены 2 малыми патентами Республики Таджикистан (№ ТЖ 1079, 1081).

На предприятии ООО «Нокили ТАЛКО» г. Душанбе по монтажу и прокладке кабельно-проводниковой продукции внедрены новые цинково-алюминиевые сплавы, разработанные в качестве антикоррозионных покрытий для стали (с 10 января по 10 марта 2022 года). Результат составляет 9,4 доллара (12 сомон 70 дирам) за 1 м^2 защищаемой поверхности за счет снижения в 2-3 раза скорости коррозии стальной кабельных лотков (имеется акт внедрения).

Положения, выносимые на защиту:

- результаты рентгеноспектрального микроанализа и микроструктуры легированных скандием, иттрием и эрбием цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$;
- результаты потенциостатического исследования анодного поведения легированных скандием, иттрием и эрбием цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, в коррозионно-активных средах электролитов соляной кислоты, гидроксида и хлорида натрия различной концентрации;
- результаты термогравиметрического исследования анодной стойкости легированных скандием, иттрием и эрбием сплава $Zn_{0.5}Al$ к высокотемпературному окислению;
- результаты рентгенофазового анализа образующих продуктов окисления сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного скандием, иттрием и эрбием.

Степень достоверности результатов. Комплексные проведённые экспериментальные исследования по изучению анодного поведения и

окисления сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного скандием, иттрием, эрбием, и установление возможности повышения их анодной устойчивости в различных коррозионно-активных средах научно-практически обоснованы и достоверны. Основные результаты диссертационных исследований обсуждались на научных конференциях и публиковались в рецензируемых журналах.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности.

Диссертационная работа соответствует формуле специальности 6D071000 – раздел науки и техники, занимающаяся разработкой новых материалов с заданным комплексом свойств путем установления фундаментальных закономерностей влияния состава, структуры, технологии, а также эксплуатационных и других факторов на свойства материалов. В частности, диссертация соответствует паспорту научной специальности 6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов по пунктам 1–4, 9. Разработанные сплавы на основе $Zn_{0.5}Al$ с добавками редкоземельных элементов (Sc, Y, Er), вследствие изучения их анодного поведения и окисления в условиях экспериментальных исследований, целесообразно проявляют существенные эксплуатационные свойства, которые нужны для ускоренного развития современных областей промышленности. Разработанные новые сплавы подвергались опытно-промышленному испытанию на предмет анодных защитных покрытий углеродистой стали.

Личный вклад соискателя состоит в формулировке цели и задачи исследования, сборе и анализе литературных данных по теме диссертации, проведении экспериментов и их обработке, формулировке выводов диссертации и публикации результатов исследования.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались на: Респ. науч.-теор. конф. «Подготовка технических кадров в условиях индустриализации страны». Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни (Душанбе, 2020-2021гг.); Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет (Душанбе, 2020г.); III Межд. науч.-практ. конф. «Развитие химической науки и области их применения». Таджикский национальный университет (Душанбе, 2021г.); Респ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук». Российско-Таджикский (Славянский) университет (Душанбе, 2021г.).

Публикации по теме диссертации. По теме диссертации опубликованы 8 статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК и 5 статей в материалах международных и республиканских конференций, а также получено 2 малых патентов Республики Таджикистан.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общая характеристика работы, четырех глав, заключение, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 130 страницах компьютерного набора, включая 37 таблицы, 43 рисунков и 122 библиографических наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснованы актуальность, сформулированы цели и задачи научной работы, значимость проводимых исследований, отражены научная и практическая значимость в области материаловедения и технологии новых материалов, описана научная новизна и возможность применения результатов в производство, перечислены положения, выносимое на защиту.

Первая глава диссертации **«Особенности анодного поведения и окисления цинковых сплавов и защитных покрытий на их основе»** представляет собой литературный обзор, в котором проведен подробный анализ о структурообразование сплавов в системах Zn-Al, Al-Zn-Sc(Y) и характеристики оксидных фаз. Обсуждены особенности анодного поведения и кинетики окисления цинковых сплавов в твёрдом и жидком состояниях, в различных коррозионно-активных средах. Рассмотрены области применения цинковых сплавов в качестве защитных покрытий. Как вытекает из обзора литературы, на основании собранных материалов, проведение коррозионных исследований более результативно позволяет успешно принимать решения научно-технических и практических задач. Для того, чтобы защитить при эксплуатации конструкционные или коррозионностойкие материалы необходимо сперва установить причины коррозии. Подбор таких материалов с хорошими защитными покрытиями при эксплуатации является существенным фактором. При этом необходимо изучить воздействие влияющих факторов на скорость коррозии, в различных коррозионно-активных средах. С учётом вышеизложенного, анализ обзора литературы оправдано подтверждает фактического выполнения комплексного эксперимента по изучению различных свойств цинковых сплавов, легированием скандием, иттрием и эрбием.

Во второй главе диссертации **«Объекты, приборы и принадлежности, методы экспериментального исследования»** проведены целенаправленные исследования по получению сплавов систем Zn_{0.5}Al–Sc, Zn_{0.5}Al–Y и Zn_{0.5}Al–Er в результате синтеза и анализа химического состава сплавов. Выявлены закономерности протекания анодных и кинетических процессов в зависимости от условий и параметров физико-химических свойств ингредиентов состава сплавов. Определены состав, строение, структура и свойства сплавов микрорентгеноспектральным, потенциостатическим, металлографическим, рентгенофазовым и термогравиметрическим методами.

В третьей главе диссертации **«Исследование анодного поведения цинкового сплава Zn_{0.5}Al, легированного скандием, иттрием и эрбием, в различных коррозионно-активных средах»** приведены результаты влияния легирующих добавок скандия, иттрия и эрбия на анодное поведение сплава Zn_{0.5}Al в коррозионно-активных растворах HCl, NaCl и NaOH. Для исследования процесса анодного поведения сплава Zn_{0.5}Al с различным содержанием редкоземельных металлов использовали режим потенциодинамической развёртки потенциала со скоростью 2 мВ/с.

Результаты исследования показывают, что при временной выдержки образцов сплава в коррозионно-активных средах и при легировании сплава Zn_{0.5}Al скандием различной концентрации наблюдается сдвиг бестокового

потенциала свободной коррозии в область положительных значений. Постоянство значения установленных потенциалов по-разному находится в интервале времени 30-60 мин, соответственно в кислой (35-60 мин), нейтральной (30-60 мин) и щелочной (40-60 мин) средах (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние легирующих добавок скандия на изменение потенциала свободной коррозии ($-E_{св.кор.}$, В) цинкового сплава Zn0.5Al во времени выдержки в коррозионно-активных средах

Среда	Добавка Sc в сплаве, мас.%	Время выдержки сплава, минут							
		1/3	2/3	1	5	15	30- 40	50	60
0.1н. HCl	-	1.211	1.210	1.209	1.201	1.191	1.190	1.190	1.190
	0.01	0.900	0.899	0.898	0.890	0.885	0.880	0.880	0.880
	0.05	0.959	0.958	0.957	0.942	0.930	0.925	0.925	0.925
	0.1	0.989	0.989	0.987	0.982	0.979	0.975	0.975	0.975
	0.5	1.062	1.061	1.061	1.052	1.043	1.030	1.030	1.030
	1.0	1.115	1.114	1.114	1.109	1.100	1.090	1.090	1.090
3% NaCl	-	1.119	1.118	1.116	1.108	1.092	1.070	1.070	1.070
	0.01	0.791	0.790	0.790	0.782	0.774	0.760	0.760	0.760
	0.05	0.836	0.834	0.833	0.824	0.815	0.805	0.805	0.805
	0.1	0.880	0.880	0.878	0.865	0.860	0.855	0.855	0.855
	0.5	0.934	0.932	0.932	0.927	0.916	0.910	0.910	0.910
	1.0	0.996	0.995	0.995	0.988	0.981	0.970	0.970	0.970
0.1н. NaOH	-	1.216	1.215	1.213	1.213	1.211	1.210	1.210	1.210
	0.01	0.945	0.944	0.942	0.931	0.914	0.900	0.900	0.900
	0.05	0.983	0.983	0.982	0.969	0.952	0.945	0.945	0.945
	0.1	1.023	1.022	1.022	1.018	1.001	0.995	0.995	0.995
	0.5	1.084	1.083	1.081	1.071	1.060	1.050	1.050	1.050
	1.0	1.143	1.142	1.142	1.130	1.122	1.110	1.110	1.110

Все образцы сплава в первые минуты коррозионного процесса активно растворяются в указанных коррозионных средах. Образцы сплавов максимально проявляют активную растворимость в коррозионных средах, особенно в кислых и щелочных средах. Это явление происходит из-за активного воздействия хлорид и гидроксид-ионов, присутствующих в составе исследуемого раствора. Сдвиги коррозионно-электрохимических потенциалов при потенциодинамической поляризации в положительную область изменяют ход анодных кривых. Цинковый сплав Zn0.5Al, содержащий 0.01% скандий обладает минимальное значение токи коррозии. Критические токи анодного растворения относятся сплаву Zn0.5Al. Показанные анодные кривые (2-6), соответствующие сплавам со скандием располагаются ниже кривой (1), соответствующему сплаву Zn0.5Al. Этому обстоятельству свидетельствует эффективное влияние легирующих добавок скандия, повышающих анодную устойчивость сплава Zn0.5Al к электрохимической коррозии (рис. 1).

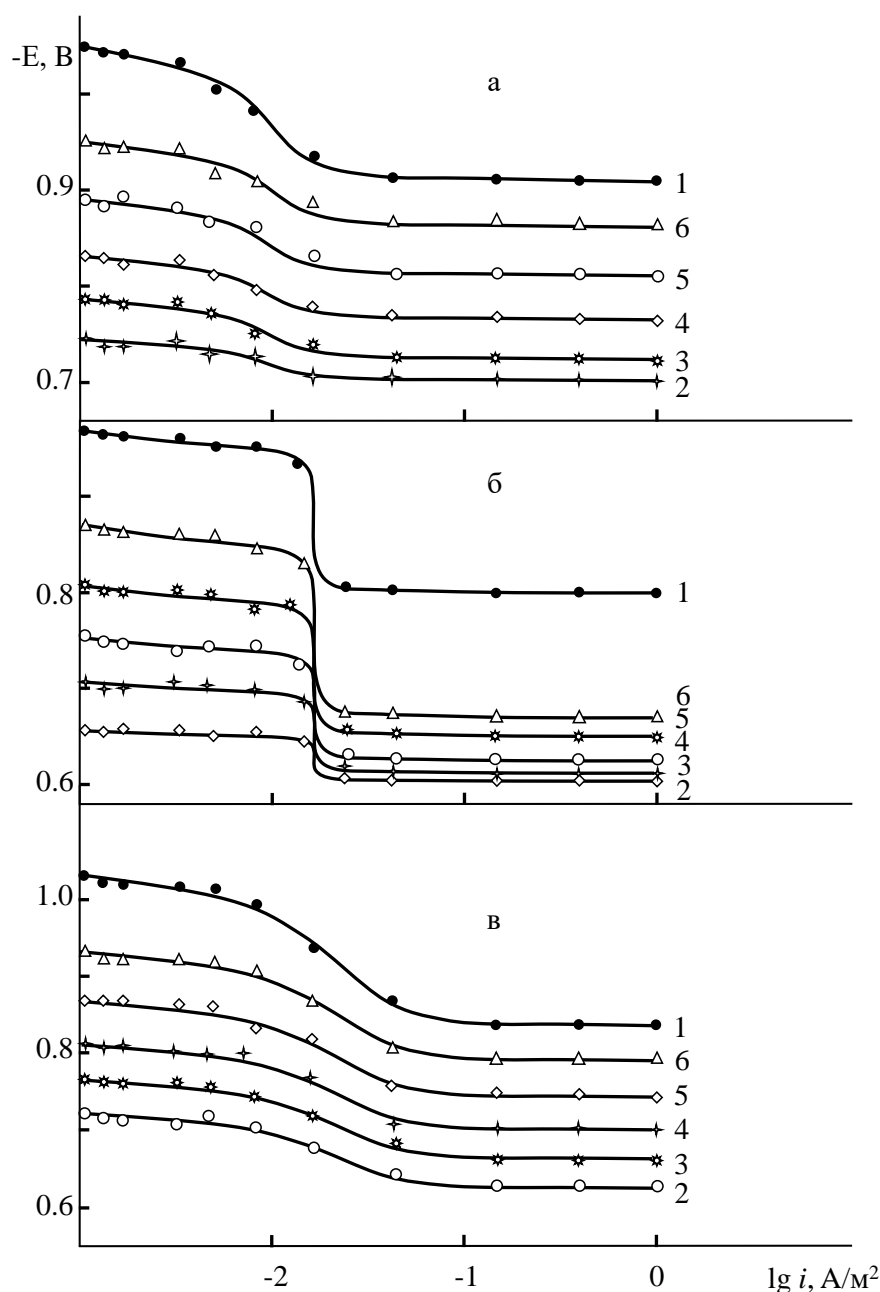


Рисунок 1 – Анодные поляризационные кривые (скорость развёртки потенциала 2 мВ/сек) цинкового сплава Zn0.5Al (1), легированного скандием, мас. %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5); 1.0 (6), в коррозионных средах 0.001н. HCl (а), 0.03% NaCl (б) и 0.001н. NaOH (в)

При уменьшении концентрации легирующих добавок редкоземельного металла (Sc, Y, Er) в исходном цинковом сплаве (Zn0.5Al) и гидроксид- и хлорид-иона в средах растворов NaOH, NaCl и HCl, анодные характеристики сдвигаются в области потенциалов с положительными значениями. Наиболее положительных сдвигов потенциала наблюдается в низкоконтрированных растворах. При сравнении добавляемого компонента в сплаве Zn0.5Al можно отметить уменьшение анодных характеристик сплавов по следующей схеме: скандий → иттрий → эрбий, что согласуется с закономерным изменением в пределах группы редкоземельных металлов (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние легирующих добавок скандия, иттрия и эрбия на анодные характеристики сплава Zn0.5Al, в коррозионно-активных средах

Среда	Легирующий компонент сплава, мас. %	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
		-E _{св.кор.}	-E _{кор.}	-E _{п.о.}	-E _{р.п.}	$i_{кор.} \cdot 10^2$	K · 10 ³
						A/м ²	г/м ² · ч
0.01н. HCl	Zn0.5Al (1)	1.110	1.118	0.980	0.995	0.154	1.87
	(1) + 0.01 Sc	0.800	0.808	0.700	0.705	0.050	0.61
	(1) + 0.1 Sc	0.895	0.903	0.720	0.728	0.053	0.65
	(1) + 1.0 Sc	1.010	1.018	0.752	0.760	0.060	0.73
	(1) + 0.01 Y	0.840	0.848	0.760	0.765	0.070	0.85
	(1) + 0.1 Y	0.935	0.943	0.837	0.845	0.074	0.90
	(1) + 1.0 Y	1.050	1.058	0.932	0.937	0.081	0.99
	(1) + 0.01 Er	1.015	1.023	0.900	0.907	0.126	1.54
	(1) + 0.1 Er	1.040	1.048	0.940	0.955	0.133	1.62
(1) + 1.0 Er	1.085	1.093	0.970	0.987	0.143	1.74	
0.3% NaCl	Zn0.5Al (2)	1.007	1.016	0.860	0.866	0.050	0.61
	(2) + 0.01 Sc	0.697	0.706	0.622	0.631	0.016	0.19
	(2) + 0.1 Sc	0.792	0.801	0.645	0.650	0.020	0.24
	(2) + 1.0 Sc	0.907	0.916	0.680	0.690	0.027	0.33
	(2) + 0.01 Y	0.737	0.746	0.660	0.670	0.026	0.32
	(2) + 0.1 Y	0.832	0.841	0.740	0.748	0.032	0.38
	(2) + 1.0 Y	0.947	0.956	0.785	0.794	0.041	0.50
	(2) + 0.01 Er	0.912	0.920	0.800	0.810	0.039	0.47
	(2) + 0.1 Er	0.937	0.946	0.830	0.835	0.044	0.54
(2) + 1.0 Er	0.982	0.991	0.850	0.858	0.048	0.58	
0.01н. NaOH	Zn0.5Al (3)	1.048	1.058	0.892	0.900	0.127	1.55
	(3) + 0.01 Sc	0.738	0.750	0.685	0.693	0.042	0.51
	(3) + 0.1 Sc	0.833	0.845	0.700	0.714	0.045	0.55
	(3) + 1.0 Sc	0.948	0.958	0.724	0.731	0.058	0.71
	(3) + 0.01 Y	0.778	0.788	0.690	0.697	0.064	0.78
	(3) + 0.1 Y	0.873	0.883	0.785	0.792	0.077	0.94
	(3) + 1.0 Y	0.988	0.998	0.865	0.870	0.088	1.07
	(3) + 0.01 Er	0.953	0.960	0.807	0.816	0.097	1.18
	(3) + 0.1 Er	0.978	0.988	0.842	0.855	0.108	1.32
(3) + 1.0 Er	1.023	1.033	0.885	0.890	0.123	1.50	

Экспериментальные результаты подтверждают, что от скандия к иттрию и эрбию наблюдается повышение скорости коррозии, что практически согласуется ростом с порядковым номером редкоземельного металла. Среди редкоземельных металлов более эффективные легирующие компоненты сплава Zn0.5Al являются скандий и иттрий (рис. 2). Такая зависимость закономерно отражается при сопоставлении скорости коррозии и снимки микроструктуры для легированного редкоземельными металлами сплава Zn0.5Al (рис. 2, 3).

Изображения микроструктуры сплава Zn0.5Al, легированного по 0.01% скандием, иттрием и эрбием показывают, что добавки редкоземельных металлов, особенно скандий и иттрий оказывают эффективное модифицирующее влияние на литую структуру сплава Zn0.5Al (рис. 3).

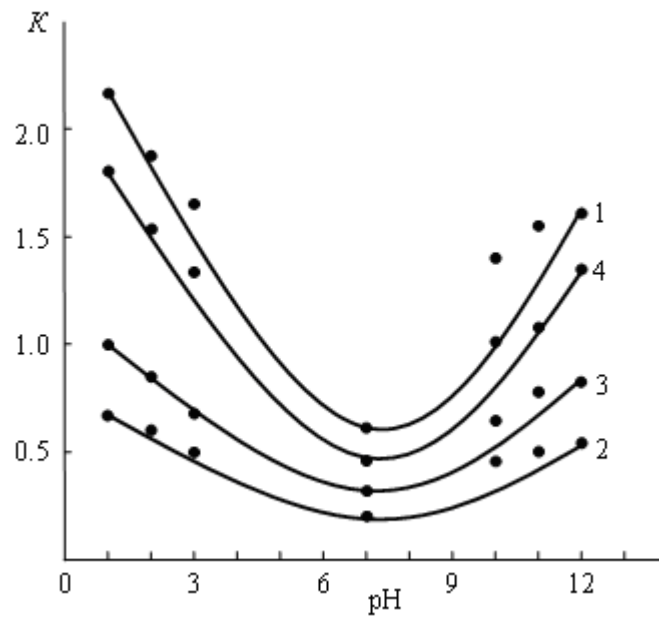


Рисунок 2 – Зависимость скорости коррозии $K \cdot 10^3$ (г/м²·ч) цинкового сплава Zn0.5Al (1), легированного по 0.01 мас.% скандием (2), иттрием (3) и эрбием (4) от pH среды

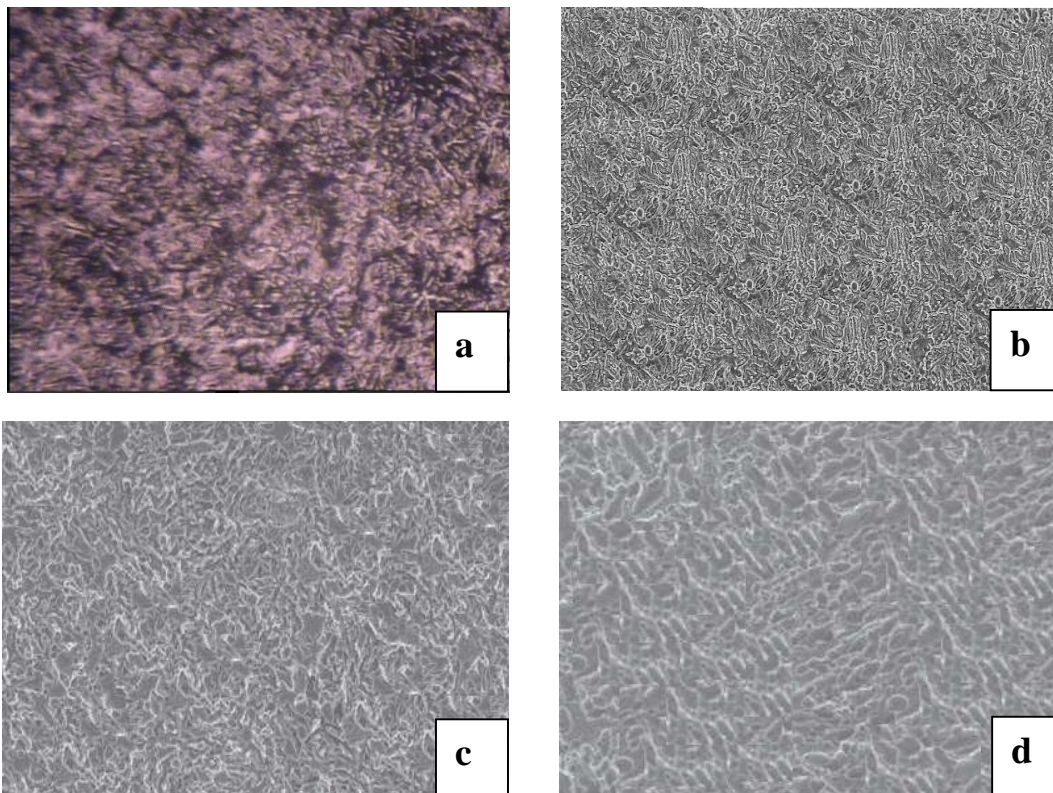


Рисунок 3 – Микроструктуры ($\times 500$) цинкового сплава Zn0.5Al (a), содержащего 0.01 мас.% скандий (b), иттрий (c) и эрбий (d)

В четвертой главе диссертации «Исследование окисления цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного скандием, иттрием и эрбием, в воздушной среде» приведены результаты влияния легирующих добавок скандия, иттрия и эрбия на анодную устойчивость сплава $Zn_{0.5}Al$ к окислению в зависимости от температуры и времени окислительного процесса.

Термогравиметрическим исследованием при изотермических условиях во времени представлено результаты влияния скандия на окисляемость цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$. Продолжительность время выдержки образцов сплава к окислению составляло 1 час. На кинетических кривых показано временной отрезки до 30 мин. Так, как после 30 мин не изменяется скорость окисления. Наблюдается пропорциональное повышение скорости окисления образцов сплава с увеличением концентрации скандия. При этом не повышается окисляемость сплава $Zn_{0.5}Al$. Добавки до 0.1% скандия значительно снижает скорость окисления цинкового сплава. При наблюдении окислительного процесса показано интенсивное протекание окисления в первые 10-12 минут от начало процесса. Дальнейшее протекания окисления изменяет ход кривых и стабилизируется (рис. 4). Такая зависимость кинетических кривых характерна для других образцов сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного иттрием и эрбием.

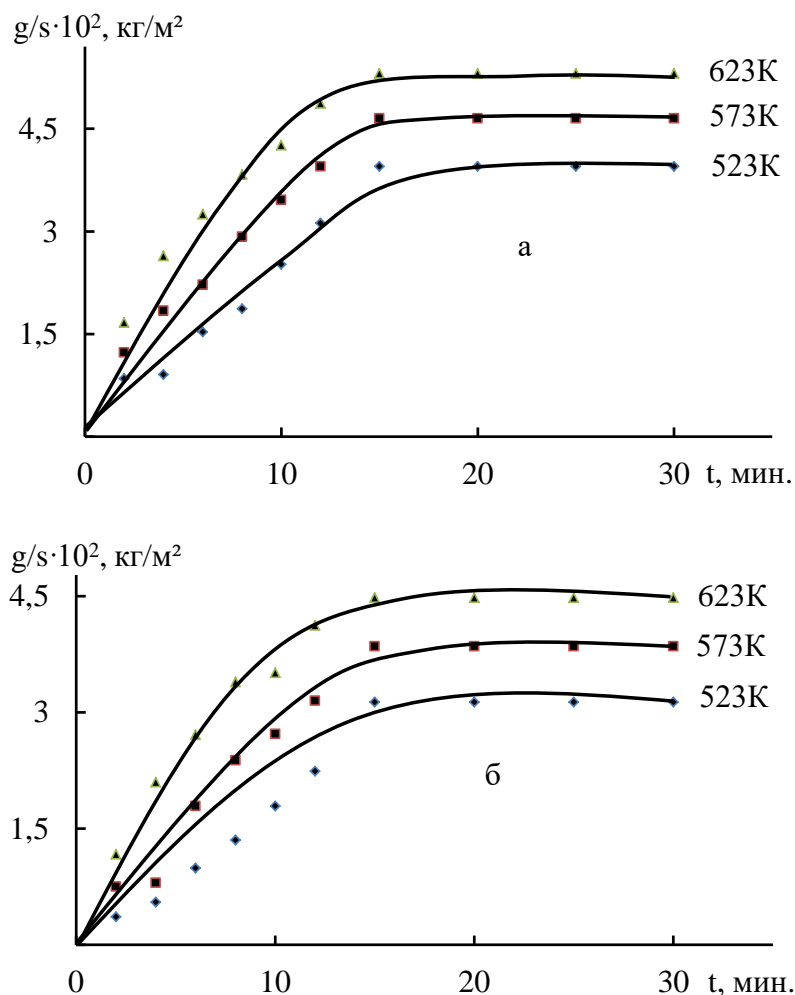


Рисунок 4 – Кинетические кривые окисления цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$ (а), содержащего 0.01 мас.% скандий (б)

При легировании цинкового сплава Zn0.5Al скандием и иттрием показано существенное понижение кинетики окисления. Все добавки эрбия способствуют повышению скорости окисления сплава. Минимальное значение скорости окисления принадлежат сплаву, легированному 0.01% Sc. При повышении температуры скорость окисления всех образцов сплава возрастает. Величина энергии активации окисления, вычисленная для сплава с эрбием (0.01÷1.0%) указывает на уменьшении энергетические затраты. При переходе от сплавов со скандием к сплаву с иттрием и далее к сплавам с эрбием наблюдается несколько увеличение окисляемости сплавов (табл. 3).

Таблица 3 – Кинетические характеристики процесса окисления цинкового сплава Zn0.5Al с редкоземельными металлами

Добавки Sc, Y и Er в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Скорость окисления $K \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергия активации окисления, кДж/моль
–	523	3.68	168.4
	573	3.91	
	623	4.11	
0.01 Sc	523	2.10	188.4
	573	2.39	
	623	2.54	
0.01 Y	523	2.32	184.5
	573	2.61	
	623	2.76	
0.01 Er	523	3.75	164.7
	573	4.06	
	623	4.21	
0.1 Sc	523	2.62	178.2
	573	2.91	
	623	3.00	
0.1 Y	523	2.62	182.5
	573	2.90	
	623	3.08	
0.1 Er	523	3.98	156.0
	573	4.25	
	623	4.46	
1.0 Sc	523	2.88	177.5
	573	3.00	
	623	3.14	
1.0 Y	523	3.16	170.1
	573	3.41	
	623	3.66	
1.0 Er	523	4.29	144.8
	573	4.78	
	623	5.13	

Кривые зависимости $\lg K$ от $1/T$ (2-6) по сравнению с кривой (1) располагаются ниже. Это подтверждает повышение энергии активации цинкового сплава при легировании его со скандием. Кривые свидетельствуют о значительном снижении скорости окисления. Окисляемость цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного скандием (0.01÷0.1%) по сравнению с цинковым сплавом, легированным скандием (0.5, 1%) и сплава $Zn_{0.5}Al$ результативно уменьшается (рис. 5).

При понижении скорости окисления всех образцов легированных скандием цинковых сплавов наблюдается повышение величины энергии активации окисления. Наиболее эффективные концентрации скандия в цинковом сплаве находится в диапазоне 0.01÷0.1%, поскольку существенно понижается скорость окисления (рис. 6).

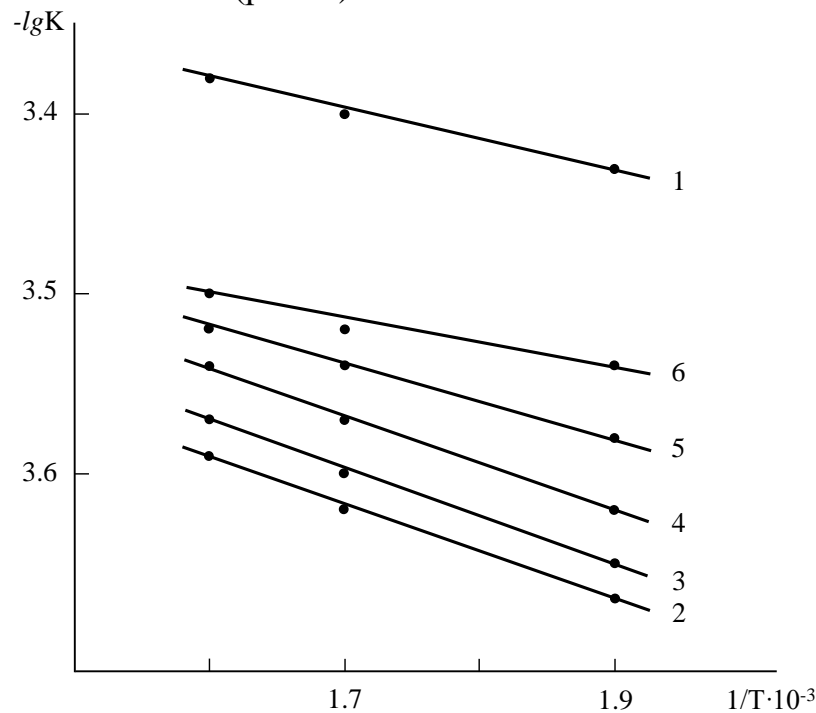


Рисунок 5 – Зависимость $-\lg K$ от $1/T$ для цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$ (1) со скандием, мас. %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5); 1.0 (6)

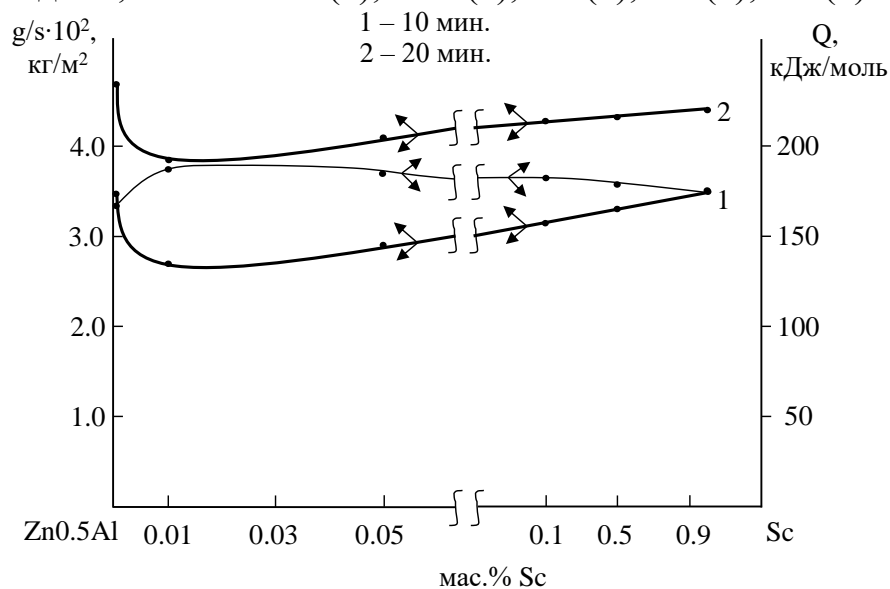


Рисунок 6 – Изохроны окисления (573 К) сплава $Zn_{0.5}Al$ со скандием

Для сплава Zn0.5Al и сплава, содержащего эрбия, по сравнению с легированными скандием и иттрием сплавами характерна повышенная скорость окисления. Легирующие добавки Sc и Y в пределах изученной концентрации способствуют существенному уменьшению окисляемости сплава Zn0.5Al. С последующим повышением концентрации эрбия (0.5, 1.0%) характер окисления становится более сложным, что сказывается на нецелесообразности его применения при указанных количествах. Редкоземельные металлы (Sc, Y, Er) в зависимости от порядкового номера закономерно воздействуют на кинетику окисляемости сплава Zn0.5Al (рис. 7).

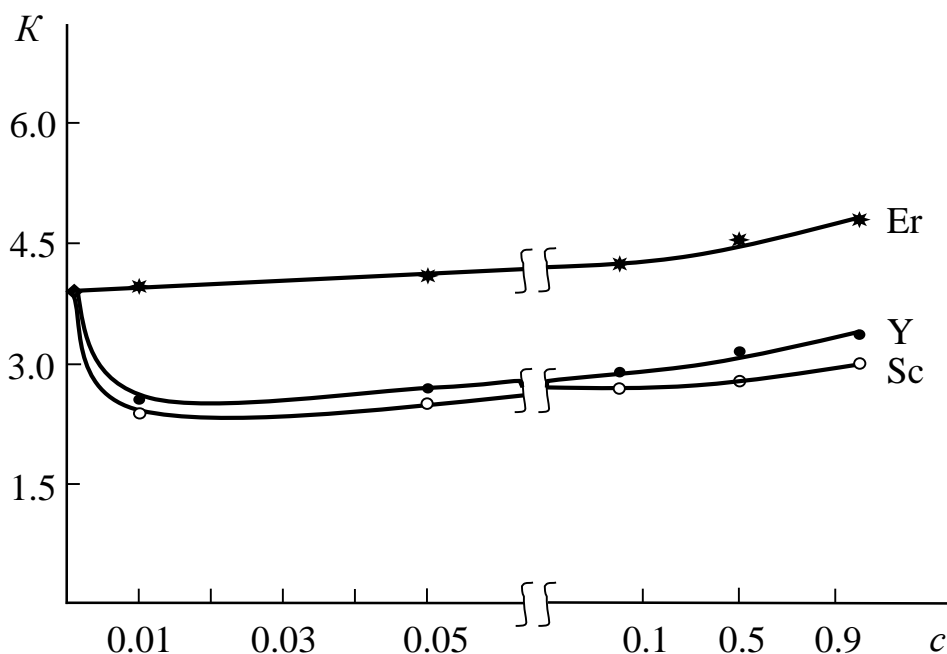


Рисунок 7 – Сравнительный график изменения скорости окисления ($K \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$) цинкового сплава Zn0.5Al от содержания скандия, иттрия и эрбия при температуре 523 K

По мере перехода от сплавов со скандием к сплавам с иттрием и эрбием наблюдается некоторое снижение величины эффективной энергии активации сплавов. Среди легирующих элементов сплава Zn0.5Al наибольшее значение энергии активации окислительного процесса имеют сплавы со скандием и иттрием (табл. 4).

Таблица 4 – Сравнение изменения энергии активация процесса окисления сплава Zn0.5Al от содержания редкоземельных металлов

Температура окисления, К	Легирующий компонент сплава Zn0.5Al	Энергия активации, кДж/моль					
		Содержание добавки, мас.%					
		-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
523 573 623	-	168.4	-	-	-	-	-
	Sc	-	188.4	185.9	182.0	179.8	177.5
	Y	-	184.5	181.0	178.2	173.5	170.1
	Er	-	164.7	159.5	156.0	151.3	144.8

При окислении легированного редкоземельными металлами сплава $Zn_{0.5}Al$ наблюдается образование следующих продуктов, состоящих из ZnO , Al_2O_3 , Sc_2O_3 , Y_2O_3 , Er_2O_3 и смеси упорядоченной шпинели $ZnAl_2O_4$, $Sc_2O_3 \cdot Al_2O_3$, $Y_2O_3 \cdot Al_2O_3$ и $Al_2O_3 \cdot Er_2O_3$ (рис. 8).

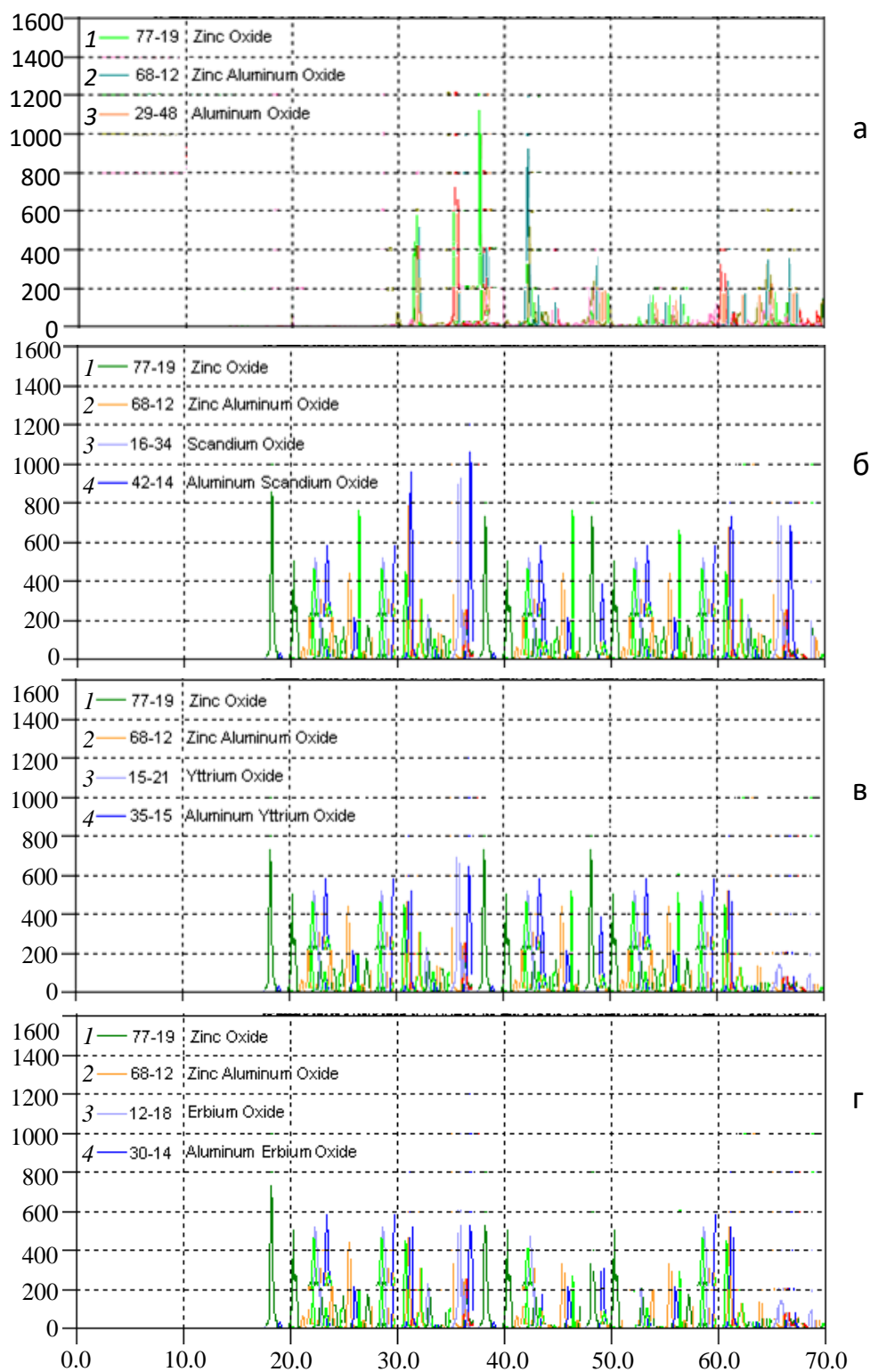


Рисунок 8 – Дифрактограммы продуктов окисления сплава $Zn_{0.5}Al$ (а) с 0.01% скандием (б), иттрием (в) и эрбием (г):
 1 – ZnO ; 2 – $ZnAl_2O_4$; 3 – Al_2O_3 , Sc_2O_3 , Y_2O_3 , Er_2O_3 ;
 4 – $Al_2O_3 \cdot Sc_2O_3$, $Al_2O_3 \cdot Y_2O_3$, $Al_2O_3 \cdot Er_2O_3$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации:

1. Потенциостатическим методом исследовано влияние легирующих добавок скандия, иттрия и эрбия на анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$ в коррозионно-активных средах HCl , $NaCl$ и $NaOH$. Выявлено, что скандий и иттрий более эффективно повышают анодную устойчивость сплава $Zn_{0.5}Al$, чем эрбий [1-А, 8-А, 11-А, 12-А, 14-А, 15-А].

2. При потенциодинамической (2 мВ/с) поляризации показано, что потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного редкоземельными металлами (Sc, Y, Er) сдвигаются в область положительных значений от рН коррозионно-активной среды [1-А, 8-А, 9-А].

3. Установлено, что легирующих добавок скандия, иттрия и эрбия (по 0.01÷0.1 мас.%) в 2-3 раза уменьшают скорость коррозии сплава $Zn_{0.5}Al$. Разработанные составы новых анодных сплавов защищены 2 малыми патентами Республики Таджикистан (№ ТЖ 1079, 1081) [9-А, 10-А].

4. Термогравиметрическим методом установлено, что добавки по 0.01÷0.1% скандия и иттрия при температурах 523, 573 и 623 К значительно понижают окисляемость сплава $Zn_{0.5}Al$, а добавки по 0.01÷1.0% эрбия несколько повышают его склонность к окислению. Показано гиперболической зависимости окисления сплавов [2-А, 3-А, 4-А, 5-А, 6-А, 7-А, 13-А].

5. Выявлено, что с возрастанием порядкового номера вводимого элемента в цинковом сплаве ($Zn_{0.5}Al$) из группы редкоземельных металлов (Sc, Y, Er) наблюдается незначительное снижение энергии активации процесса окисления [3-А, 5-А, 7-А, 13-А].

6. Методом рентгенофазового анализа идентифицирован фазовый состав оксидных плёнок, образующихся на поверхности исследованных сплавов при их окислении. Установлено формирование защитных пленок ZnO , Al_2O_3 , Sc_2O_3 , Y_2O_3 , Er_2O_3 и смеси упорядоченной шпинели $ZnAl_2O_4$, $Sc_2O_3 \cdot Al_2O_3$, $Y_2O_3 \cdot Al_2O_3$, $Al_2O_3 \cdot ZnO$ [2-А, 4-А, 6-А].

7. Методом металлографического анализа показано модифицирующее действие скандия, иттрия и эрбия на микроструктуру цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$. Определено, что скандий и иттрий более эффективно измельчают литую структуру сплава $Zn_{0.5}Al$, чем эрбий [4-А, 9-А, 10-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов:

- результаты выполненного экспериментального исследования рекомендуются для специалистов в области материаловедения и защита от коррозии, гальванотехнике, металлургии, а также материаловедов и производственников, занимающихся проблемами защиты углеродистых стальных изделий и конструкций от коррозионного разрушения;
- разработанные новые сплавы $Zn_{0.5}Al$ со скандием, иттрием и эрбием рекомендуются как анодных защитных покрытий для повышения коррозионной стойкости и увеличения срока службы углеродистых стальных конструкций и изделий.

СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных
ВАК при Президенте Республики Таджикистан:*

[1-А]. **Джобиров У.Р.** Анодное поведение цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, в кислой среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Доклады НАН Таджикистана. – 2021. – Т. 64. – № 7-8. – С. 456-459.

[2-А]. **Джобиров У.Р.** Кинетика окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного иттрием / У.Р. Джобиров // Вестник Таджикского государственного педагогического университета. Серия естественных наук. – 2021. – № 3-4(11-12). – С. 322-326.

[3-А]. **Джобиров У.Р.** Окисление цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, в твёрдом состоянии / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2021. – № 4 (185). – С. 66-71.

[4-А]. Hamroqul F. Effect of Neodymium and Erbium on the Kinetics Oxidation of Zn0.5Al Zinc Alloy, in Solid State / F. Hamroqul, **U.R. Jobirov**, Z.R. Obidov // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. *Web of Science*. – 2022. – V. 15. – No. 5. – P. 561-568.

[5-А]. **Джобиров У.Р.** Кинетика окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного иттрием и празеодимом / У.Р. Джобиров, Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Узбекский химический журнал. *EBSCO*. – 2022. – № 3. – С. 9-14.

[6-А]. Хамрокул Ф. Кинетика окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного неодимом и эрбием / Ф. Хамрокул, **У.Р. Джобиров**, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вестник СПГУТД. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2022. – № 3. – С. 126-130.

[7-А]. **Джобиров У.Р.** Повышение анодной устойчивости цинкового сплава Zn0.5Al к окислению легированием иттрием / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, П.Р. Иброхимов, З.Р. Обидов // UNIVERSUM – технические науки. *Crossref, Ulrichsweb*. – 2022. – № 3-1 (96). – С. 57-59.

[8-А]. **Джобиров У.Р.** Влияние добавок эрбия на анодное поведение цинкового сплава Zn0.5Al, в щелочной среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2022. – № 1 (186). – С. 93-97.

Изобретений:

[9-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1079. Цинк-алюминиевый сплав / **У.Р. Джобиров**; заявитель и патентообладатель: У.Р. Джобиров, Фирузи Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов / № 2001388; заявл. 20.01.20, опубл. 15.04.20, бюл. 159, 2020. – 3 с.

[10-А]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1081. Цинк-алюминиевый сплав / **У.Р. Джобиров**; заявитель и патентообладатель: У.Р. Джобиров, О.Н. Назаров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов / № 2001388; заявл. 20.01.20, опубл. 15.04.20, бюл. 159, 2020. – 3 с.

Статьи, опубликованные в материалах конференций:

[11-А]. **Джобиров, У.Р.** Влияние скандия на анодное поведение сплава $Zn_{0.5}Al$, в кислой среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Подготовка технических кадров в условиях индустриализации страны». Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни. – Душанбе. – 2020. – С. 13-14.

[12-А]. **Джобиров, У.Р.** Анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного эрбием, в щелочной среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Амонова А.В. // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2020. – С. 109-110.

[13-А]. **Джобиров, У.Р.** Окисление сплава $Zn_{0.5}Al$ с иттрием / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Сб. матер. III Межд. науч.-практ. конф. «Развитие химической науки и области их применения». Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2021. – С. 74-78.

[14-А]. **Джобиров, У.Р.** Анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного скандием, в щелочной среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2021. – С. 21-23.

[15-А]. **Джобиров, У.Р.** Влияние иттрия на анодное поведение сплава $Zn_{0.5}Al$, в кислой среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Роль естественных, точных и математических наук в подготовке современных научных кадров, инженеров и преподавателей». Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни. – Душанбе. – 2021. – С. 206-207.

**АКАДЕМИЯИ МИЛЛИИ ИЛМҲОИ ТОҶИКИСТОН
ИНСТИТУТИ КИМИЁИ ба номи В.И. НИКИТИН**

Бо ҳуқуқи дастнавис

УДК 669.76+542.943

ҚОБИРОВ УМЕД РУСТАМОВИЧ

**РАФТОРИ АНОДӢ ВА ОКСИДШАВИИ
ХӢЛАИ РУҲ $Zn_{0.5}Al$, КИ БО СКАНДИЙ, ИТТРИЙ
ВА ЭРБИЙ ҚАВҲАРОНИДАШУДА**

АВТОРЕФЕРАТИ

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии
доктор философия (PhD) – доктор аз рӯйи ихтисоси
6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав**

Душанбе – 2023

Диссертатсия дар озмоишгоҳи маводҳои ба коррозия устувори Институти кимиёи ба номи В.И. Никитини Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон иҷро карда шудааст.

Рохбари илмӣ:

Обидов Зиёдулло Раҳматович,
доктори илмҳои химия, дотсент, профессори
кафедраи технологияи истеҳсолоти химиявии
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон
ба номи академик М.С. Осимӣ

Муқарризони расмӣ:

Ғафоров Абдулазиз Абдулофизович,
доктори илмҳои техникӣ, профессор,
муовини ректор оид ба илм ва тадқиқи
Донишгоҳи технологияи Тоҷикистон

Назарзода Хайрулло Холназар,
доктори илмҳои техникӣ, дотсент, ректори
Донишгоҳи давлатии тичорати Тоҷикистон

Муассисаи пешбар:

Донишкадаи энергетикӣи Тоҷикистон

Ҳимояи диссертатсия 28 декабри соли 2023, соати 10⁰⁰ дар ҷаласаи шурои диссертатсионии 6D.KOA-028 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ баргузор мегардад. Суроға: 734042, ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Рачабовҳо, 10. E-mail: adlia69@mail.ru

Бо муҳтавои диссертатсия ва автореферат тавассути китобхона ва сомонаи Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ www.ttu.tj шинос шудан мумкин аст.

Автореферат « ___ » _____ соли 2023 тавзеъ шудааст.

Котиби илмии
шурои диссертатсионӣ,
н.и.т., дотсент

Бобоева А.Ҳ.

МУҚАДДИМА

Мубрамии мавзӯи таҳқиқот. Яке аз якчанд вазифаҳои калидӣ, ки аз қарори истеҳсолот бармеояд, бештар ба усулҳои самараноки истифодабарии масолеҳи ҳосилмешуда аз пӯлодҳои карбондор нигаронида шудааст, ки ин асоснок ба тариқи максималӣ кутоҳкунии талафоти масолеҳ аз вайроншавӣ дар натиҷаи таъсири коррозия мебошад. Ҳангоми мунтазам истифодабарии маснуоти гуногуни пӯлодии карбондор дар соҳаи мошинсозӣ муҳофизати мустаҳкамӣ зиддикоррозиониро тақозо менамояд. Сатҳи рушди мошинсозӣ дар мақсад ҳосилнокии меҳнат, сифати маҳсулоти соҳаҳои гуногуни саноатӣ ва суръати рушди пешрафти техникаро муайян менамояд.

Металлургияи сиёҳ, ки пӯлод ва чӯянро истеҳсол менамояд, то имрӯз ҳамчун заминаи асосии масолеҳи мошинсозӣ хизмат мерасонад. Ин масолеҳҳо бисёр сифатҳои мусбӣ хуб доранд ва дар навбати аввал мустаҳкамӣи баланди конструксионии ҷузъҳои мошин ва маснуотро таъмин менамоянд. Вале ин масолеҳҳои маъмулӣ норасоӣҳои зеринро мисли зичии калон ва камустувории коррозиониро доранд. Талафоти истеҳсоли солонани маснуот аз пӯлод ва чӯян аз таъсири коррозия 20%-ро ташкил медиҳад. Аз рӯйи маълумоти таҳқиқотҳои илмӣ, пас аз гузашти 20-40 сол ҳама мамлакатҳои тараққиёфта ба истифодабарии ҳаҷмноки хӯлаҳои металли таъиноти махсус мегузаранд.

Мошинсозӣ – комплекси соҳаҳои саноати вазнин, ки олати меҳнатро сохта, истифодабарии масолеҳ дар он инъикос меёбад. Мошинсозӣ дар қори сохтани заминаи маводшиносӣ-техникии ҷамъияти умумиҷаҳонӣ нақши бузург дорад. Рӯйпӯшҳо аз руҳ дар баландбардории сифат, мустаҳкамӣ ва дарозумрии маснуоти пӯлодии карбондори саноати мошинсозӣ нақши зиёд доранд, ки ин маснуотҳоро аз коррозия муҳофизат менамоянд.

Омӯзиши амиқи тасаввуроти физикӣ-химиявӣ ва коррозионӣ оиди металҳо ва хӯлаҳо имконоти васеъро дар қоркарди маводи металли нав барои техникаи муосир, ки ҳосиятҳои муҳимро доранд, боз менамояд. Талабот ба маводи металлӣ хеле баланд мешавад, ки истифодабарии равиши металшиносии маъмулан қуҳна ба омӯзиши онҳо ва сохтани маводи нав номумкин мешавад. Бинобар ин, дар омӯзиши металҳо, хӯлаҳо ва пайвастагиҳои металлӣ беш аз ҳама назарияи физикӣ-химиявӣ ва механикӣ, методҳои таҳқиқоти коррозионӣ-электрохимиявӣ ва физикӣ-химиявӣ истифода мешаванд. Мубрамии мавзӯи таҳқиқот мақсаднок зарурати баргузории таҳқиқоти комплекси хӯлаҳои руҳро дар муҳитҳои гуногуни коррозионӣ-фаъол бо мақсади баландбардории устувории анодӣ ҷавҳаронии онҳоро бо металҳои нодирзаминӣ талаб менамод.

Дарҷаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ. Айни замон адабиёти тоҷик ва хориҷӣ бо якчанд монографияҳо ва мақолаҳои арзишманд, ки ба гуруҳҳои алоҳидаи хӯлаҳои металли ҷавҳаронидашуда бахшида шудаанд, ғаний мебошанд. Асосҳои назарияи электронии металҳо баён шудааст; модели электронҳои озод ва назарияи мавқеӣ баррасӣ шудааст; таҳлили ҳосиятҳои сохторҳои кристалӣ ва электронии маҳлулҳои саҳт ва намудҳои асосии фазаҳои металли фосилавӣ

оварда шудааст. Муҳимияти истифодабарии лигатураҳо асоснок карда шуда, моҳият ва зарурати чавҳаронӣ, дигаргункунӣ ва коркарди намудҳои гуногуни хӯлаҳо нишон дода шуда, ҳосиятҳои физикӣ-химиявӣ, коррозсионӣ-электрохимиявӣ, механикӣ ва технологии хӯлаҳои ба стандарти давлатӣ воридшуда, саноатӣ, эвтектикӣ, эвтектоидӣ ё фосилавии табиноти гуногун омӯхта шудааст, ки якҷанд хусусиятҳои махсусро дорад, ки дар навбати худ объекти таҳассусии тадқиқотчиён ва коргарони алоҳида мебошанд.

Маълумот оиди ғайр аз таъсироти газҳои фаъол мавҷуд аст, ки ҳамчун мисол оиди хӯлаҳое, ки дар муҳитҳои саноатӣ истифода бурда мешаванд низ хизмат мерасонанд, махсусан маҳсули сӯзиши сӯзишвориҳои табиӣ таъсироти муайянро таҷриба мекунанд, ки ба ҳосилшавии такшони намакин, махсусан сулфатҳо дар сатҳи металҳо ё оксидҳо оварда мерасонанд. Умқи таъсироти коррозияи гармӣ метавонад шикастovar буда, ба қатори нишондиҳандаҳо, таркиби такшон, атмосфера, ҳарорат ва термосиклӣ, эрозия, таркиби хӯла ва микросохтори он ҳиснок бошад. Агар танҳо дар сатҳи хӯла такшон ҳосил шавад, дараҷаи таъсироти он ба устувории коррозсионии хӯла ҳатман аз он, ки гудохта мешавад ё не вобаста аст, зеро ин такшон онқадар дар сатҳи хӯла мустаҳкам часпида, ки аз рӯйи ченак ин сатҳро низ тар мекунад. Маснуоти ба вайроншавии сатҳӣ ҳангоми гармшавии такрорӣ дучоргардидаро метавон бо танзимкунии таркиби муҳит бо мақсади ба самти минималӣ ё бартарафсозии вайроншавии сатҳ, ё ин, ки бо истифодаи усули рӯйпӯшкунӣ аз рӯйпӯшҳои хӯлавай барои муҳофизати маснуот аз таъсироти муҳит муҳофизат намуд.

Рушди хоҷагии халқ дар мадди аввал бо истеҳсоли металҳо ва хӯлаҳо муайян карда мешавад. Дар техникаи муосир маводҳои дорои мустаҳкамии баланд, устувории коррозсионӣ ва ғайраро истифода мебаранд. Дар амалияи истеҳсолот исбот карда шудааст, ки рӯйпӯшкунии маснуот бо руҳ бо истифодаи усули ғуттаварӣ ҷои дуҷумро аз рӯйи ҳаҷми истеҳсолот ишғол менамояд. Дар айни замон рӯйпӯшҳои Zn-Al –ро васеъ истифодабарӣ мекунанд. Дар таҳқиқоти мазкур доир ба коркарди гуруҳи нави рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ аз хӯлаи руҳ Zn0.5Al, ки бо скандий, иттрий ва эрбий чавҳаронидашуда, диққат дода шудааст, ки барои муҳофизати анодии маснуот ва конструксияҳои пӯлодии карбондор аз коррозияи тавсия мешаванд.

Робитаҳои таҳқиқот бо барномаҳои илмӣ. Рисолаи диссертатсионӣ қобилияти ҳалли вазифаҳои ҳадафи чоруми стратегияи миллиро оиди рушди саноати металлургӣ ва мошинсозӣ дар асоси ашёи хоми маҳаллӣ зоҳир менамояд. Натиҷаҳои рисолаи диссертатсионӣ ба ҳалли вазифаҳои алоҳидаи «Стратегияи миллии рушди Тоҷикистон дар давраи то соли 2030» ва марҳилаҳои оғози он, ки дар «Барномаи миёнамуҳлати рушди Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2016-2020» ворид карда шудаанд, нигаронида шудааст.

ТАВСИФИ УМУМИИ ТАҲҚИҚОТ

Мақсади таҳқиқот дар коркарди таркиби оптималии хӯлаҳои сечанда дар асоси хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$, ки бо скандий, иттрий ва эрбий чавҳаронидашуда, бо омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии онҳо дар муҳитҳои гуногуни коррозийн-фаъол хотима меёбад.

Вазифаҳои таҳқиқот:

- таҳқиқоти имконоти баландбардории устувории анодии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ зимни чавҳаронии он бо скандий, иттрий ва эрбий дар муҳитҳои гуногуни коррозийн-фаъоли $NaOH$, HCl ва $NaCl$ бо қиматҳои гуногуни pH;
- омӯзиши микросохторҳои хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ҳангоми чавҳаронии он бо металлҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Er);
- таҳқиқоти имконоти баландбардории устувории анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ зимни чавҳаронии он бо скандий, иттрий ва эрбий ба оксидшавӣ дар муҳити ҳаво, дар ҳолати саҳт;
- муайянкунии муҳимияти таркиби фазавии маҳсули оксидшавии хӯлаҳои ҳосилнамуда ва аниққунии нақши онҳо дар механизми ҳалшавии анодии баландҳароратӣ;
- аниққунии муҳимияти оптималикунонии таркиби химиявии намунаҳои хӯлаҳо дар натиҷаи гузаронидани таҳқиқоти ҳосиятҳои гуногуни онҳо ва муайянкунии имконоти истифодабарии онҳо ҳамчун рӯйпӯшҳои анодӣ барои муҳофизати зиддикоррозийнӣ маснуоти гуногуни пӯлодии карбондор.

Объекти таҳқиқот ин руҳи тамғаи TX (гранулшакл), алюминийи тамғаи A7 ва лигатураҳои он бо скандий ($AlSc_2$), иттрий (AlY_7) ва эрбий ($AlEr_{10}$) (%-и вазнӣ) мебошанд.

Мавзӯи таҳқиқот ин омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$, ки бо скандий, иттрий ва эрбий чавҳаронидашуда, дар муҳитҳои гуногуни коррозийн-фаъол мебошад.

Методҳои таҳқиқот. Таҳқиқоти таркиб, сохтор ва ҳосиятҳои хӯлаҳо бо методҳои микрорентгеноспектралӣ, потенциостатикӣ, металлографӣ, рентгенофазавӣ ва термогравиметрӣ гузаронида шудааст.

Марҳилаҳои таҳқиқот. Таҳқиқоти диссертатсионӣ дар давраи солҳои 2020-2023 аз рӯйи марҳилаҳои зерин анҷом дода шудааст: ҳосилкунии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ бо иловаҳои чавҳаронии скандий, иттрий ва эрбий; таҳқиқоти устувории анодии хӯлаи руҳ зимни чавҳаронии он бо скандий, иттрий ва эрбий дар муҳитҳои гуногуни коррозийн-фаъол, таҳқиқоти таъсири иловаҳои чавҳаронӣ (Sc, Y, Er) ба устувории анодии хӯлаи руҳ ба оксидшавӣ ҳангоми ҳароратҳои баланд, дар муҳити ҳаво; таҳқиқоти микросохторҳо ва маҳсули оксидшавии хӯлаҳои чавҳаронидашудаи сечанда.

Пойгоҳи иттилоотии таҳқиқот. Пойгоҳи иттилоотии диссертатсия ин корҳои илмӣ – патентҳо, монографияҳо, диссертатсияҳо, маҷаллаҳои илмӣ, маводи симпозиумҳо, конференсияҳо ва сомонии интернетӣ мебошад, ки ба хӯлаҳои руҳ ва руҳ-алюминий бахшида шудааст (умқи ҷустуҷӯ беш аз 30 сол).

Таҳқиқоти рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$, ки бо скандий, иттрий ва эрбий чавҳаронидашуда, дар муҳитҳои гуногуни коррозийн-фаъол бо истифодабарии микроскопи тасвирбардори электронии

SEM (AIS2100); потенциостати импулсии ПИ-50.1.1; микроскопи ERGOLUX АМС; тарозуҳои термогравиметрӣ ва асбоби ДРОН-2.0 гузаронида шудааст.

Навгониҳои илмӣ таҳқиқот:

- таҳқиқоти санҷишии комплекси устувори анодии хӯлаҳои системаҳои Zn0.5Al-Sc(Y,Er) ба таъсири гуногуншакли коррозия дар муҳитҳои таҷрибавии коррозия-фаъл гузаронида шудааст;

- қонунияти тағйирёбии микросохтор ва потенциалҳои коррозия-электрохимиявӣ вобаста аз таркиби намунаҳои хӯла аниқ карда шудааст;

- таъсири амиқи концентратсияи гидроксид ва хлорид-ионҳо, ки дар маҳлулҳои NaOH, HCl ва NaCl мавҷуданд, нишон дода шудааст;

- моҳияти таъсири скандий, иттрий ва эрбий ба устувори анодии хӯлаи руҳ Zn0.5Al ба оксидшавии баландҳароратӣ аниқ карда шудааст;

- қобилияти элементҳои ҷавҳаронии (Sc, Y, Er) хӯлаи Zn0.5Al дар бавҷудории таркиби фазагии маҳсули оксидшавии хӯлаҳои сечанда муайян карда шудааст;

- имконоти баландбардории устувори анодии хӯлаи Zn0.5Al то 2-3 маротиба ҳангоми ҷавҳаронии он бо металлҳои нодирзаминӣ дар миқдорҳои 0.01÷0.1% Sc, Y ва Er, мутобиқан ҳангоми pH=3÷10 нишон дода шудааст.

Асосҳои назариявӣ таҳқиқот дар аниқкунии бештар муҳими махсуси ҷанбаҳои исботии аз рӯйи қонуният самаранок тағйирёбии сохторҳо, хусусиятҳои анодӣ, устуворӣ ба оксидшавӣ ва суръати коррозияи хӯлаҳои системаҳои Zn0.5Al-Sc(Y,Er) хотима меёбад.

Аҳамияти амалии таҳқиқот дар коркарди таркибҳои оптималии рӯйпӯшҳои хӯлагии анодии муҳофизатии руҳ бо иштироки алюминий, скандий, иттрий ва эрбий барои муҳофизати зиддикоррозионии маснуот, иншоот ва конструксияҳои пӯлодии карбондор хотима меёбад. Таркибҳои коркардшудаи хӯлаҳои анодии руҳ бо 2 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (ТJ №1079, 1081) ҳифз карда шудааст.

Дар корхонаи ҚДММ “Ноқили ТАЛКО” ш. Душанбе аз рӯйи васлкунӣ ва қабати маҳсули ноқилӣ-ҷараёнгузарон хӯлаҳои нави коркардшудаи руҳ-алюминий ба сифати рӯйпӯшҳои зиддикоррозионии пӯлод (аз 10 январ то 10 март соли 2022) санҷида шудааст. Натиҷа 9,4 долларро (12 сомонию 70 дирам) дар 1 м² сатҳи ҳифзшаванда, аз ҳисоби то 2-3 маротиба камшавии суръати коррозияи новаҳои ноқилии пӯлодӣ, ташкил дод (санади тадбиқ мавҷуд аст).

Нуктаҳои ба ҷимоя пешниҳодшаванда:

- натиҷаҳои микротаҳлили рентгеноспектралӣ ва микросохторҳои хӯлаи руҳ Zn0.5Al, ки бо скандий, иттрий ва эрбий ҷавҳаронидашуда;

- натиҷаҳои таҳқиқоти потенциостатикӣ рафтори анодии хӯлаи бо скандий, иттрий ва эрбий ҷавҳаронидашудаи Zn0.5Al, дар муҳитҳои коррозия-фаъоли электролитҳои кислотаи хлорид, гидроксид ва хлориди натрий бо концентратсияҳои гуногун;

- натиҷаҳои таҳқиқоти термогравиметрии устувори анодии хӯлаи бо скандий, иттрий ва эрбий ҷавҳаронидашудаи Zn0.5Al ба оксидшавии баландҳароратӣ;

- натиҷаҳои таҳлили рентгенофазагии маҳсули оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al, ки бо скандий, иттрий ва эрбий ҷавҳаронидашуда.

Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳо. Таҳқиқоти санҷишии комплекси гузаронидашуда оиди омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо скандий, иттрий ва эрбий ҷавҳаронидашуда, ва аниққунии имконоти баландбардории устувории анодии онҳо дар муҳитҳои гуногуни коррозсионӣ-фаъол илмӣ-амалӣ асоснок карда шудааст ва эътимоднок аст. Натиҷаҳои илмӣ-амалии рисолаи диссертатсионӣ дар маҷаллаҳои тақризи ва маводи конфронсҳо таҳлил ва нашр карда шудааст.

Мутобикати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ. Рисолаи диссертатсионӣ ба шарҳи ихтисоси 6D071000 – баҳши илм ва техника мутобикат мекунад, ки коркарди маводи навро бо хосиятҳои комплекси додашуда ва аниққунии қонуниятҳои бунёдии таъсири таркиб, сохторҳо, технология, инчунин истифодабарӣ ва дигар омилҳои ба хосиятҳои мавод таъсиркунандаро дар бар мегирад. Аз ҷумла, диссертатсия ба шиносномаи илмӣ ихтисоси 6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав аз рӯйи бандҳои 1–4, 9 мутобикат мекунад. Хӯлаҳои коркардшуда дар асоси $Zn_{0.5}Al$ бо иловаҳои элементҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Er) дар натиҷаи омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии онҳо дар шароитҳои таҳқиқотҳои санҷишӣ мақсаднок хосиятҳои муҳими истифодабариро зоҳир менамояд, ки барои рушди босуръати соҳаҳои муосири саноатӣ зарур аст. Хӯлаҳои нави коркардшуда дар мисоли рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатии пӯлоди карбондор ба истифодабарии таҷрибавӣ-саноатӣ мавриди санҷиш қарор дода шудааст.

Саҳми шахсии докталаб аз тасвияти мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот, ҷамъоварӣ ва таҳлили маълумоти адабиёт аз рӯйи мавзӯи диссертатсия, гузаронидани таҷрибаҳо ва коркарди онҳо, тасвияти хулосаҳои диссертатсия ва интишороти натиҷаҳои таҳқиқот иборат аст.

Тасвиби натиҷаҳои диссертатсия. Натиҷаҳои асосии рисолаи диссертатсионӣ дар конфронсҳои зерин маъруза шудааст: конфронси ҷумҳуриявии илмӣ-назариявии «Омодасозии кадрҳои техникӣ дар шароитҳои саноатикунони мамлакат». Донишгоҳи давлатии омӯзгории Тоҷикистон ба номи С. Айни (Душанбе, солҳои 2020-2021); конфронси ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Суолоти мубрами илмҳои табиӣ ва технологияҳо». Донишгоҳи славянии Руссияву Тоҷикистон (Душанбе, соли 2020); III конфронси байналмилалӣ илмӣ-амалии «Рушди илмҳои химия ва соҳаҳои истифодабарии онҳо». Донишгоҳи миллии Тоҷикистон (Душанбе, соли 2021); конфронси ҷумҳуриявии илмӣ-амалии «Масъалаҳои муосири илмҳои табиӣ». Донишгоҳи славянии Руссияву Тоҷикистон (Душанбе, соли 2021).

Интишорот аз рӯйи мавзӯи диссертатсия. Аз рӯйи мавзӯи диссертатсия 8 мақола дар маҷаллаҳои тақризи тавсиянамудаи КОА ва 5 мақола дар маводи конфронсҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашр карда шуда, инчунин 2 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дарёфт карда шудааст.

Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия. Рисолаи диссертатсионӣ аз муқаддима, тавсифи умумии таҳқиқот, чор боб, хулоса, рӯйхати адабиёт ва замима иборат аст. Диссертатсия дар 130 саҳифаи ҳуруфчинии компютерӣ баён карда шудааст, ки дорои 37 ҷадвал, 43 расмҳо ва 122 номгӯи библиографӣ аст.

МУҲТАВОИ АСОСИИ ДИССЕРТАТСИЯ

Дар муқаддима мубрамият, тасвияти мақсад ва вазифаҳои таҳқиқоти илмӣ, аҳамияти таҳқиқоти гузаронидамешуда асоснок карда шуда, аҳамияти илмӣ ва амалӣ дар соҳаи маводшиносии ва технологияи маводи нав инъикос ёфта, нағзҳои илмӣ ва имконоти истифодабарии натиҷаҳо дар истеҳсолоти навишта шуда, нуқтаҳои ба ҳимоя пешниҳодшаванда номбар карда шудааст.

Боби якуми диссертатсия **«Моҳияти рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаҳои руҳ ва рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ дар асоси онҳо»** дорои шарҳи адабиёт аст, ки дар он таҳлили муфассал оиди сохторҳосилкунии хӯлаҳо дар системаҳои Zn-Al, Al-Zn-Sc(Y) ва хусусиятҳои фазаҳои оксидӣ анҷом дода шудааст. Моҳияти рафтори анодӣ ва кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои руҳ дар ҳолатҳои сахт ва моеъ, дар муҳитҳои гуногуни коррозсионӣ-фаёл муҳокима шудааст. Соҳаҳои истифодабарии хӯлаҳои руҳ ба сифати рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ баррасӣ шудааст. Ҳамин тавр аз шарҳи адабиёт бармеояд, ки дар асоси маводи ҷамъоваришуда гузаронидани таҳқиқоти коррозсионӣ хеле натиҷаовар имкон медиҳад, ки қарори вазифаҳои илмӣ-техникӣ ва амалӣ бомуваффақият қабул карда шавад. Барои он, ки ҳангоми истифодабарии маводи конструксионӣ ё ба коррозия устуворро муҳофизат намуд, зарур аст, ки сабаби коррозияшавӣ пешакӣ аниқ карда шавад. Интиҳоби ингуна мавод бо рӯйпӯшҳои хуби муҳофизатӣ ҳангоми амалан истифодабарӣ омили муҳим мебошад. Ҳангоми ин зарур аст, ки таъсири омилҳои таъсиркунанда ба суръати коррозия дар муҳитҳои гуногуни коррозсионӣ-фаёл омӯхта шавад. Бо дар назардошти баёншуда, таҳлили шарҳи адабиёт иҷрокунии қимати санҷиши комплексӣ оиди омӯзиши хосиятҳои гуногуни хӯлаҳои руҳ ва ҷавҳаронии онҳоро бо скандий, иттрий ва эрбий дуруст тасдиқ менамояд.

Дар боби дуюми диссертатсия **«Объектҳо, асбобҳо ва лавозимот, методҳои таҳқиқоти эксперименталӣ»** таҳқиқоти мақсаднок оиди ҳосилкунии хӯлаҳои системаҳои Zn_{0.5}Al-Sc, Zn_{0.5}Al-Y ва Zn_{0.5}Al-Er дар натиҷаи синтез ва таҳлили таркиби химиявии хӯлаҳо гузаронида шудааст. Қонуниятҳои гузариши равандҳои анодӣ ва кинетикӣ дар вобастагӣ аз шароитҳо ва нишондиҳандаҳои хосиятҳои физикӣ-химиявии ҳиссаи таркибии хӯлаҳо аниқ карда шудааст. Таркиб, сохт, сохтор ва хосияти хӯлаҳо бо методҳои микрорентгеноспектралӣ, потенциостатикӣ, металлографикӣ, рентгенофазавӣ ва термогравиметрӣ муайян карда шудааст.

Дар боби сеюми диссертатсия **«Таҳқиқоти рафтори анодии хӯлаи руҳ Zn_{0.5}Al, ки бо скандий, иттрий ва эрбий ҷавҳаронидашуда, дар муҳитҳои гуногуни коррозсионӣ-фаёл»** натиҷаҳои таъсири иловаҳои ҷавҳаронии скандий, иттрий ва эрбий ба рафтори анодии хӯлаи Zn_{0.5}Al дар маҳлулҳои коррозсионӣ-фаёли HCl, NaCl ва NaOH оварда шудааст. Барои таҳқиқоти раванди рафтори анодии хӯлаи Zn_{0.5}Al бо микдорҳои гуногуни металлҳои нодирзаминӣ речаи потенциодинамикии тобиши потенциалро бо суръати 2 мВ/с истифода намудем.

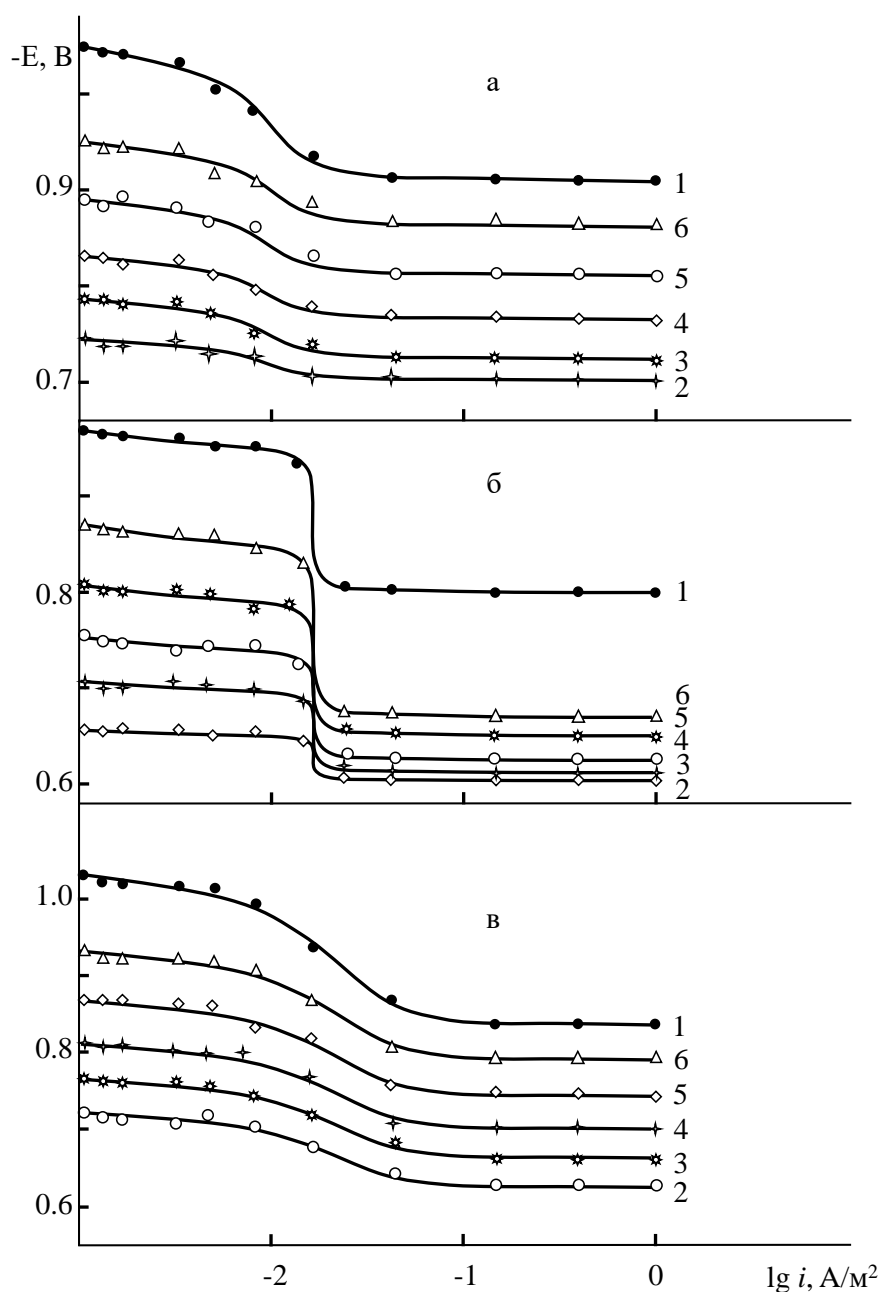
Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки ҳангоми вақти нигоҳдории намунаҳои хӯла дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаёл ва ҳангоми ҷавҳаронии хӯлаи Zn_{0.5}Al бо концентратсияҳои гуногуни скандий майлдиҳии потенциали

коррозияи озод ба самти қиматҳои мусбӣ мушоҳида мегардад. Доимияти қиматҳои аниққардашудаи потенциалҳо дар фосилаи вақти 30-60 дақиқа, мутобиқан дар муҳитҳои кислотагӣ (35-60 дақиқа), нейтралӣ (30-60 дақиқа) ва ишқорӣ (40-60 дақиқа) гуногун ҷойгир шудаанд (ҷадвали 1).

Ҷадвали 1 – Таъсири иловаҳои ҷавҳаронии скандий ба тағйирёбии потенциали коррозияи озоди ($-E_{\text{кор.оз.}}$, В) хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ аз вақти нигоҳдорӣ дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъол

Муҳит	Иловаи Sc дар хӯла, %-и вазн	Вақти нигоҳдории хӯла, дақиқа							
		1/3	2/3	1	5	15	30-40	50	60
0.1н. HCl	-	1.211	1.210	1.209	1.201	1.191	1.190	1.190	1.190
	0.01	0.900	0.899	0.898	0.890	0.885	0.880	0.880	0.880
	0.05	0.959	0.958	0.957	0.942	0.930	0.925	0.925	0.925
	0.1	0.989	0.989	0.987	0.982	0.979	0.975	0.975	0.975
	0.5	1.062	1.061	1.061	1.052	1.043	1.030	1.030	1.030
	1.0	1.115	1.114	1.114	1.109	1.100	1.090	1.090	1.090
3% NaCl	-	1.119	1.118	1.116	1.108	1.092	1.070	1.070	1.070
	0.01	0.791	0.790	0.790	0.782	0.774	0.760	0.760	0.760
	0.05	0.836	0.834	0.833	0.824	0.815	0.805	0.805	0.805
	0.1	0.880	0.880	0.878	0.865	0.860	0.855	0.855	0.855
	0.5	0.934	0.932	0.932	0.927	0.916	0.910	0.910	0.910
	1.0	0.996	0.995	0.995	0.988	0.981	0.970	0.970	0.970
0.1н. NaOH	-	1.216	1.215	1.213	1.213	1.211	1.210	1.210	1.210
	0.01	0.945	0.944	0.942	0.931	0.914	0.900	0.900	0.900
	0.05	0.983	0.983	0.982	0.969	0.952	0.945	0.945	0.945
	0.1	1.023	1.022	1.022	1.018	1.001	0.995	0.995	0.995
	0.5	1.084	1.083	1.081	1.071	1.060	1.050	1.050	1.050
	1.0	1.143	1.142	1.142	1.130	1.122	1.110	1.110	1.110

Ҳама намунаҳои хӯла дар дақиқаҳои аввали раванди коррозсионӣ дар муҳитҳои коррозсионии мазкур фаъолона ҳал мешаванд. Намунаҳои хӯлаҳо қобилияти ҳалшавандагии фаъолро дар муҳитҳои коррозсионӣ, махсусан дар муҳитҳои кислотагӣ ва ишқорӣ ба таври максималӣ зоҳир менамоянд. Ин ҳодиса аз таъсири фаъоли хлорид ва гидроксид-ионҳо руҳ медиҳад, ки дар таркиби маҳлули таҳқиқотмешуда мавҷуданд. Майлдиҳии потенциалҳои коррозсионӣ-электрохимиявӣ ҳангоми поляризацияи потенциодинамикӣ ба самти мусбӣ рафти қатъҳои анодиро тағйир медиҳанд. Хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$, ки 0.01% скандий дорад, қимати минималии ҷараёни коррозияро дорад. Ҷараёни бухронии ҳалшавии анодӣ ба хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ хос аст. Қатъҳои анодии нишондодашудаи (2-6), ки ба хӯлаҳо бо скандий хос аст, дар поёни қатъати (1), ки ба хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ тааллуқ дорад, ҷойгир шудаанд. Ба ин ҳолат таъсири самараноки иловаҳои ҷавҳаронии скандий, ки устувории анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ –ро ба коррозияи электрохимиявӣ баланд мекунад, шаҳодат медиҳад (расми 1).



Расми 1 – Қаҷхатҳои поляризатсионии анодии (суръати тобиши потенциал 2 мВ/с) хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ (1), ки бо скандий ҷавхаронидашуда, %-и вазн: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5); 1.0 (6), дар муҳитҳои коррозсионии 0.001н. HCl (а), 0.03% NaCl (б) ва 0.001н. NaOH (в)

Ҳангоми камшавии консентратсияи иловаҳои ҷавхаронии метали нодирзаминӣ (Sc, Y, Er) дар хӯлаи аввалияи руҳ ($Zn_{0.5}Al$) ва гидроксид- ва хлорид-ионҳо дар муҳити маҳлулҳои NaOH, NaCl ва HCl, хусусиятҳои анодӣ ба самти потенциалҳои қиматҳои мусбидошта майл мекунанд. Бештарин майлдиҳии потенциал ба самти мусбӣ дар маҳлулҳои пастконцентриронидашуда дида мешавад. Ҳангоми муқоисакунии компоненти ба хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ иловамешуда камшавии хусусиятҳо ё тағйирёбии хосиятҳои анодии хӯлаҳо ро метавон аз рӯйи тарҳи зерин қайд намуд: скандий → иттрий → эрбий, ки ба қонуниятҳои тағйирёбӣ дар ҳудуди гуруҳи металлҳои нодирзаминӣ мутобиқат менамояд (ҷадвали 2).

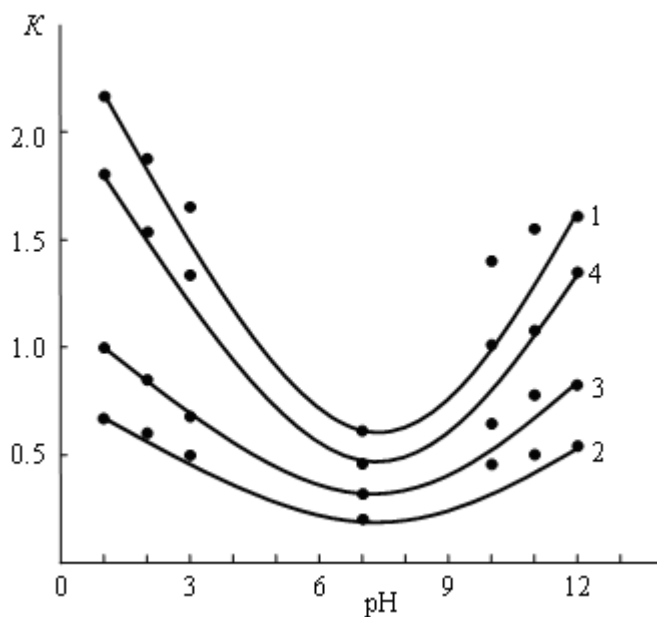
Ҷадвали 2 – Таъсири иловаҳои ҷавҳаронии скандий, иттрий ва эрбий ба хосиятҳои анодии хӯлаи Zn0.5Al, дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъол

Муҳит	Компоненти ҷавҳаронии хӯла, %-и вазн	Потенциалҳои электрохимиявӣ, В (э.х.н.)				Суръати коррозия	
		-E _{кор.оз.}	-E _{кор.}	-E _{п.х.}	-E _{р.п.}	$i_{кор.} \cdot 10^2$	K · 10 ³
						A/м ²	г/м ² · с
0.01н. HCl	Zn0.5Al (1)	1.110	1.118	0.980	0.995	0.154	1.87
	(1) + 0.01 Sc	0.800	0.808	0.700	0.705	0.050	0.61
	(1) + 0.1 Sc	0.895	0.903	0.720	0.728	0.053	0.65
	(1) + 1.0 Sc	1.010	1.018	0.752	0.760	0.060	0.73
	(1) + 0.01 Y	0.840	0.848	0.760	0.765	0.070	0.85
	(1) + 0.1 Y	0.935	0.943	0.837	0.845	0.074	0.90
	(1) + 1.0 Y	1.050	1.058	0.932	0.937	0.081	0.99
	(1) + 0.01 Er	1.015	1.023	0.900	0.907	0.126	1.54
	(1) + 0.1 Er	1.040	1.048	0.940	0.955	0.133	1.62
(1) + 1.0 Er	1.085	1.093	0.970	0.987	0.143	1.74	
0.3% NaCl	Zn0.5Al (2)	1.007	1.016	0.860	0.866	0.050	0.61
	(2) + 0.01 Sc	0.697	0.706	0.622	0.631	0.016	0.19
	(2) + 0.1 Sc	0.792	0.801	0.645	0.650	0.020	0.24
	(2) + 1.0 Sc	0.907	0.916	0.680	0.690	0.027	0.33
	(2) + 0.01 Y	0.737	0.746	0.660	0.670	0.026	0.32
	(2) + 0.1 Y	0.832	0.841	0.740	0.748	0.032	0.38
	(2) + 1.0 Y	0.947	0.956	0.785	0.794	0.041	0.50
	(2) + 0.01 Er	0.912	0.920	0.800	0.810	0.039	0.47
	(2) + 0.1 Er	0.937	0.946	0.830	0.835	0.044	0.54
(2) + 1.0 Er	0.982	0.991	0.850	0.858	0.048	0.58	
0.01н. NaOH	Zn0.5Al (3)	1.048	1.058	0.892	0.900	0.127	1.55
	(3) + 0.01 Sc	0.738	0.750	0.685	0.693	0.042	0.51
	(3) + 0.1 Sc	0.833	0.845	0.700	0.714	0.045	0.55
	(3) + 1.0 Sc	0.948	0.958	0.724	0.731	0.058	0.71
	(3) + 0.01 Y	0.778	0.788	0.690	0.697	0.064	0.78
	(3) + 0.1 Y	0.873	0.883	0.785	0.792	0.077	0.94
	(3) + 1.0 Y	0.988	0.998	0.865	0.870	0.088	1.07
	(3) + 0.01 Er	0.953	0.960	0.807	0.816	0.097	1.18
	(3) + 0.1 Er	0.978	0.988	0.842	0.855	0.108	1.32
(3) + 1.0 Er	1.023	1.033	0.885	0.890	0.123	1.50	

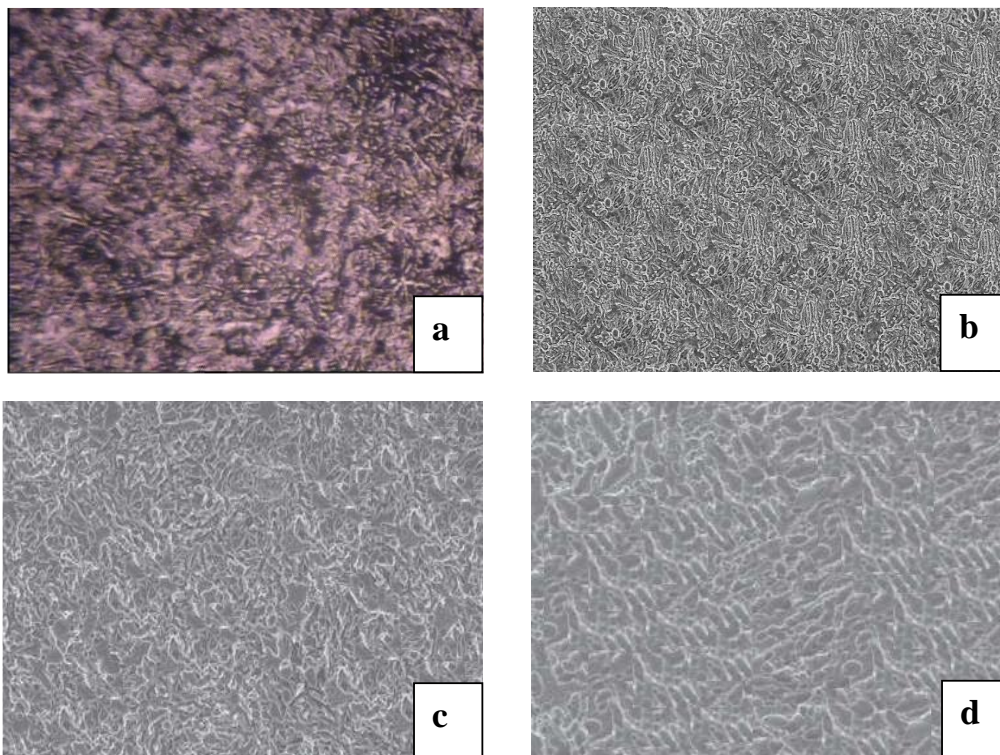
Натиҷаҳои таҳқиқоти санҷишӣ тасдиқ менамоянд, ки аз скандий ба иттрий ва эрбий баландшавии суръати коррозия дида мешавад, ки амалан бо афзоиши рақами тартибии метали нодирзаминӣ мувофиқат мекунад. Дар байни металҳои нодирзаминӣ бештар компонентҳои ҷавҳаронии самараноки хӯлаи Zn0.5Al скандий ва иттрий мебошанд (расми 2). Ин вобастагӣ ҳангоми баҳамгузориҳои суръати коррозия ва тасвири микросохторҳо барои хӯлаи бо

металҳои нодирзаминӣ чавҳаронидашудаи $Zn_{0.5}Al$ тибқи қонуният инъикос меёбад (расмҳои 2, 3).

Тасвири микросохторҳои ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки дар алоҳидагӣ бо 0.01%-и скандий, иттрий ва эрбий чавҳаронидашуда, нишон медиҳанд, ки иловаҳои металҳои нодирзаминӣ, махсусан скандий ва иттрий таъсири самараноки дигаргункунӣ ба сохтори рехтаи ҳӯлаи $Zn_{0.5}Al$ мерасонанд (расми 3).



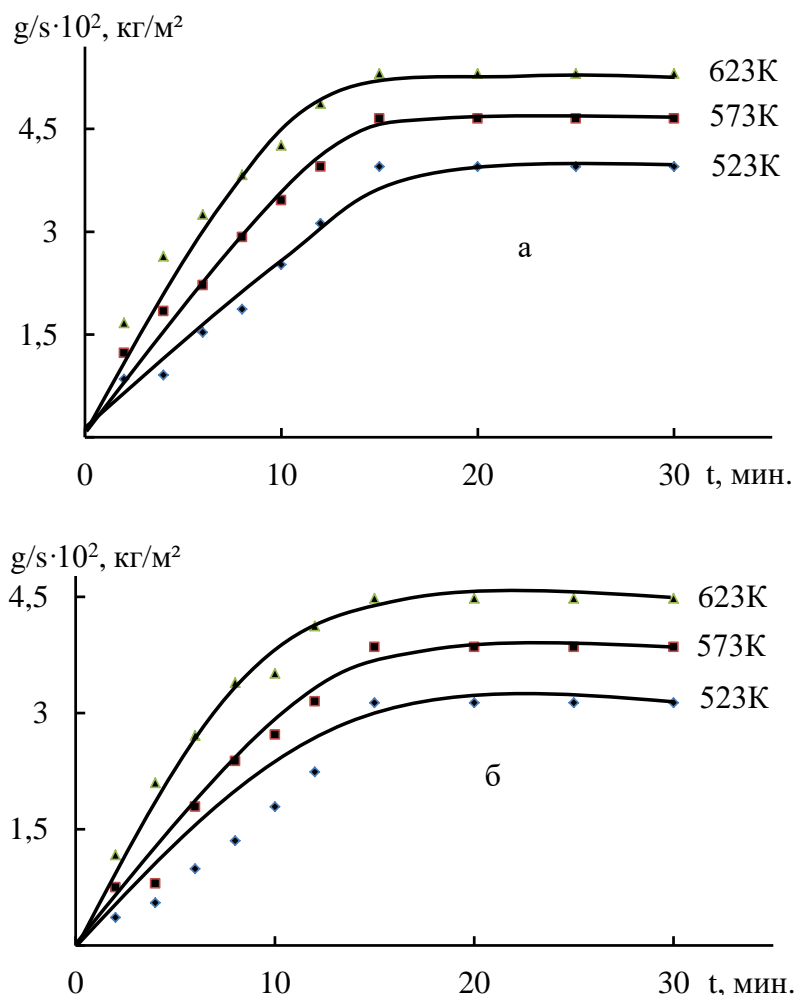
Расми 2 – Вобастагии суръати коррозияи $K \cdot 10^3$ ($г/м^2 \cdot с$) ҳӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ (1), ки бо 0.01%-и вазнии скандий (2), иттрий (3) ва эрбий (4) чавҳаронидашуда аз рН-и муҳит



Расми 3 – Микросохторҳои ($\times 500$) ҳӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ (a), ки 0.01%-и вазнии скандий (b), иттрий (c) ва эрбий (d) дорад

Дар боби чоруми диссертатсия «Таҳқиқоти оксидшавии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$, ки бо скандий, иттрий ва эрбий чавҳаронидашуда, дар муҳити ҳаво» натиҷаҳои таъсири иловаҳои чавҳаронии скандий, иттрий ва эрбий ба устувории анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ба оксидшавӣ дар вобастагӣ аз ҳароратҳо ва вақти гузариши раванди оксидшавӣ оварда шудааст.

Бо таҳқиқоти термогравиметрӣ ҳангоми шароитҳои изотермикӣ вобаста аз вақт натиҷаҳои таъсири скандий ба оксидшавии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ пешниҳод шудааст. Давомнокии вақти нигоҳдории намунаҳои хӯла ба оксидшавӣ 1 соатро ташкил медиҳад. Дар қачхатҳои кинетикӣ буриши вақт то 30 дақиқа нишон дода шудааст. Зеро, пас аз 30 дақиқа суръати оксидшавӣ бетағйир аст. Баландшавии мутаносиби суръати оксидшавии намунаҳои хӯла бо зиёдшавии консентратсияи скандий мушоҳида мегардад. Дар ин ҳолат оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ зиёд намешавад. Иловаҳои то 0.1%-и скандий суръати оксидшавии хӯлаи руҳро хеле кам мекунанд. Ҳангоми назорати раванди оксидшавӣ равиши шиддатнокии оксидшавӣ дар 10-12 дақиқаҳои аввал аз оғози раванд дида шудааст. Гузариши баъдии оксидшавӣ рафти қачхатҳоро тағйир медиҳад ва доимӣ мегардад (расми 4). Ин вобастагии қачхатҳои кинетикӣ барои дигар намунаҳои хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо иттрий ва эрбий чавҳаронидашуда, низ хос аст.



Расми 4 – Қачхатҳои кинетикӣи хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ (а), ки 0.01%-и вазн скандий (б) дорад

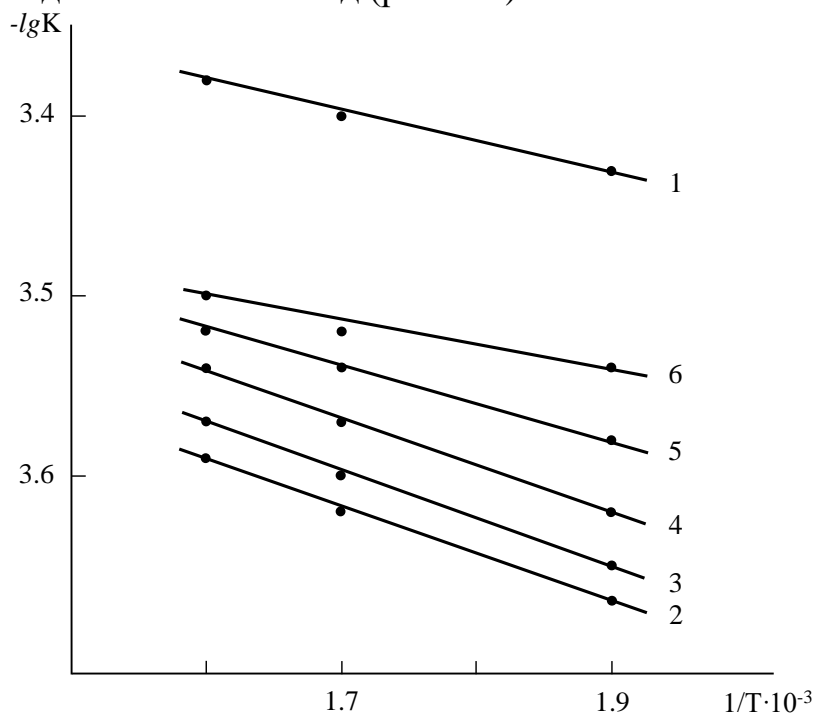
Ҳангоми ҷавҳаронии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ бо скандий ва иттрий хеле намоён камшавии суръати оксидшавӣ дида мешавад. Ҳамаи иловаҳои эрбий қобилияти зиёдкунии суръати оксидшавии хӯларо доранд. Қимати минималии суръати оксидшавӣ ба хӯлае, ки бо 0.01% Sc ҷавҳаронида шудааст, хос аст. Ҳангоми баландшавии ҳарорат суръати оксидшавии ҳамаи намунаҳои хӯла афзоиш меёбад. Бузургии энергияи фаъолкунандаи оксидшавӣ, ки барои хӯла бо эрбий (0.01÷1.0%) ҳисоб карда шудааст, ба камшавии сарфи энергетикӣ ишора мекунад. Ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо скандий ба хӯлаҳо бо иттрий ва хӯлаҳо бо эрбий каме зиёдшавии оксидшавии хӯлаҳо дида мешавад (ҷадвали 3).

Ҷадвали 3 – Нишондиҳандаҳои кинетикии раванди оксидшавии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ бо металҳои нодирзаминӣ

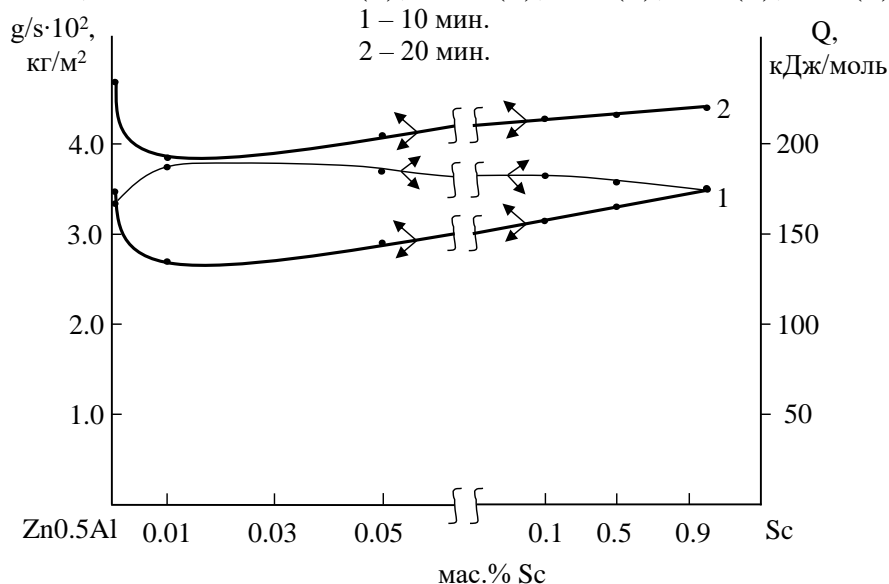
Иловаҳои Sc, Y ва Er дар хӯла, %-и вазнӣ	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати оксидшавӣ $K \cdot 10^4$, $кг \cdot м^{-2} \cdot с^{-1}$	Энергияи фаъолкунанда, кҶ/мол
–	523	3.68	168.4
	573	3.91	
	623	4.11	
0.01 Sc	523	2.10	188.4
	573	2.39	
	623	2.54	
0.01 Y	523	2.32	184.5
	573	2.61	
	623	2.76	
0.01 Er	523	3.75	164.7
	573	4.06	
	623	4.21	
0.1 Sc	523	2.62	178.2
	573	2.91	
	623	3.00	
0.1 Y	523	2.62	182.5
	573	2.90	
	623	3.08	
0.1 Er	523	3.98	156.0
	573	4.25	
	623	4.46	
1.0 Sc	523	2.88	177.5
	573	3.00	
	623	3.14	
1.0 Y	523	3.16	170.1
	573	3.41	
	623	3.66	
1.0 Er	523	4.29	144.8
	573	4.78	
	623	5.13	

Қаҷхатҳои (2-6) вобастагии $\lg K$ аз $1/T$ дар муқоиса бо қаҷхати (1) дар поён ҷойгир шудаанд. Ин баландшавии энергияи фаъолкунандаи хӯлаи рухро ҳангоми ҷавҳаронии он бо скандий тасдиқ мекунад. Қаҷхатҳо оиди намоён камшавии суръати оксидшавӣ шаҳодат медиҳанд. Оксидшавии хӯлаи рух $Zn_{0.5}Al$, ки бо скандий (0.01÷0.1%) ҷавҳаронидашуда дар муқоиса бо хӯлаи рух, ки бо скандий (0.5, 1%) ҷавҳаронида шудааст ва хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ натиҷаовар кам мешавад (расми 5).

Ҳангоми камшавии суръати оксидшавии ҳамаи намунаҳои хӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи рух бо скандий зиёдшавии бузургии энергияи фаъолкунандаи оксидшавӣ дида мешавад. Бештарин консентратсияи самараноки скандий дар хӯлаи рух дар ҳудуди 0.01÷0.1% қарор дорад, зеро хеле намоён суръати оксидшавӣ кам мешавад (расми 6).

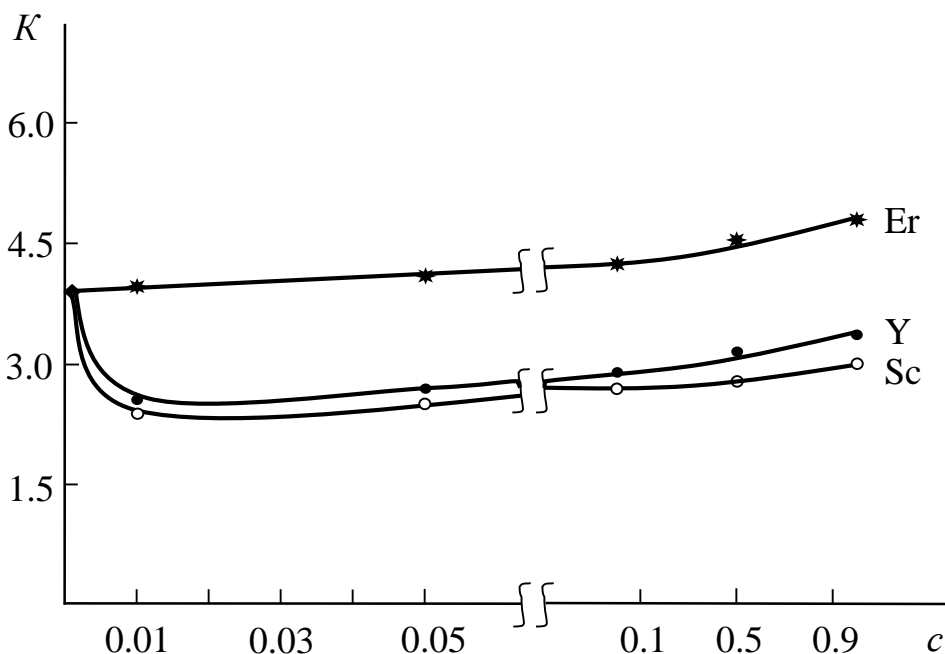


Расми 5 – Вобастагии $-\lg K$ аз $1/T$ барои хӯлаи рух $Zn_{0.5}Al$ (1), бо скандий, %-и вазнӣ: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5); 1.0 (6)



Расми 6 – Изохронаи оксидшавии (573 К) хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ бо скандий

Барои хӯлаи Zn0.5Al ва хӯла, ки эрбий дорад, дар муқоиса бо хӯлаҳои чавҳаронидашудаи скандий ва иттрий суръати баланди оксидшавӣ хос аст. Иловаҳои чавҳаронии Sc ва Y дар ҳудуди концентратсияҳои омӯхташуда қобилияти назаррас камкунии оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al –ро зоҳир менамоянд. Бо баландшавии баъдии концентратсияи эрбий (0.5, 1.0%) хусусияти оксидшавӣ бештар мураккаб мешавад, ки ба истифодабарии бемақсадноки он ҳангоми микдорҳои нишондодашуда ишора мекунад. Металҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Er) дар вобастагӣ аз рақами тартибӣ тибқи қонуният ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al таъсир мерасонанд (расми 7).



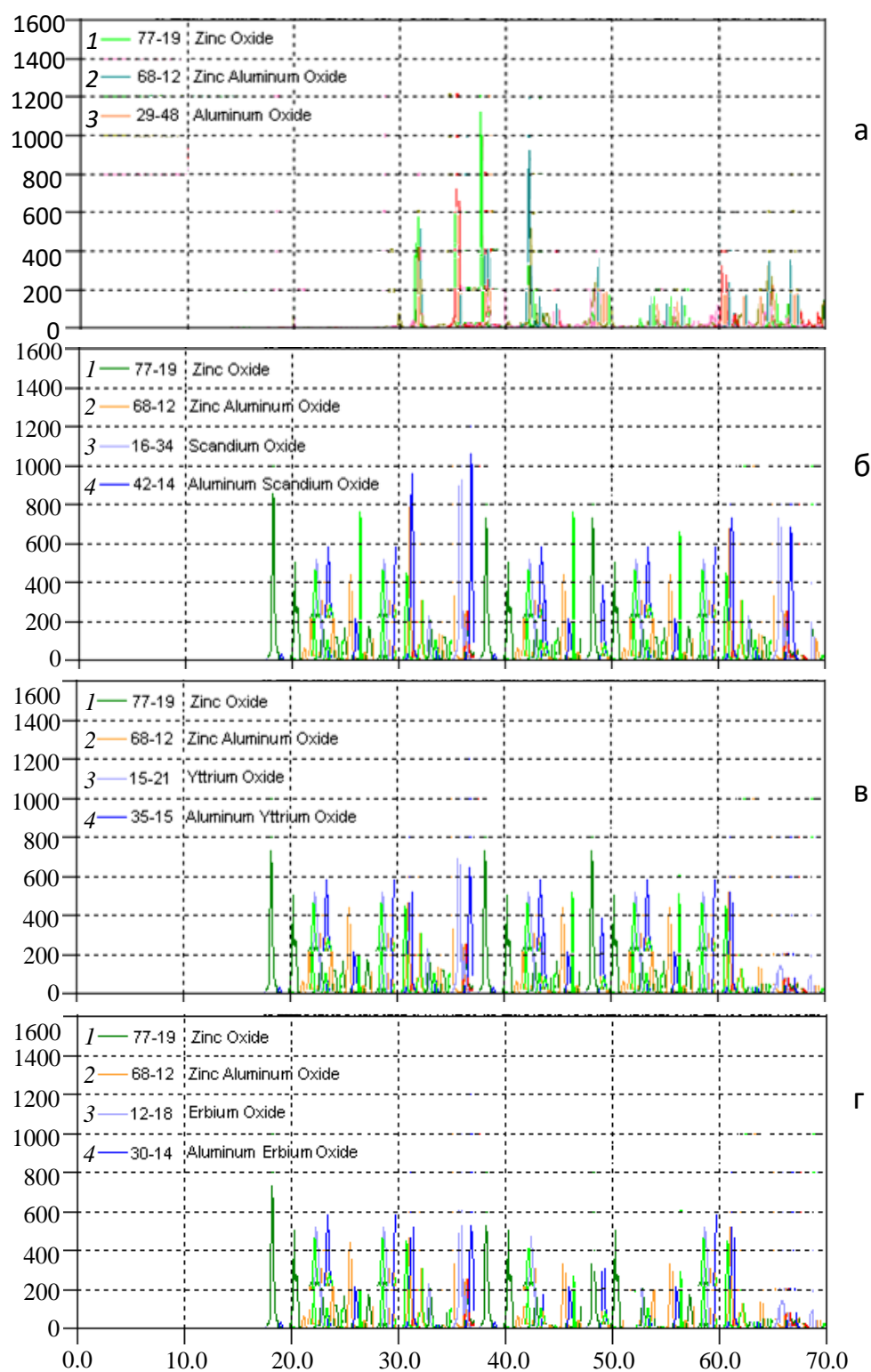
Расми 7 – Таъсири муқоисаи тағйирёбии суръати оксидшавии ($K \cdot 10^4$, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) хӯлаи руҳ Zn0.5Al аз миқдори скандий, иттрий ва эрбий ҳангоми ҳарорати 523 K

Зимни гузариш аз хӯлаҳо бо скандий ба хӯлаҳо бо иттрий ва эрбий якҷанд камшавии бузургии энергияи самараноки фаъолкунандаи хӯлаҳо дида мешавад. Дар байни элементҳои чавҳаронии хӯлаи Zn0.5Al қимати бештарини энергияи фаъолкунандаи раванди оксидшавиро хӯлаҳо бо скандий ва иттрий доранд (ҷадвали 4).

Ҷадвали 4 – Муқоисаи тағйирёбии энергияи фаъолкунандаи раванди оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al аз миқдори металлҳои нодирзаминӣ

Ҳарорати оксидшавӣ, К	Компонентҳои чавҳаронии хӯлаи Zn0.5Al	Энергияи фаъолкунанда, кҶ/мол					
		Миқдори иловаҳо, %- вазнӣ					
		-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
523 573 623	–	168.4	-	-	-	-	-
	Sc	-	188.4	185.9	182.0	179.8	177.5
	Y	-	184.5	181.0	178.2	173.5	170.1
	Er	-	164.7	159.5	156.0	151.3	144.8

Ҳангоми оксидшавии хӯлаи бо металҳои нодирзаминӣ чавҳаронидашудаи $Zn_{0.5}Al$ ҳосилшавии маҳсули зерин дида мешавад, ки аз ZnO , Al_2O_3 , Sc_2O_3 , Y_2O_3 , Er_2O_3 ва омехтаи шпинели $ZnAl_2O_4$, $Sc_2O_3 \cdot Al_2O_3$, $Y_2O_3 \cdot Al_2O_3$, $Al_2O_3 \cdot Er_2O_3$ иборат аст (расми 8).



Расми 8 – Дифрактограммаи маҳсули оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ (а) бо 0.01% скандий (б), иттрий (в) ва эрбий (г):
 1 – ZnO ; 2 – $ZnAl_2O_4$; 3 – Al_2O_3 , Sc_2O_3 , Y_2O_3 , Er_2O_3 ;
 4 – $Al_2O_3 \cdot Sc_2O_3$, $Al_2O_3 \cdot Y_2O_3$, $Al_2O_3 \cdot Er_2O_3$

ХУЛОСА

Натиҷаҳои асосӣ ва хулосаҳо:

1. Бо методи потенциостатикӣ таъсири иловаҳои чавҳаронии скандий, иттрий ва эрбий ба рафтори анодии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъоли HCl , $NaCl$ ва $NaOH$ таҳқиқ карда шудааст. Аниқ карда шудааст, ки скандий ва иттрий нисбат ба эрбий устувории анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ –ро хеле самаранок беҳбуд мегардонанд [1-М, 8-М, 11-М, 12-М, 14-М, 15-М].

2. Ҳангоми поляризацияи потенциодинамикӣ (2 мВ/с) нишон дода шудааст, ки потенциалҳои коррозия, пассиватсияи хӯлаи $Zn_{0.5}Al$, ки бо металҳои нодирзаминӣ (Sc , Y , Er) чавҳаронидашуда, вобаста аз рН-и муҳити коррозсионӣ-фаъол ба самти қиматҳои мусбӣ майл мекунад [1-М, 8-М, 9-М].

3. Аниқ карда шудааст, ки иловаҳои чавҳаронии скандий, иттрий ва эрбий (дар алоҳидагӣ 0.01÷0.1%-и вазнӣ) суръати коррозияи хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ –ро то 2-3 маротиба кам мекунад. Таркибҳои нави коркардшудаи хӯлаҳои анодӣ бо 2 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон ҳифз карда шудааст (№ ТҶ 1079, 1081) [9-М, 10-М].

4. Бо методи термогравиметрӣ аниқ карда шудааст, ки иловаҳои 0.01÷0.1%-и скандий ва иттрий дар алоҳидагӣ ҳангоми ҳароратҳои 523, 573 ва 623 К оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ –ро назаррас кам мекунад, вале иловаҳои 0.01÷1.0%-и эрбий андаке баландшавии майли онро ба оксидшавӣ зиёд мекунад. Вобастагии гиперболии оксидшавии хӯлаҳо нишон дода шудааст [2-М, 3-М, 4-М, 5-М, 6-М, 7-М, 13-М].

5. Аниқ карда шудааст, ки бо афзоиши рақами тартибии элементҳои ба хӯлаи руҳ ($Zn_{0.5}Al$) воридменамода аз гуруҳи металҳои нодирзаминӣ (Sc, Y, Er) андаке камшавии энергияи самараноки фаъолкунондаи раванди оксидшавӣ мушоҳида мегардад [3-М, 5-М, 7-М, 13-М].

6. Бо методи рентгенофазавии таҳлил таркиби фазавии пардаҳои оксидӣ, ки дар сатҳи хӯлаҳои таҳқиқмешуда ҳангоми оксидшавии онҳо ҳосил мешаванд, муайян карда шудааст. Бавучудоии пардаҳои муҳофизатии ZnO , Al_2O_3 , Sc_2O_3 , Y_2O_3 , Er_2O_3 ва омехтаи шпинели $ZnAl_2O_4$, $Sc_2O_3 \cdot Al_2O_3$, $Y_2O_3 \cdot Al_2O_3$, $Al_2O_3 \cdot ZnO$ аниқ карда шудааст [2-М, 4-М, 6-М].

7. Бо методи металлографии таҳлил таъсироти дигаргункунии скандий, иттрий ва эрбий ба микросохтори хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ нишон дода шудааст. Муайян карда шудааст, ки скандий ва иттрий нисбат ба эрбий сохтори рехтаи хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ –ро хеле самаранок хурд мекунад [4-М, 9-М, 10-М].

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот:

– натиҷаҳои таҳқиқоти санҷишии иҷрокардашуда барои мутахассисон дар соҳаҳои маводшиносӣ ва муҳофизат аз коррозия, галванотехника, металлургия, инчунин барои маводшиносон ва коргарон, ки ба масъалаҳои муҳофизати конструксияҳо ва маснуоти пӯлодии карбондор машғуланд, тавсия мешаванд;

– хӯлаҳои нави коркардшудаи $Zn_{0.5}Al$ бо скандий, иттрий ва эрбий ҳамчун рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатӣ барои баландбардории устуворӣ ба коррозия ва зиёдкунии муҳлати хизмати конструксия ва маснуоти пӯлодӣ тавсия мешаванд.

**ФЕҲРИСТИ ИНТИШОРОТИ ИЛМИИ ДОВТАЛАБИ
ДАРАҶАИ ИЛМӢ АЗ РӢӢИ МАВЗӢИ ДИССЕРТАТСИЯ**

*Мақолаҳои дар маҷаллаҳои илмии тавсиянамудаи ҚОА-и
назди Президенти Ҷумҳурии Тоҷикистон нашршуда:*

[1-М]. **Джобиров У.Р.** Анодное поведение цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, в кислой среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Доклады НАН Таджикистана. – 2021. – Т. 64. – № 7-8. – С. 456-459.

[2-М]. **Джобиров У.Р.** Кинетика окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного иттрием / У.Р. Джобиров // Вестник Таджикского государственного педагогического университета. Серия естественных наук. – 2021. – № 3-4(11-12). – С. 322-326.

[3-М]. **Джобиров У.Р.** Окисление цинкового сплава Zn0.5Al, легированного эрбием, в твёрдом состоянии / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2021. – № 4 (185). – С. 66-71.

[4-М]. Hamroqul F. Effect of Neodymium and Erbium on the Kinetics Oxidation of Zn0.5Al Zinc Alloy, in Solid State / F. Hamroqul, **U.R. Jobirov**, Z.R. Obidov // Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies. *Web of Science*. – 2022. – V. 15. – No. 5. – P. 561-568.

[5-М]. **Джобиров У.Р.** Кинетика окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного иттрием и празеодимом / У.Р. Джобиров, Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Узбекский химический журнал. *EBSCO*. – 2022. – № 3. – С. 9-14.

[6-М]. Хамрокул Ф. Кинетика окисления цинкового сплава Zn0.5Al, легированного неодимом и эрбием / Ф. Хамрокул, **У.Р. Джобиров**, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вестник СПГУТД. Серия 1. Естественные и технические науки. – 2022. – № 3. – С. 126-130.

[7-М]. **Джобиров У.Р.** Повышение анодной устойчивости цинкового сплава Zn0.5Al к окислению легированием иттрием / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, П.Р. Иброхимов, З.Р. Обидов // UNIVERSUM – технические науки. *Crossref, Ulrichsweb*. – 2022. – № 3-1 (96). – С. 57-59.

[8-М]. **Джобиров У.Р.** Влияние добавок эрбия на анодное поведение цинкового сплава Zn0.5Al, в щелочной среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов // Известия НАН Таджикистана. Отд. физ.-мат., хим., геол. и техн. наук. – 2022. – № 1 (186). – С. 93-97.

Ихтироот:

[9-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1079. Цинк-алюминиевый сплав / **У.Р. Джобиров**; заявитель и патентообладатель: У.Р. Джобиров, Фирузи Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов / № 2001388; заявл. 20.01.20, опубл. 15.04.20, бюл. 159, 2020. – 3 с.

[10-М]. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1081. Цинк-алюминиевый сплав / **У.Р. Джобиров**; заявитель и патентообладатель: У.Р. Джобиров, О.Н. Назаров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов / № 2001388; заявл. 20.01.20, опубл. 15.04.20, бюл. 159, 2020. – 3 с.

Мақолаҳои дар маводи конфронсои наиришуда:

[11-М]. **Джобиров, У.Р.** Влияние скандия на анодное поведение сплава $Zn_{0.5}Al$, в кислой среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Подготовка технических кадров в условиях индустриализации страны». Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни. – Душанбе. – 2020. – С. 13-14.

[12-М]. **Джобиров, У.Р.** Анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного эрбием, в щелочной среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, Амонова А.В. // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2020. – С. 109-110.

[13-М]. **Джобиров, У.Р.** Окисление сплава $Zn_{0.5}Al$ с иттрием / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Сб. матер. III Межд. науч.-практ. конф. «Развитие химической науки и области их применения». Таджикский национальный университет. – Душанбе. – 2021. – С. 74-78.

[14-М]. **Джобиров, У.Р.** Анодное поведение цинкового сплава $Zn_{0.5}Al$, легированного скандием, в щелочной среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Широнов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2021. – С. 21-23.

[15-М]. **Джобиров, У.Р.** Влияние иттрия на анодное поведение сплава $Zn_{0.5}Al$, в кислой среде / У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Роль естественных, точных и математических наук в подготовке современных научных кадров, инженеров и преподавателей». Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни. – Душанбе. – 2021. – С. 206-207.

АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи Ҷобиров Умед Рустамович дар мавзӯи «Рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$, ки бо скандий, иттрий ва эрбий чавҳаронидашуда» барои дарёфти дараҷаи илмии доктори фалсафа (PhD) – доктор аз рӯйи ихтисоси 6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав

Калимаҳои калидӣ: руҳ $Zn_{0.5}Al$, скандий, иттрий, эрбий, усулҳои потенциостатикӣ ва термогравиметрӣ, таҳлилҳои микрорентгеноспектралӣ, рентгенофазавӣ ва металографӣ, хосиятҳои коррозсионӣ-электрохимиявӣ, нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ, рН –и муҳит, суръати коррозия, рафтори анодии хӯлаҳо.

Мақсади таҳқиқот бо баландбардории устувории анодии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ зимни чавҳаронии он бо скандий, иттрий ва эрбий дар муҳитҳои гуногуни коррозсионӣ-фаъол ва коркарди таркиби оптималии рӯйпӯшҳои хӯлавию анодии муҳофизатии руҳ барои муҳофизати зиддикоррозсионии маснуот, иншоот ва конструксияҳои пӯлодии карбондор хотима меёбад.

Объекти таҳқиқот – руҳи тамғаи ТХ (гранулшакл), алюминийи тамғаи А7 ва лигатураҳои он бо скандий (AlSc2), иттрий (AlY7) ва эрбий (AlEr10) (%-и вазнӣ).

Усулҳои таҳқиқот, дастгоҳҳои истифодашуда. Таҳқиқот бо усулҳои микрорентгеноспектралӣ (микроскопи тасвирбардори электронии SEM навъи AIS 2100), потенциостатикӣ (потенциостат ПИ-50.1.1), металографӣ (микроскопи ERGOLUX AMC), рентгенофазавӣ (ДРОН-2.0) ва термогравиметрӣ гузаронида шудааст.

Натиҷаҳои ҳосилнамуда ва навгониҳои он. Қонуниятҳои тағйирёбии потенциалҳои коррозсионӣ-электрохимиявӣ вобаста аз таркиби намунаҳои хӯла ва микросохтори он аниқ карда шудааст. Таъсири амиқи концентратсияи гидроксид ва хлорид-ионҳо, ки дар маҳлулҳои NaOH, HCl ва NaCl мавҷуданд, нишон дода шудааст. Моҳияти таъсири скандий, иттрий ва эрбий ба устувории анодии хӯлаи руҳ $Zn_{0.5}Al$ ба оксидшавии баландҳароратӣ аниқ карда шудааст. Қобилияти элементҳои чавҳаронӣ (Sc, Y, Er) дар бавучудории таркиби фазавии маҳсули оксидшавии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ ва дар механизми раванди оксидшавӣ муайян карда шудааст. Имконоти баландбардории устувории анодии хӯлаи $Zn_{0.5}Al$ то 2-3 маротиба хангоми чавҳаронии он бо металҳои нодирзаминӣ нишон дода шудааст.

Аҳамияти амалии таҳқиқот дар коркарди таркибҳои оптималии рӯйпӯшҳои хӯлавию анодии муҳофизатии руҳ бо иштироки алюминий, скандий, иттрий ва эрбий барои муҳофизати зиддикоррозсионии маснуот, иншоот ва конструксияҳои пӯлодии карбондор хотима меёбад. Таркибҳои коркардшудаи хӯлаҳои анодии руҳ бо 2 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (ТJ №1079, 1081) ҳифз карда шудааст. Дар корхонаи ҚДММ “Нокили ТАлКо” ш. Душанбе аз рӯйи васлкунӣ ва қабати маҳсули нокилӣ-чараёнгузарон хӯлаҳои нави коркардшудаи руҳ-алюминий ба сифати рӯйпӯшҳои зиддикоррозсионии пӯлод санчида шудааст. Натиҷа 9,4 долларро дар 1 м² сатҳи ҳифзшаванда, аз ҳисоби то 2-3 маротиба камшавии суръати коррозияи новаҳои нокилии пӯлодӣ, ташкил дод.

Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои таҳқиқот:

– натиҷаҳои таҳқиқоти санчишии иҷрокардашуда барои мутахассисон дар соҳаҳои маводшиносӣ ва муҳофизат аз коррозия, галванотехника, металлургия, инчунин барои маводшиносон ва коргарон, ки ба масъалаҳои муҳофизати конструксияҳо ва маснуоти пӯлодии карбондор машғуланд, тавсия мешаванд;

– хӯлаҳои нави коркардашудаи $Zn_{0.5}Al$ бо скандий, иттрий ва эрбий ҳамчун рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатӣ барои баландбардории устуворӣ ба коррозия ва зиёдкунии муҳлати хизмати конструксия ва маснуоти пӯлодӣ тавсия мешаванд.

Соҳаи истифодабарӣ: мошинсозӣ, галванотехника, металлургия, саноати сохтмон ва химиявии нафт.

АННОТАЦИЯ

диссертации Джобирова Умед Рустамовича на тему «Анодное поведение и окисление цинкового сплава Zn0.5Al, легированного скандием, иттрием и эрбием», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов

Ключевые слова: сплав Zn0.5Al, скандий, иттрий, эрбий, потенциостатический и термогравиметрический методы, микрорентгеноспектральный, металлографический и рентгенофазовый анализ, коррозионно-электрохимические свойства, кинетические и энергетические параметры, pH среды, скорость коррозии, анодное поведение сплавов.

Цель исследования заключается в повышении анодной устойчивости цинкового сплава Zn0.5Al легированием скандием, иттрием и эрбием, в различных коррозионно-активных средах и разработке оптимальных составов анодных защитных цинковых сплавных покрытий для противокоррозионной защиты углеродистых стальных конструкций, изделий и сооружений.

Объекты исследования – цинк марки ХЧ (гранулированный), алюминий марки А7 и его лигатуры со скандием (AlSc2), иттрием (AlY7) и эрбием (AlEr10) (по мас.%).

Методы исследования, использованная аппаратура. Исследования проводились микрорентгеноспектральным (сканирующий электронный микроскоп SEM серии AIS 2100), потенциостатическим (потенциостат ПИ-50.1.1), металлографическим (микроскоп ERGOLUX АМС), рентгенофазовым (ДРОН-2.0) и термогравиметрическими методами.

Полученные результаты и их новизна. Установлены закономерности изменения коррозионно-электрохимических потенциалов от состава образцов сплава и его микроструктуры. Показаны значительные воздействия концентраций гидроксид и хлорид-ионов, присутствующих в растворах NaOH, HCl и NaCl. Установлены особенности влияния скандия, иттрия и эрбия на анодную стойкость цинкового сплава Zn0.5Al к высокотемпературному окислению. Определены способность легирующих элементов (Sc, Y, Er) в формировании фазового состава продуктов окисления сплава Zn0.5Al и в механизме окислительного процесса. Показаны возможности повышения анодной устойчивости сплава Zn0.5Al в 2-3 раза при легировании его с редкоземельными металлами.

Практическая значимость исследования заключается в разработке оптимальных составов анодных защитных цинковых сплавных покрытий с участием алюминия, скандия, иттрия и эрбия для противокоррозионной защиты углеродистых стальных конструкций, изделий и сооружений. Разработанные составы анодных цинковых сплавов защищены 2 малыми патентами Республики Таджикистан (№ ТЈ 1079, 1081). На предприятии ООО «Нокили ТАЛКО» г. Душанбе по монтажу и прокладке кабельно-проводниковой продукции внедрены новые цинково-алюминиевые сплавы, разработанные в качестве антикоррозионных покрытий стали. Результат составляет 9,4 доллара за 1 м² защищаемой поверхности за счет снижения в 2-3 раза скорости коррозии стальной кабельных лотков.

Рекомендации по практическому использованию результатов исследования:

- результаты выполненного экспериментального исследования рекомендуются для специалистов в области материаловедения и защита от коррозии, гальванотехнике, металлургии, а также материаловедов и производителей, занимающихся проблемами защиты углеродистых стальных изделий и конструкций от коррозионного разрушения;
- разработанные новые сплавы Zn0.5Al со скандием, иттрием и эрбием рекомендуются как анодных защитных покрытий для повышения коррозионной стойкости и увеличения срока службы углеродистых стальных конструкций и изделий.

Область применения: машиностроение, гальванотехника, металлургия, нефтехимическая и строительная промышленность.

ANNOTATION

of the dissertation of Jobirov Umed Rustamovich on theme «Anodic behavior and oxidation of Zn_{0.5}Al alloy, doped with scandium, yttrium and erbium», presented for the degree of doctors of philosophy (PhD) – doctors on a speciality 6D071000 – Materials and technology of new materials

Key words: Zn_{0.5}Al alloy, scandium, yttrium, erbium, potentiostatical and thermogravimetical methods, micro X-ray spectral, metallographic and X-ray phase analysis, corrosion-electrochemical properties, kinetic and energetic parameters, pH mediums, corrosion rate, anode behavior alloys.

The work purpose consists in increase of anode stability of zinc alloy Zn_{0.5}Al doped scandium, yttrium and erbium, in various corrosionno-active environments and working out of optimum structures of anode protective zinc floatable coverings for anticorrosive protection of carbonaceous steel designs, products and constructions.

Objects of research – zinc grade KhCh (granular), aluminum grade A7 and its alloys with scandium (AlSc₂), yttrium (AlY₇) and erbium (AlEr₁₀) (wt.%).

Research methods, used equipment. Researches were spent micro X-ray spectral (scanning electronic microscope SEM of series AIS 2100), potentiostatical (potensiostat PI-50.1.1), metallographical (ERGOLUX AMC), X-ray phase (DRON-2.0) and termogravimetical methods.

The results obtained and their novelty. Laws of change of corrosionno-electrochemical potentials from structure of samples of an alloy and its microstructure are established. Considerable influences of concentration gidroksides and the chlorides-ions which are present at solutions NaOH, HCl and NaCl are showed. Features of influence of scandium, yttrium and erbium on anode firmness of zinc alloy Zn_{0.5}Al to high-temperature oxidation are established. Are defined ability of alloying elements (Sc, Y, Er) in formation of phase structure of products of oxidation of alloy Zn_{0.5}Al and in the mechanism of oxidising process. Possibilities of increase of anode stability of alloy Zn_{0.5}Al in 2-3 times are shown at alloyed it with rare-earth metals.

The practical significance of the study consists in working out of optimum structures of anode protective zinc floatable coverings with participation of aluminium, scandium, yttrium and erbium for anticorrosive protection of carbonaceous steel designs, products and constructions. The developed structures of anode zinc alloys are protected by 2 small patents of Republic Tajikistan (№ TJ 1079, 1081). At Open Company enterprise «Нокили ТАЛКо» of Dushanbe on installation and a lining kabelno-provodnikovoj production are introduced the new zinc-aluminium alloys developed as anticorrosive coverings of a steel. The result makes 9,4 dollars for 1m² a protected surface at the expense of decrease in speed of corrosion steel cable trays in 2-3 times.

Recommendations about practical use of results research:

- results of the executed experimental research are recommended for experts in the field of materials technology and protection against corrosion, galvanotechnics, metallurgy, and also materialveds and the production workers, dealing with by problems of protection of carbonaceous steel products and designs from corrosion destruction;
- developed new alloys Zn_{0.5}Al with scandium, yttrium and erbium are recommended as anode sheetings for increase of corrosion firmness and increase in service life of carbonaceous steel designs and products.

Application area: mechanical engineering, galvanotechnic, metallurgy, petrochemical and building industry.

Разрешено в печать 5.10.2023 г., подписано в печать 9.10.2023 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура литературная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 2,6. Тираж 100 экз.

