

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

*На правах рукописи*

УДК 620.197:669.017

**ФИРУЗИ ХАМРОКУЛ**

**АНОДНОЕ ПОВЕДЕНИЕ И ОКИСЛЕНИЕ  
СПЛАВА  $Zn_{0.5}Al$ , ЛЕГИРОВАННОГО  
ЦЕРИЕМ, ПРАЗЕОДИМОМ И НЕОДИМОМ**

**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:** **Рузиев Джура Рахимназарович,**  
доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры прикладной химии  
Таджикского национального университета

**Мирпочаев Хуршед Абдумуминович,**  
кандидат технических наук, заместитель  
директора по внедрению ГУ «Научно-  
исследовательский институт металлургии»  
ОАО «Таджикская алюминиевая компания»

**Ведущая организация:** **Институт энергетики Таджикистана**

Защита диссертации состоится 1 февраля 2023 года в 10<sup>00</sup> 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](http://www.ttu.tj)

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

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

**Бабаева А.Х.**

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Современное машиностроение, авиакосмическая техника, электроника и вычислительная техника, радиотехника и атомная энергетика требуют создания все более совершенных материалов, обладающих широким диапазоном специальных эксплуатационных свойств. Среди этих материалов ведущую роль играют неорганические материалы различного класса – металлические, оксидные, композиционные и различного функционального назначения. Особенно интенсивно развивается металловедение в последние десятилетия.

Вопросы защиты от коррозии конструкций, сооружений и изделий из углеродистых сталей и чугунов являются ключевыми в современном материаловедении и имеют огромное значение для металлургической, машиностроительной, приборостроительной, химической и строительной промышленности.

Для интенсификации и совершенствования технологических процессов, осуществления новых технологических схем на основе последних достижений науки и техники, создания новых конструкций высокопроизводительных машин и аппаратов требуется разнообразный ассортимент химически стойких, жаропрочных и жаростойких материалов. Эти материалы должны обладать высокой механической прочностью и пригодных для работы в широком диапазоне давлений и температур в условиях воздействия разнообразных агрессивных коррозионных сред.

В современной технике широко используются высокотемпературные материалы, которые отличаются большим сопротивлением к окислению, прочностью при растяжении и т.д. Эти и другие требования должны учитываться при металловедческих и металлургических исследованиях сплавных защитных покрытий. В то время как созданные жаропрочные и жаростойкие сплавы не имеют большое сопротивление к окислению, но обладают другие важные технологические характеристики.

**Степень изученности научной темы.** В настоящее время таджикская и зарубежная литература обогатилась рядом ценных монографий и статей, посвященных отдельным группам легированных металлических сплавов. Рассмотрены атомная и электронная структура металлов и фаз металлических сплавов, феноменология и атомные механизмы фазовых превращений, а также теории диффузии и роль атомной структуры, дефектов решетки и микроструктуры в явлениях диффузии. Приведен в основном оригинальный экспериментальный и теоретический материал о коррозионном взаимодействии конструкционных сплавов с коррозионными средами. Описана кинетика их взаимодействия. Изложены основные принципы легирования сплавов в целях снижения их скорости растворения в коррозионно-активных средах. Особое внимание уделено закономерностям возникновения кристаллических структур и микроструктур. В числе рассматриваемых фаз находятся металлические соединения с замечательными физико-химическими, теплофизическими,

механическими, коррозионно-электрохимическими и технологическими свойствами. Основная часть работы посвящена коррозионному поведению металлических материалов в различных коррозионно-активных средах. Для каждой коррозионной среды дается характеристика коррозионного поведения материалов и область их применения. Довольно широкий охват коррозионных сред, металлических сплавов, условий их эксплуатации и областей применения в сочетании с изложением основных закономерностей коррозионных процессов позволит специалистам сделать правильный выбор сплава как защитного покрытия при создании новой техники.

Современная техника предъявляет возрастающие требования к качеству и свойствам металлических сплавов, а также надежности изготавливаемых из них механизмов. Непрерывно создаются новые композиции сплавов, разрабатываются новые и совершенствуются существующие технологические режимы, обеспечивающие получение заданных свойств. Эти сплавы должны обладать высоким сопротивлением окислению и защищать вышеуказанных изделий от коррозии. На сегодняшнее время стали широко применять Zn-Al сплавов в качестве защитных покрытий углеродистой стали.

Идеальных конструкционных или сверхматериалов нет, поэтому основной задачей исследователей является проведение лабораторных испытаний для нахождения перспективных материалов, а затем исследований их коррозионной стойкости в экспериментальных условиях для определения количественных изменений перечисленных свойств этих материалов во времени. Полученные в результате проведения очень трудоемких испытаний и исследований количественные данные позволяют отобрать из перспективных материалов лучшие, свойства которых обеспечивают работоспособность деталей и изделий в различных условиях. Такая работа значительно снижает технический риск применения рекомендованных материалов в эксплуатируемых целях, хотя и не устраняет его полностью. Только в результате опыта промышленной эксплуатации можно полностью определить надежность разработанных материалов.

В данном исследовании уделено внимание, чтобы разработать новые коррозионностойкие анодные сплавы цинка с алюминием и редкоземельными металлами цериевой подгруппы как защитным покрытием изделий и конструкций из углеродистых сталей. Для этого необходимо проведения комплексного исследования анодного поведения и окисления сплавов в коррозионно-активных средах.

***Связь исследования с научными программами.*** Диссертационная работа способствует решению четвертой 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 сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного церием, празеодимом и неодимом, путем изучения их анодного поведения и окисления в различных коррозионно-активных средах.

### **Задачи исследования:**

- изучение химического состава, микроструктуры и анодного поведения сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного церием, празеодимом и неодимом;
- исследование анодного поведения сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного церием, празеодимом и неодимом в кислой, нейтральной и щелочной средах при различных значениях pH;
- изучение кинетики окисления сплава  $Zn_{0.5}Al$  с различным содержанием церия, празеодима и неодима, в твёрдом состоянии;
- изучение фазового состава продуктов высокотемпературного окисления сплавов и их роли в механизме анодного окисления;
- изучение особенности оптимизация состава сплава посредством исследования его различные свойства;
- определение области применения разработанных новых сплавов как защитных покрытий в противокоррозионной практике.

**Объектом исследования** являлся гранулированный цинк (Ц0, х.ч.), алюминий (А7, тех.ч.), церий (Ce ЭО, х.ч.), празеодим (PrM-1, х.ч.), неодим (NM1, х.ч.) и лигатуры алюминия с церием (AlCe10), празеодимом (AlPr10) и неодимом (AlNd10) (по мас.%).

**Предметом исследования** является изучение влияния элементов подгруппы церия на анодное поведение и окисление сплава  $Zn_{0.5}Al$  в различных агрессивных 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 сплава  $Zn_{0.5}Al$  с церием, празеодимом и неодимом различной концентрации; исследование анодного поведения легированных тройных сплавов в различных коррозионно-активных средах; изучение влияния добавок церия, празеодима и неодима на кинетику окисления сплава  $Zn_{0.5}Al$ ; исследование микроструктуры и продуктов коррозии при высокотемпературном окислении тройных сплавов систем  $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr, Nd)$ .

**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 25 лет).

Изучение влияния церия, празеодима и неодима на анодное поведение и окисление сплава  $Zn_{0.5}Al$  выполнено с использованием оборудования SEM

(AIS2100); импульсного потенциостата ПИ-50.1.1; микроскопа LEITS ERGOLUX AMC; термогравиметрические весы; прибора ДРОН-2.0.

***Научная новизна исследований:***

- установлено закономерности в изменении коррозионных и электрохимических характеристиках сплавов систем Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr и Zn0.5Al-Nd в коррозионно-активных средах;
- показано смещение потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации указанных сплавов в положительную область значений;
- определено влияние легирующих добавок (Ce, Pr, Nd) на микроструктуру и анодное поведение сплава Zn0.5Al;
- установлено закономерности в изменении кинетических и энергетических характеристиках окисляемости твердых сплавов систем Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr и Zn0.5Al-Nd в атмосфере воздуха;
- определено фазовые составляющие продуктов высокотемпературного окисления сплавов и их роли в механизме анодного окисления;
- показано повышение анодной устойчивости сплава Zn0.5Al легированием церием, празеодимом и неодимом в агрессивных средах.

***Теоретические основы исследования*** заключается в установлении наиболее особо важные доказательные теоретические аспекты и закономерности изменения структуры, анодных характеристик, кинетических и энергетических параметров, анодной стойкости к высокотемпературному окислению и скорости коррозии сплава Zn0.5Al с различным содержанием элементов подгруппы церия.

***Практическая значимость исследования:***

- синтезированы новых тройных сплавов Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr и Zn0.5Al-Nd, содержащих различные добавки редкоземельного металла;
- установлены оптимальные концентрации (по 0.01÷0.1 мас.%) элементов подгруппы церия в сплаве Zn0.5Al, отличающиеся высокой коррозионной стойкостью;
- оптимальные составы новых синтезированных сплавов защищены 2 малыми патентами Республики Таджикистан (№ TJ 1079, 1081);
- равномерное покрытие стальной кабельных лотков с плотным слоем легированных Zn-Al сплавов приняты для внедрения на предприятии ООО «Нокили ТАлКо» г. Душанбе. Экономический эффект от использования защитного покрытия составляет 9,4 долларов США (12 сомон 70 дирам) на 1м<sup>2</sup> защищаемой поверхности изделий.

***Положения, выносимые на защиту:***

- опытные результаты микроструктурного и рентгеноспектрального анализов сплавов систем Zn0.5Al-Ce(Pr, Nd);
- экспериментальные результаты исследования анодного поведения тройных сплавов Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr и Zn0.5Al-Nd в коррозионно-активных средах HCl, NaCl и NaOH;
- экспериментальные результаты исследования кинетики окисления сплава Zn0.5Al, легированного церием, празеодимом и неодимом;

- опытные результаты физико-химического анализа продуктов окисления легированных тройных сплавов.

**Степень достоверности результатов.** Комплексные проведенные экспериментальные исследования по изучению анодного поведения и окисления сплава  $Zn_{0.5}Al$  с церием, празеодимом и неодимом и установление возможности повышения их анодной устойчивости в коррозионно-активных средах обоснованы и достоверны. Результаты исследований обсуждались на научных конференциях и публиковались в ведущих 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, 2, 3, 4 и 9. Разработанные сплавы на основе  $Zn_{0.5}Al$  с добавками элементов подгруппы церия, вследствие изучения их анодного поведения и окисления в условиях экспериментальных исследований, целесообразно проявляют существенные эксплуатационные свойства при опытно-промышленном испытании на предмет анодных защитных покрытий стальных изделий.

**Личный вклад соискателя** состоит в формулировке цели и задачи исследования, сборе и анализе литературных данных по теме диссертации, проведении экспериментов по изучению различных свойств сплавов цинка с алюминием и элементов подгруппы церия 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 (РТСУ) (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». РТСУ (Душанбе, 2021г.).

**Публикации по теме диссертации.** По теме диссертации опубликованы 8 статьи в рецензируемых научных журналах, рекомендуемых ВАК и 5 статей в материалах международных и республиканских конференций. Получено 2 малых патента Республики Таджикистан.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, общая характеристика работы, четырех глав, заключение, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 124 страницах компьютерного набора, включая 37 таблицы, 41 рисунок 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 «**Анодное поведение и окисление Zn-Al 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-Ce(Pr,Nd) и характеристики оксидных фаз. Обсуждены особенности анодного поведения и кинетики окисления Zn-Al сплавов в твёрдом и жидком состояниях, в различных коррозионно-активных средах. Рассмотрены области применения Zn-Al сплавов в качестве защитных покрытий. Выявлено, что без проведения комплексного экспериментального исследования, в частности исследования анодного поведения и окисления металлических сплавов в агрессивных средах, не всегда возможно конкретно рекомендовать их в качестве защитных покрытий углеродистых стальных или чугуновых изделий от коррозии. Широкое применение Zn-Al покрытий для защиты углеродистой стали и чугуна от коррозии обуславливается тем, что на сплаве-покрытие в коррозионной среде образуются защитные пленки из продуктов коррозии. Состав этих пленок зависит от типа покрытия (его состава) и от состава коррозионной среды. При этом обосновано выбор сплава Zn<sub>0.5</sub>Al с последующим его легированием церием, празеодимом и неодимом в качестве анодных защитных покрытий.

Во второй главе диссертации «**Объекты, приборы и принадлежности, методы экспериментального исследования**» проведены целенаправленные исследования по получению сплавов систем Zn<sub>0.5</sub>Al–Ce, Zn<sub>0.5</sub>Al–Pr и Zn<sub>0.5</sub>Al–Nd 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. Изучены состав, строение, структура и свойства сплавов микрорентгеноспектральным, потенциостатическим, металлографическим, рентгенофазовым и термогравиметрическим методами.

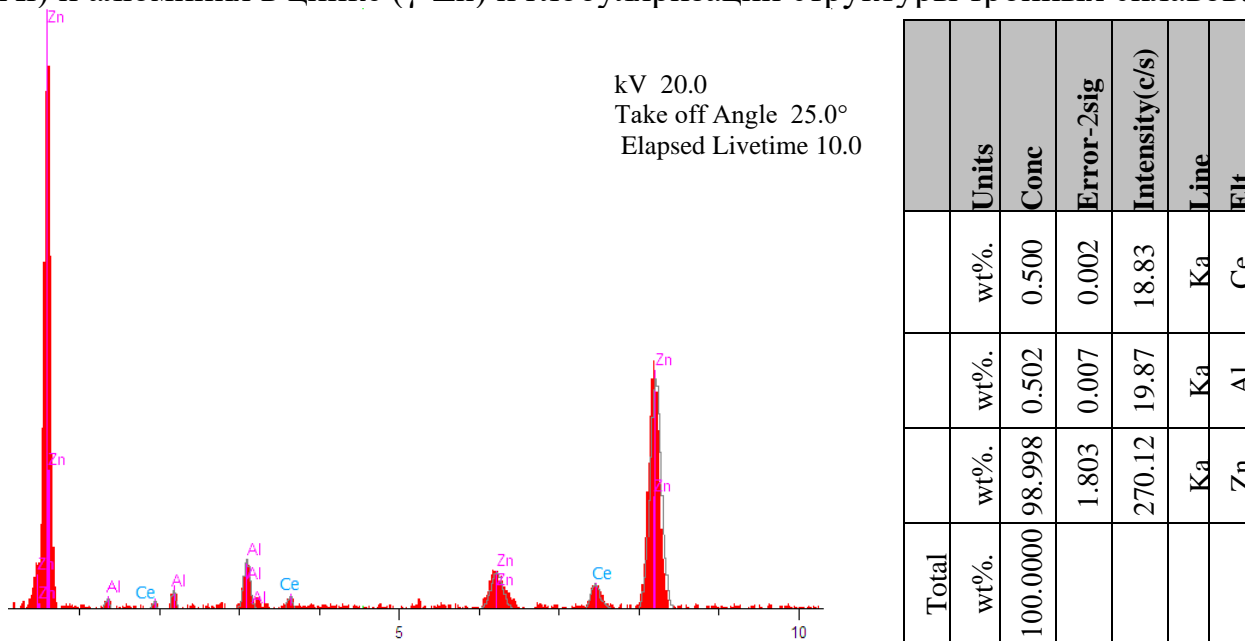
Сплавы для исследования были синтезированы в печи электрического сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 700÷850°C. Из полученных сплавов отливали в графитовую изложницу стержни диаметром 8 мм и длиной 140 мм. Перед исследованием торцевую часть образцов сплава зачищали наждачной бумагой, полировали, обезжировали, тщательно промывали спиртом и затем погружали в исследуемом электролите. Температура в ячейке поддерживали постоянно 20°C с помощью термостата МЛШ-8.

Элементный состав сплавов контролировался рентгеноспектральным микроанализом на сканирующем электронном микроскопе SEM серии AIS2100 (Южная Корея). Точность определения содержания легирующего компонента сплава составляла  $\pm 10^{-3}\%$  от измеренной величины. Результаты анализа свидетельствуют, что составы полученных сплавов практически соответствуют

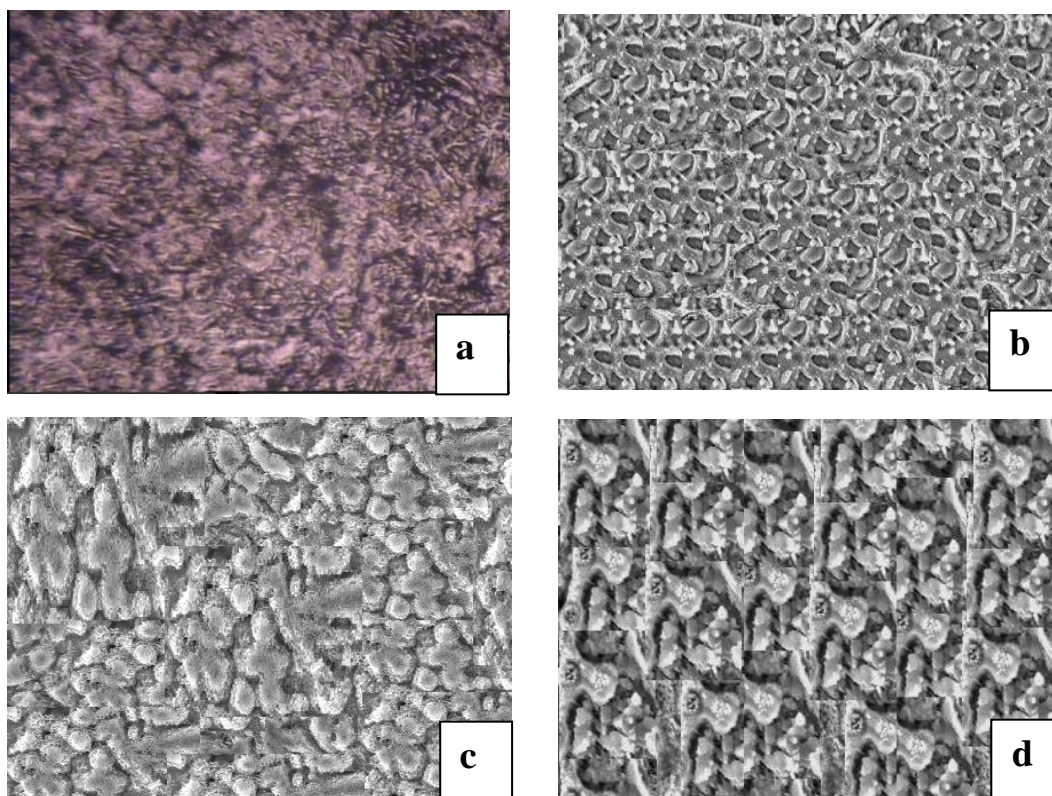


заданному соотношению ингредиентов сплава (рис. 1).

В качестве примера на рисунке 2 представлены изображений микроструктуры сплавов  $\times 500$ , снятые на электронном микроскопе ERGOLUX АМС. Добавки Ce, Pr и Nd оказывают модифицирующее влияние на структуру сплава  $Zn_{0.5}Al$ , то есть при содержании редкоземельного металла в сплаве наблюдается изменение размера зёрен твердых растворов цинка в алюминии ( $\alpha-Al$ ) и алюминия в цинке ( $\gamma-Zn$ ) и глобуляризации структуры тройных сплавов.



**Рисунок 1.** Интенсивность рентгеноспектральной линии компонентов сплава  $Zn_{0.5}Al$  с 0.5 мас.% церием.



**Рисунок 2.** Микроструктуры ( $\times 500$ ) сплава  $Zn_{0.5}Al$  (a) с 0.05 мас.% церием (b), празеодимом (c) и неодимом (d)

В третьей главе диссертации «Анодное поведение сплава Zn0.5Al, легированного церием, празеодимом и неодимом, в коррозионно-активных средах» приведены результаты влияния легирующих добавок элементов подгруппы церия на анодное поведение сплава Zn0.5Al в различных средах.

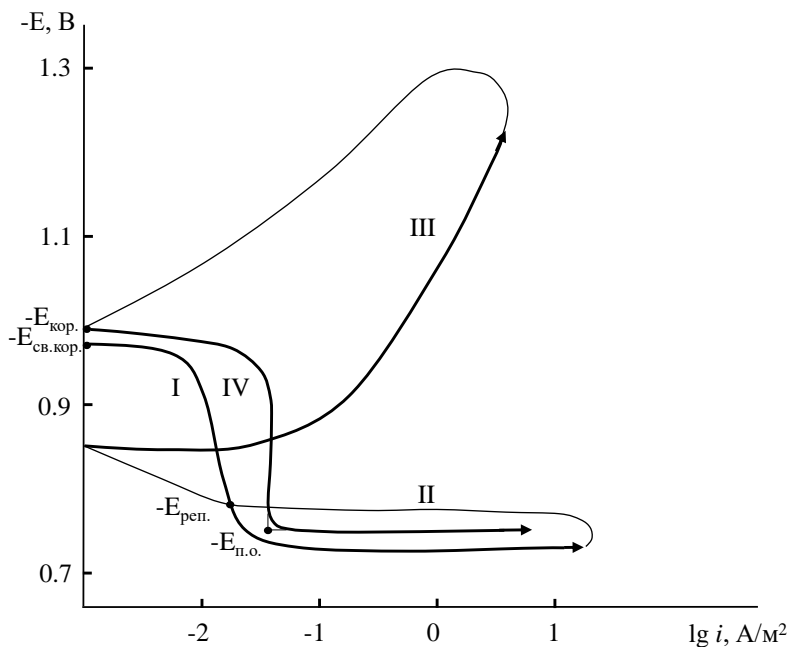
Потенциостатическое исследование влияния легирующих добавок церия, празеодима и неодима на анодное поведение сплава Zn0.5Al проводилось в кислых 0.001н.(pH=3), 0.01н.(pH=2), 0.1н.(pH=1) HCl, нейтральных 0.03-, 0.3- и 3%-ный NaCl (pH=6,8-7) и щелочных 0.001н.(pH=10), 0.01н.(pH=11), 0.1н.(pH=12) NaOH средах в потенциодинамическом режиме со скоростью развёртки потенциала 2мВ/с на потенциостате ПИ-50.1.1.

Результаты исследования показывают, что потенциал свободной коррозии ( $-E_{св.кор.}$ , В), как для сплава Zn0.5Al, так и для легированных элементами подгруппы церия сплавов (на примере церий, табл. 1), во времени смещается в положительную область, по мере выдержки в кислой, нейтральной и щелочной средах. Зафиксировано, что формирование защитного оксидного слоя завершается к 30 минут от начала погружения образцов сплавов в электролит, и мало зависит от их химического состава. С ростом концентрации церия (в пределах изученной концентрации 0.01÷1.0 мас.%) в сплаве Zn0.5Al наблюдается смещение потенциала свободной коррозии в положительную область значений. Подобная зависимость наблюдается во всех коррозионно-активных средах (табл. 1).

**Таблица 1.** Изменения потенциала (х.с.э.) свободной коррозии ( $-E_{св.кор.}$ , В) сплава Zn0.5Al с церием, во времени, в различных средах

Среда	Добавка Се в сплаве, мас.%	Время выдержки сплава, мин							
		1/3	2/3	1	5	15	30	45	60
0.01н HCl	-	1.123	1.122	1.117	1.115	1.111	1.110	1.110	1.110
	0.01	0.820	0.848	0.740	0.745	0.060	0.73	0.820	0.848
	0.05	0.865	0.893	0.777	0.788	0.061	0.74	0.865	0.893
	0.1	0.904	0.912	0.817	0.825	0.064	0.78	0.904	0.912
	0.5	0.920	0.938	0.836	0.843	0.070	0.85	0.920	0.938
	1.0	0.944	0.950	0.855	0.862	0.071	0.86	0.944	0.950
0.3% NaCl	-	1.035	1.034	1.033	1.031	1.023	1.007	1.007	1.007
	0.01	0.830	0.828	0.826	0.821	0.813	0.736	0.736	0.736
	0.05	0.863	0.863	0.862	0.859	0.847	0.780	0.780	0.780
	0.1	0.867	0.866	0.864	0.862	0.856	0.827	0.827	0.827
	0.5	0.898	0.897	0.896	0.892	0.882	0.860	0.860	0.860
	1.0	0.924	0.923	0.923	0.911	0.902	0.941	0.941	0.941
0.01н NaOH	-	1.056	1.055	1.050	1.050	1.049	1.048	1.048	1.048
	0.01	0.778	0.788	0.690	0.697	0.062	0.75	0.778	0.788
	0.05	0.823	0.830	0.735	0.744	0.063	0.77	0.823	0.830
	0.1	0.873	0.883	0.785	0.792	0.065	0.79	0.873	0.883
	0.5	0.928	0.938	0.840	0.848	0.072	0.88	0.928	0.938
	1.0	0.988	0.998	0.865	0.870	0.073	0.89	0.988	0.998

При исследованиях образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от стационарного потенциала, установившегося при погружении до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рис. 3, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении до потенциала  $-1300$  В (рис. 3, кривые II, III). Наконец, образцы поляризовали в положительном направлении (рис. 3, кривая IV), получив поляризационные кривые (на примере сплава  $Zn_{0.5}Al$  с церием, рис. 3), далее по анодным кривым определяли электрохимические потенциалы сплавов (табл. 2).



**Рисунок 3.** Потенциодинамические (2 мВ/с) анодные и катодные поляризационные кривые сплава  $Zn_{0.5}Al$ , содержащего 0.05 мас.% церия, в среде 0.1н электролита NaOH.  $E$ – потенциал (В),  $i$ – плотности тока ( $A \cdot m^{-2}$ ).

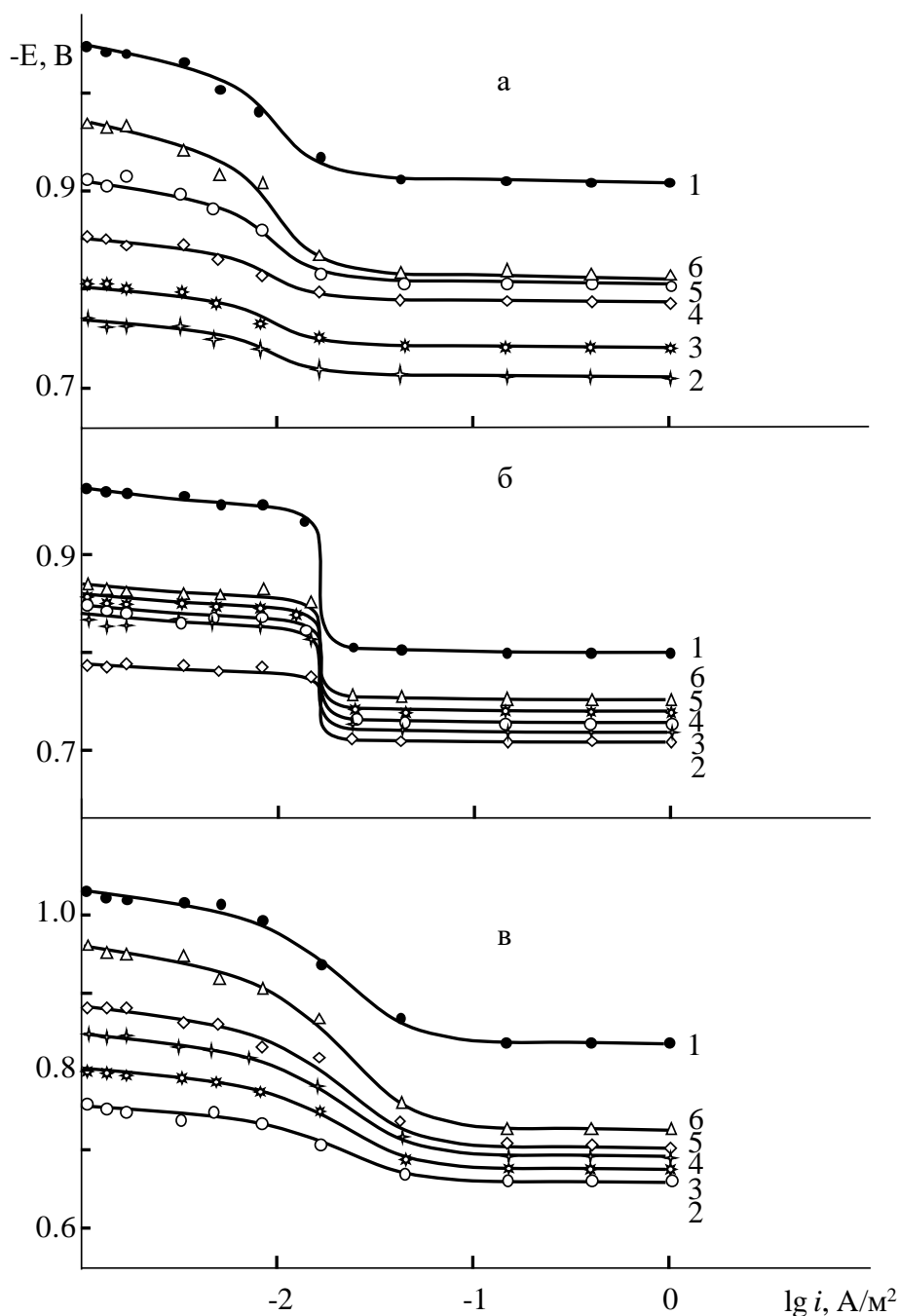
Оценка стойкости сплава  $Zn_{0.5}Al$  с элементами подгруппы церия к питтинговой коррозии может быть осуществлена путём сопоставления значений стационарных потенциалов свободной коррозии и питтингообразования в одних и тех же условиях исследований. Исследования свидетельствуют об улучшении коррозионной стойкости сплава  $Zn_{0.5}Al$  при легировании его церием, празеодимом и неодимом, то есть результаты показывают о способности сплавов к самозалечиванию возникающих в результате коррозии питтинговых поражений (табл. 1, 2).

Потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации исследованных сплавов по мере роста концентрации церия, празеодима и неодима (до 0.1 мас.%) в сплаве  $Zn_{0.5}Al$  смещаются в положительную область. Добавки легирующего компонента (более 0.1 мас.%) способствуют смещению данных потенциалов сплава  $Zn_{0.5}Al$  в области отрицательных значений. С ростом агрессивности исследуемой среды наблюдается снижение указанных электрохимических потенциалов. При переходе от сплавов с церием к празеодиму и неодиму анодные характеристики сплавов уменьшаются в коррозионно-активных средах HCl, NaCl, NaOH (табл. 2).

**Таблица 2.** Влияние добавок элементов подгруппы церия на анодные характеристики сплава Zn0.5Al, в коррозионно-активных средах

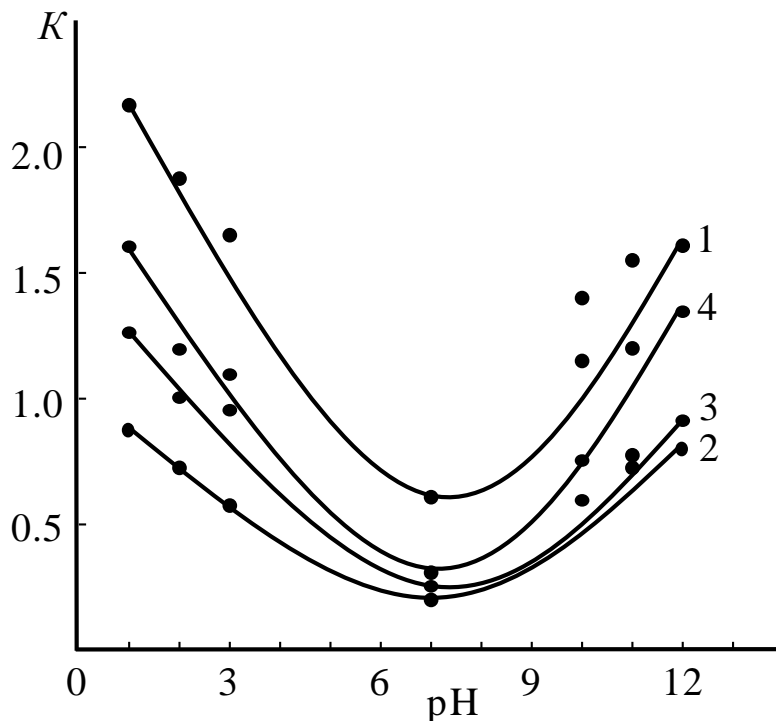
Среда	Легирующий компонент сплава, мас. %	Электрохимические потенциалы (хсэ), В				Скорость коррозии	
		-E <sub>св.кор.</sub>	-E <sub>кор.</sub>	-E <sub>п.о.</sub>	-E <sub>р.п.</sub>	$i_{кор.} \cdot 10^2$	К · 10 <sup>3</sup>
						А/М <sup>2</sup>	г/М <sup>2</sup> · ч
0.1н. HCl	Zn0.5Al (1)	1.190	1.195	1.030	1.036	0.178	2.17
	(1) + 0.01 Ce	0.900	0.905	0.790	0.775	0.072	0.88
	(1) + 0.01 Pr	0.942	0.951	0.888	0.898	0.104	1.27
	(1) + 0.01 Nd	0.953	0.960	0.900	0.906	0.105	1.28
	(1) + 0.1 Ce	0.935	0.945	0.857	0.865	0.075	0.91
	(1) + 0.1 Pr	0.965	0.970	0.915	0.926	0.112	1.36
	(1) + 0.1 Nd	0.975	0.980	0.941	0.954	0.112	1.36
	(1) + 1.0 Ce	0.980	0.985	0.925	0.938	0.081	0.99
	(1) + 1.0 Pr	0.995	1.000	0.946	0.959	0.123	1.50
	(1) + 1.0 Nd	1.008	1.022	0.981	0.999	0.123	1.50
3% NaCl	Zn0.5Al (2)	1.070	1.086	0.900	0.904	0.055	0.67
	(2) + 0.01 Ce	0.813	0.820	0.700	0.712	0.024	0.29
	(2) + 0.01 Pr	0.822	0.844	0.704	0.722	0.028	0.34
	(2) + 0.01 Nd	0.864	0.880	0.800	0.811	0.030	0.37
	(2) + 0.1 Ce	0.857	0.902	0.744	0.763	0.027	0.33
	(2) + 0.1 Pr	0.917	0.939	0.754	0.771	0.033	0.40
	(2) + 0.1 Nd	0.959	0.975	0.829	0.839	0.039	0.47
	(2) + 1.0 Ce	0.908	0.924	0.771	0.789	0.036	0.44
	(2) + 1.0 Pr	1.032	1.052	0.784	0.800	0.040	0.48
	(2) + 1.0 Nd	1.063	1.080	0.870	0.885	0.047	0.57
0.1н. NaOH	Zn0.5Al (3)	1.210	1.216	0.920	0.936	0.133	1.62
	(3) + 0.01 Ce	0.920	0.926	0.735	0.748	0.073	0.89
	(3) + 0.01 Pr	0.952	0.984	0.900	0.911	0.067	0.82
	(3) + 0.01 Nd	0.963	0.990	0.913	0.925	0.110	1.34
	(3) + 0.1 Ce	0.959	0.968	0.749	0.767	0.076	0.93
	(3) + 0.1 Pr	0.970	1.001	0.940	0.952	0.073	0.89
	(3) + 0.1 Nd	0.985	1.015	0.952	0.964	0.118	1.44
	(3) + 1.0 Ce	0.983	0.992	0.775	0.795	0.082	1.00
	(3) + 1.0 Pr	1.000	1.050	0.990	1.002	0.087	1.06
	(3) + 1.0 Nd	1.018	1.074	0.999	1.014	0.126	1.54

Анодные ветви потенциодинамических поляризационных кривых исследованных сплавов, на примере сплава Zn0.5Al с церием показывают как активную область растворения, так и пассивное состояние, что в целом характеризуют их коррозионную стойкость в различных средах (рис. 4). Положительное влияние церия на анодное поведение сплава Zn0.5Al не может объясняться только ростом истинной поверхности анода или уплотнением защитного фазового слоя оксидов малорастворимыми продуктами коррозии. Стойкость сплава Zn0.5Al также зависит от изменения и модифицирования его структуры при легировании третьим компонентом.



**Рисунок 4.** Анодные ветви потенциодинамических (2 мВ/с) поляризационных кривых сплава Zn0.5Al (1) с церием, мас. %: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5); 1.0 (6), в средах электролитов 0.001н HCl (а), 0.03% NaCl (б) и 0.001н NaOH (в).

Добавки легирующих элементов подгруппы церия уменьшают скорость коррозии сплава Zn0.5Al в 1,5–3 раза, соответственно в кислых, нейтральных и щелочных средах при различных значениях рН среды. При переходе от сплава Zn0.5Al к легированным неодимом сплавам, далее к легированным празеодимом и церием сплавам наблюдается снижение скорости коррозии исследованных сплавов, что коррелируется со свойствами элементов подгруппы церия (рис. 5). При легировании сплава Zn0.5Al с церием, празеодимом и неодимом увеличивается электрохимическая неоднородность, и его коррозионная стойкость определяется природой и количеством легирующих элементов.



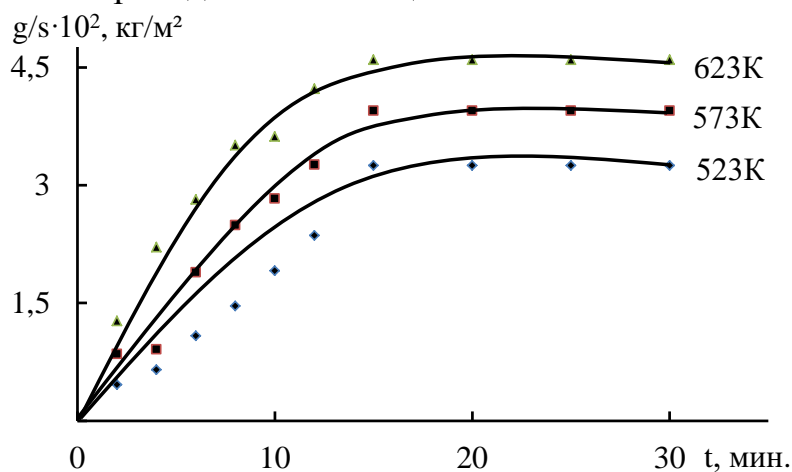
**Рисунок 5.** Зависимость скорости коррозии  $K \cdot 10^{-3} (\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1})$  сплава Zn0.5Al (1) с 0.01% церием (2), празеодимом (3) и неодимом (4) от рН среды.

Скорость коррозии сплавов, легированных элементами подгруппы церия в 1,5–3 раза меньше, чем сплава Zn0.5Al. Особенно, положительно влияют добавки церия и празеодима в пределах изученной концентрации, то есть повышают коррозионную стойкость исходного сплава в кислых, нейтральных и щелочных средах. Дальнейший рост концентрации (>0.1 мас.%) неодима несколько увеличивает скорость коррозии сплава Zn0.5Al. Такая зависимость наблюдается во всех исследованных средах (рис. 5).

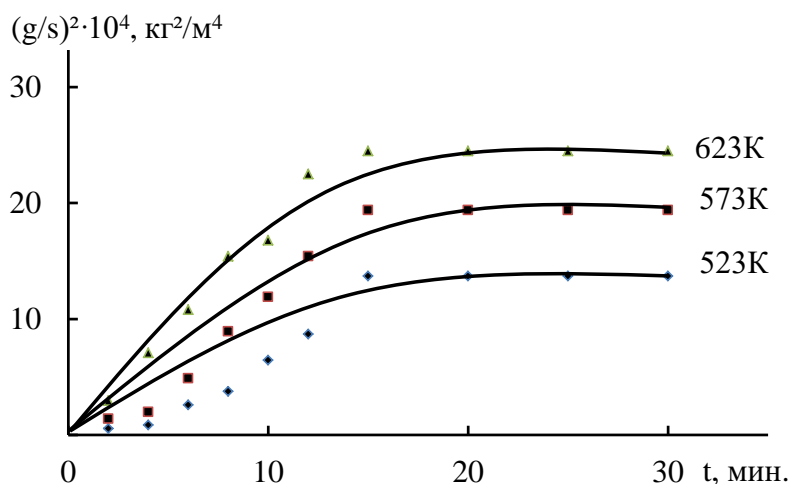
В целом, проведенные исследования показали, что добавки церия, празеодима и неодима в количествах 0.01-0.1 мас.% повышают анодную устойчивость сплава Zn0.5Al в коррозионно-активных средах. Анодные характеристики исследованных сплавов представлены по отношению к хлоридсеребряному электроду сравнения. Наибольшее увеличение коррозионной стойкости анодных сплавов наблюдалось при исследовании их в слабоагрессивных коррозионных средах.

**В четвертой главе** диссертации «**Кинетика высокотемпературного окисления сплава Zn0.5Al, легированного церием, празеодимом и неодимом, в твердом состоянии**» приведены результаты исследования влияния легирующих добавок элементов подгруппы церия на кинетику окисления сплава Zn0.5Al, в атмосфере воздуха.

Приведённые на рисунке 6 кинетические кривые процесса окисления на примере сплава Zn0.5Al с 0.01 мас.% церием, показывают, что процесс окисления в начальных стадиях протекает по линейному, далее к 12-15 мин по механизму гиперболы, о чём свидетельствует формирование защитной оксидной плёнки, которая заканчивается к 15 минутам взаимодействия с кислородом воздуха. Направление квадратичных кинетических кривых подчеркивает гиперболической характер механизма окисления исследуемых сплавов. Об этом свидетельствует непрямолинейный характер кривых в координатах  $(g/s)^2-t$  (рис. 7) и аналитические зависимости  $y = Kt^n$ , где  $n = 2 \div 4$  для изученных тройных сплавов (табл. 3). Рассчитанные из кинетических кривых значения истинной скорости окисления сплава Zn0.5Al с элементами подгруппы церия, на примере сплавов с церием в зависимости от температуры и состава исследованных сплавов приведены в таблице 4.



**Рисунок 6.** Кинетические кривые процесса окисления сплава Zn0.5Al, содержащего 0.01 мас.% церий.



**Рисунок 7.** Квадратичные кинетические кривые процесса окисления сплава Zn0.5Al, содержащего 1.0 мас.% церий.

**Таблица 3.** Результаты математической обработки кинетических кривых окисления сплава Zn0.5Al с элементами подгруппы церия

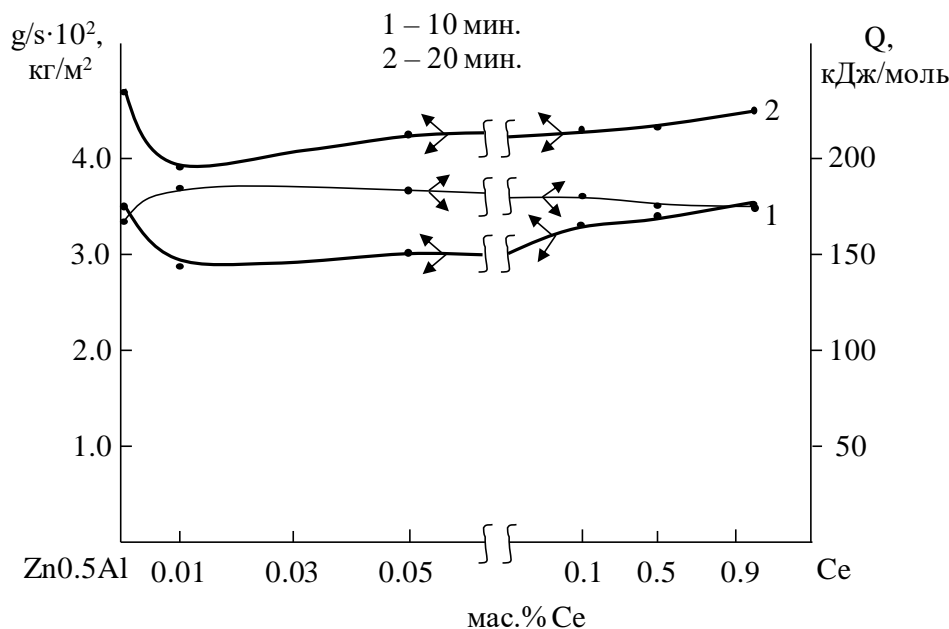
Добавки легирующего компонента в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Полиномы кинетических кривых окисления сплавов	Коэффициент корреляции, R
-	523	$y = -0.001x^4 - 0.001x^3 + 0.010x^2 - 0.176x$	0.987
	573	$y = -0.001x^4 - 0.001x^3 + 0.020x^2 - 0.471x$	0.985
	623	$y = -0.001x^4 - 0.001x^3 + 0.044x^2 - 0.786x$	0.981
1.0 Ce	523	$y = -0.001x^4 - 0.011x^3 + 0.237x^2 - 0.244x$	0.996
	573	$y = -0.001x^4 - 0.015x^3 + 0.268x^2 - 0.687x$	0.994
	623	$y = -0.001x^4 - 0.018x^3 + 0.307x^2 - 0.899x$	0.998
1.0 Pr	523	$y = -0.001x^4 - 0.021x^3 + 0.359x^2 - 0.330x$	0.997
	573	$y = -0.001x^4 - 0.023x^3 + 0.370x^2 - 0.759x$	0.995
	623	$y = -0.001x^4 - 0.024x^3 + 0.381x^2 - 0.968x$	0.998
1.0 Nd	523	$y = -0.001x^4 - 0.024x^3 + 0.272x^2 - 0.422x$	0.997
	573	$y = -0.001x^4 - 0.028x^3 + 0.338x^2 - 0.612x$	0.995
	623	$y = -0.001x^4 - 0.033x^3 + 0.354x^2 - 0.931x$	0.997

**Таблица 4** – Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплава Zn0.5Al с церием, в твердом состоянии

Добавки Ce 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
-	523	3.68	168.4
	573	3.91	
	623	4.11	
0.01	523	2.27	186.9
	573	2.48	
	623	2.66	
0.05	523	2.41	184.0
	573	2.63	
	623	2.87	
0.1	523	2.50	180.7
	573	2.73	
	623	2.91	
0.5	523	2.75	176.8
	573	2.93	
	623	3.02	
1.0	523	2.99	175.0
	573	3.11	
	623	3.26	



Динамику изменения истинной скорости окисления и эффективной энергии активации процесса окисления исследуемых сплавов можно наблюдать по изохроне окисления сплава Zn0.5Al с различным содержанием церия, который построен при температуре 573 К, соответствующий 10 и 20 минутам процесса окисления. Кривые процесса окисления характеризуются монотонным повышением скорости окисления и снижением энергии активации при содержании легирующего компонента в сплаве Zn0.5Al. Добавки церия в пределах изученной концентрации значительно уменьшают окисляемость сплава Zn0.5Al (рис. 8).

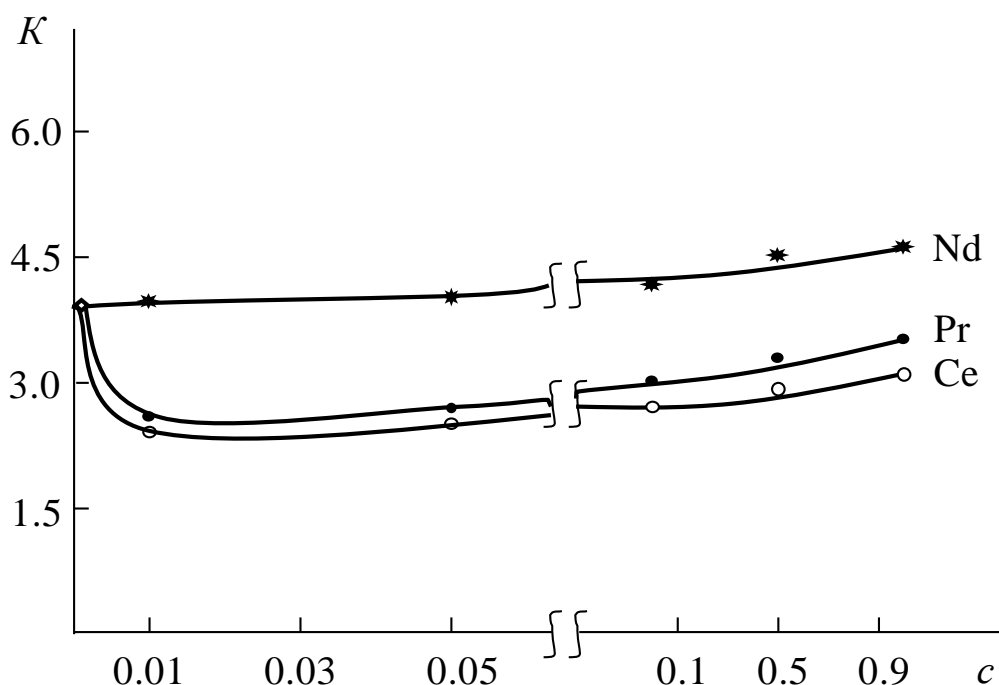


**Рисунок 8.** Изохроны окисления (573К) сплава Zn0.5Al с церием.

Для сравнительного анализа в обобщенном виде в таблице 5 и на рисунке 9 приведены результаты исследования влияния добавок элементов подгруппы церия на кинетику процесса высокотемпературного окисления сплава Zn0.5Al. Видно, что при переходе от сплавов легированных церием к сплавам с празеодимом, далее к сплавам с неодимом наблюдается повышение истинной скорости окисления исследованных сплавов, что сопровождается уменьшением эффективной энергии активации процесса окисления (табл. 5, рис. 9).

**Таблица 5.** Сравнение изменения эффективной энергии активации процесса окисления сплава Zn0.5Al от содержания элементов подгруппы церия

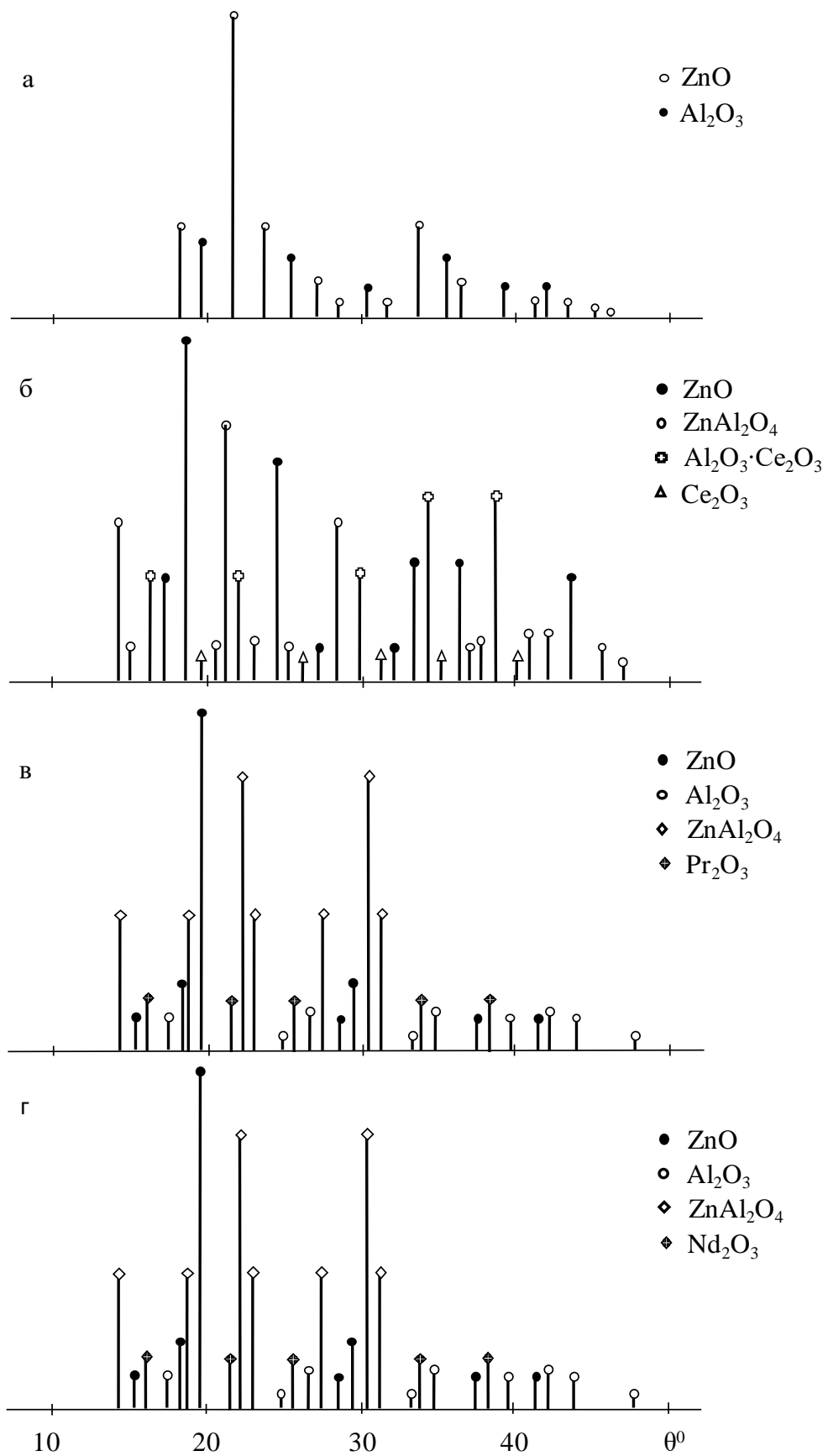
Температура окисления, К	Легирующий компонент сплава Zn0.5Al	Эффективная энергия активации, кДж/моль					
		Содержание добавки, мас.%					
		-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
523 573 623	-	168.4	-	-	-	-	-
	Ce	-	186.9	184.0	180.7	176.8	175.0
	Pr	-	183.6	180.3	177.4	172.0	169.8
	Nd	-	165.3	160.6	157.2	152.0	145.9



**Рисунок 9.** Сравнительный график изменения скорости окисления ( $K \cdot 10^4$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ ) сплава  $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$  от содержания ( $c$ , мас.%) элементов подгруппы церия при температуре 573К

В качестве примера на рисунке 10 представлены штрихрентгенограммы продуктов окисления сплавов. Выявлено, что при окислении исследованных сплавов образуются оксиды  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ce}_2\text{O}_3$ . Образование данных оксидов и взаимодействие между ними связано с многими факторами, в том числе с температурой, активностью компонентов сплава, свободной энергией и т.д. Также, если объем образующего оксида меньше, чем объем металла, то можно ожидать получения пористой плёнки. В данном случае процесс окисления протекает в диффузионном режиме. При диффузии атомов металла сквозь оксидную плёнку наружу зоной роста плёнки будет внешняя поверхность плёнки и, наоборот, если сквозь плёнку диффундирует, главным образом, кислород, то зоной роста плёнки будет граница между плёнкой и металлом.

В целом, термогравиметрическим методом исследовано взаимодействие сплава  $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ , легированного элементами подгруппы церия с кислородом воздуха при температурах 523, 573 и 623 К, в твердом состоянии. Определены кинетические и энергетические параметры процесса высокотемпературного окисления сплавов. Установлено, что окисление сплавов подчиняется гиперболическому закону, а истинная скорость имеет порядок  $10^{-4}$ . Показано, что добавки церия и празеодима в диапазоне концентрации 0.01-0.1 мас.% значительно уменьшают окисляемость сплава  $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ , а добавки неодима в пределах изученной концентрации (0.01-1.0%) несколько увеличивает его склонность к окислению.



**Рисунок 10.** Штрихрентгенограмма продуктов окисления сплава Zn<sub>0.5</sub>Al (а) с 0.1 мас.% церием (б), празеодимом (в) и неодимом (г)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### ***Основные научные результаты диссертации:***

1. Потенциостатическим методом исследовано анодное поведение сплава  $Zn_{0.5}Al$  с церием, празеодимом и неодимом. Добавки третьего компонента (0.01÷1.0% Ce, Pr, Nd) в 1.5–3 раза снижают скорость коррозии сплава  $Zn_{0.5}Al$  в различных средах HCl, NaCl и NaOH [1-А, 6-А, 8-А, 14-А].

2. Потенциалы коррозии, питтингообразования и репассивации легированных элементами подгруппы церия сплавов смещаются в положительном направлении. Переход в устойчивое пассивное состояние характерен для исследованных тройных сплавов [2-А, 7-А, 13-А].

3. Установлены закономерности изменения анодных характеристик сплава  $Zn_{0.5}Al$  от содержания элементов подгруппы церия и pH среды. Добавки церия, празеодима и неодима повышают коррозионной стойкости анодного сплава  $Zn_{0.5}Al$  в диапазоне pH среды от 3 до 10 [1-А, 6-А, 8-А].

4. Термогравиметрическим методом исследовано кинетики высокотемпературного окисления твердых сплавов систем  $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr,Nd)$ . Процесс окисления сплавов протекает по механизму гиперболы, а истинная скорость имеет порядок  $10^{-4}$  [3-А, 5-А, 12-А].

5. Добавки церия и празеодима снижают окисляемость сплава  $Zn_{0.5}Al$ . Введение неодима (0.01÷1.0%) в сплаве  $Zn_{0.5}Al$  приводит к росту кинетики окисления, что неэффективно влияет на окисляемости сплавов [3-А, 5-А];

6. Рентгенофазовым анализом изучено продукты окисления, образующихся на поверхности указанных сплавов. При окислении образуется простые  $ZnO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Ce_2O_3$ ,  $Pr_2O_3$ ,  $Nd_2O_3$  и сложные оксиды  $ZnAl_2O_4$  и  $Al_2O_3 \cdot Ce_2O_3$  [4-А, 11-А, 15-А].

7. Металлографическим анализом изучено микроструктуры сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного церием, празеодимом и неодимом. Легирование двойного сплава ( $Zn_{0.5}Al$ ) третьим компонентом (Ce, Pr, Nd) эффективно сказывается на изменении размера зеренной структуры сплавов [6-А, 7-А].

8. Разработанные оптимальные составы тройных сплавов защищены двумя патентами Республики Таджикистан (№ ТЖ 1079, 1081). Сплавы рекомендуются в качестве анодного покрытия для повышения стойкости изделия из углеродистой стали и чугуна к коррозии [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 производителей, занимающихся проблемами защиты стальных изделий и конструкций от коррозионного разрушения;

– разработанные новые сплавы  $Zn_{0.5}Al$  с церием, празеодимом и неодимом рекомендуются как анодных защитных покрытий для повышения коррозионной стойкости и увеличения срока службы углеродистых стальных и чугунных конструкций, изделий и сооружений.

## СПИСОК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

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

[1-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние добавок празеодима на анодное поведение цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , в кислой среде / Ф. Хамрокул, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. *РИНЦ.* – 2021. – № 3-4 (11-12). – С. 334-338.

[2-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние добавок неодима на анодное поведение цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , в щелочной среде / Ф. Хамрокул, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. *РИНЦ.* – 2021. – №2-2(87). – С. 46-52.

[3-А]. **Firuzi Hamroqul.** Effect of Neodymium and Erbium on the Kinetics Oxidation of  $Zn_{0.5}Al$  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.

[4-А]. Джобиров, У.Р. Кинетика окисления цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного иттрием и празеодимом / У.Р. Джобиров, **Фирузи Хамрокул**, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Узбекский химический журнал. *EBSCO.* – 2022. – № 3. – С. 9-14.

[5-А]. **Фирузи Хамрокул.** Кинетика окисления цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного неодимом и эрбием / Ф. Хамрокул, У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов // Вестник СПГУТД. Серия 1. Естественные и технические науки. *РИНЦ.* – 2022. – № 3. – С. 126-130.

[6-А]. **Firuzi Hamroqul.** Anodic behavior of  $Zn_{0.5}Al$  zinc alloy doped with neodymium / F. Hamroqul, U.R. Jobirov, I.N. Ganiev, Z.R. Obidov // UNIVERSUM – технические науки. *Crossref, Ulrichsweb.* – 2022. – № 3-6 (96). – С. 47-49.

[7-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние добавок празеодима на анодное поведение цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$  // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. *РИНЦ.* – 2022. – № 2/1 (96). – С. 75-79.

[8-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние добавок церия на анодное поведение цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , в нейтральной среде / Ф. Хамрокул, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. ТНУ. *РИНЦ.* – 2022. – № 1. – С. 164-169.

### *Изобретений:*

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

*Статьи, опубликованные в материалах конференций:*

[11-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние празеодима на кинетику окисления сплава  $Zn_{0.5}Al$  / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, 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. 15-16.

[12-А]. **Фирузи Хамрокул.** Окисление цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного неодимом, в твердом состоянии / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, А.В. Амонова // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2020. – С. 277-278.

[13-А]. **Фирузи Хамрокул.** Анодное поведение сплава  $Zn_{0.5}Al$  с церием, в среде  $NaCl$  / Ф. Хамрокул, 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. 66-70.

[14-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние неодима на анодное поведение цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , в щелочной среде / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2021. – С. 22-26.

[15-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние церия на окисляемость сплава  $Zn_{0.5}Al$  / Ф. Хамрокул, У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, 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. 208-209.

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

*Бо ҳуқуқи дастнавис*

УДК 669.76+542.943

**ФИРУЗИ ҲАМРОҚУЛ**

**РАФТОРИ АНОДӢ ВА ОКСИДШАВИИ**  
**ХӢЛАИ  $Zn_{0.5}Al$ , КИ БО СЕРИЙ, ПРАЗЕОДИМ**  
**ВА НЕОДИМ ҶАВҲАРОНИДАШУДА**

**АВТОРЕФЕРАТИ**

**диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии**  
**доктори 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:**

**Рузиев Цура Раҳимназарович,**  
доктори илмҳои техникӣ, профессор,  
профессори кафедраи химияи амалии  
Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

**Мирпочаев Хуршед Абдумуминович,**  
номзади илмҳои техникӣ, муовини  
директор оид ба татбиқи МИ «Пажухишгоҳи  
илмӣ-таҳқиқотии металлургӣ»-и  
ҶСК «Ширкати алюминийи тоҷик»

**Муассисаи пешбар:**

**Донишкадаи энергетикӣ Тоҷикистон**

Ҷимояи диссертатсия 1 феввали соли 2023, соати 10<sup>00</sup> дар ҷаласаи шурои диссертатсионии 6D.КOA–028 назди Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ баргузор мегардад. Суроға: 734042, ш. Душанбе, хиёбони академикҳо Раҷабовҳо, 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](http://www.ttu.tj) шинос шудан мумкин аст.

Автореферат « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ соли 2023 тавзеъ шудааст.

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

Бобоева А.Ҳ.



## МУҚАДДИМА

*Мубрамии мавзӯи таҳқиқот.* Мошинсозӣ, техникаи кайҳоннавардӣ, электроника ва техникаи ҳисоббарор, радиотехника ва энергетикаи ҳастаии муосир бештар аз ҳама сохтани маводҳои комил ва комилан ҳудуди васеи ҳосиятҳои истифодабарии махсусдоштаро тақозо менамояд. Дар байни ин маводҳо маводҳои ғайриорганикии гуруҳҳои гуногун – металӣ, оксидӣ, композитсионӣ ва табиоти функционалии гуногун нақши аввалро мебозанд. Махсусан металшиносӣ дар даҳсолаи охир бошиддат тараққӣ карда аст.

Суолоти муҳофизати конструкияҳо, иншоот ва маснуот аз пӯлодҳо ва ҷӯянҳои карбондор аз коррозия дар маводшиносии муосир калидӣ мебошад ва барои саноати металлургӣ, мошинсозӣ, асбобсозӣ, химиявӣ ва сохтмон аҳамияти калон дорад.

Барои сермаҳсулкунӣ ва мукамалкунонии равандҳои технологӣ, амалисозии тарҳҳои технологияи нав дар асоси дарёфтҳои охирини илм ва техника, сохтани конструкияҳои нави мошин ва дастгоҳҳои ҳосилноки сермаҳсули навҳои гуногуншакли ба химиявӣ устувор, маводҳои ба гармо мустаҳкам ва устуворро талаб менамояд. Ин маводҳо бояд мустаҳкамии хуби механикӣ ва коршоям барои корро дар ҳудуди васеи фишор ва ҳарорат дар шароити зери таъсири муҳитҳои коррозсионии гуногуншакли барангезанда дошта бошанд.

Дар техникаи муосир маводҳои баландҳароратиро, ки бо муқовимати зиёд ба оксидшавӣ фарқ мекунанд, мустаҳкамӣ ҳангоми кашиш ва ғайраҳо васеъ истифода мешаванд. Ин ва дигар талаботҳо бояд ҳангоми таҳқиқоти металшиносӣ ва металлургии рӯйпӯшҳои хӯлавии муҳофизатӣ ба инобат гирифта шавад. Дар он замон, ки хӯлаҳои багармомустаҳкам ва багармотобовари коркарднамуда муқовимати зиёд ба оксидшавиро надошта бошанд, вале дигар хусусиятҳои муҳими технологиро доранд.

*Дарҷаи таҳқиқи мавзӯи илмӣ.* Дар айни замон адабиёти тоҷик ва хориҷӣ бо якҷанд монографияҳо ва мақолаҳои арзишманд, ки ба гуруҳҳои алоҳидаи хӯлаҳои металии ҷавҳаронидашуда бахшида шудаанд, ғани гардидааст. Сохтори ҳастай ва электронии металҳо ва фазаҳои хӯлаҳои металӣ, феноменология ва механизми ҳастаии табдилоти фазавӣ, инчунин назарияи диффузия ва нақши сохтори ҳастай, нуқсонҳои панҷараи кристалӣ ва микросохторҳо дар ҳодисаҳои диффузионӣ баррасӣ шудааст. Асосан маводи назариявӣ ва таҷрибавии аслии оиди баҳамтаъсири коррозсионии хӯлаҳои конструсионӣ бо муҳитҳои коррозсионӣ оварда шудааст. Кинетикаи баҳамтаъсири онҳо навишта шудааст. Шартҳои асосии ҷавҳаронии хӯлаҳо бо мақсади камкунии суръати ҳалшавии онҳо дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъол баён шудааст. Ба қонуниятҳои бавучудоии сохторҳои кристалӣ ва микросохторҳо диққати махсус дода шудааст. Дар шумори фазаҳои баррасишаванда, пайвастагиҳои металӣ низ бо ҳосиятҳои бисёр хуби физикӣ-химиявӣ, гармофизикӣ, механикӣ, коррозсионӣ-электрохимиявӣ ва технологӣ мавқеи хос дорад. Қисми асосии таҳқиқот ба рафтори коррозсионии маводи

металл дар муҳитҳои гуногуни коррозсионӣ-фаъол бахшида шудааст. Барои ҳар як муҳити коррозсионӣ хусусияти рафтори коррозсионии мавод ва соҳаи истифодабарии онҳо дода шудааст. Хушнудона ихтоси васеи муҳитҳои коррозсионӣ, ҳулаҳои металлӣ, шароитҳои истифодабарии онҳо ва соҳаҳои истифодабарӣ дар ҳамгирӣ бо қонуниятҳои асосии равандҳои коррозсионӣ ба мутахассисон имкон медиҳад, ки интихоби дурусти ҳула ҳамчун рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ ҳангоми сохтани техникаи нав баён шудааст.

Техникаи муосир талаботҳои авҷгирифтаро ба сифат ва ҳосиятҳои ҳулаҳои металлӣ, инчунин мустаҳкамии чӯзҳои аз онҳо сохташударо нинишон медиҳад. Ҳулаҳои нави мураккаб беист сохта мешаванд, речаҳои технологии мавҷуда ва нав коркард карда мешаванд, ки ҳосилкунии ҳосиятҳои додашударо таъмин менамояд. Ин ҳулаҳо бояд муқовимати баландро ба оксидшавӣ зоҳир намуда, маснуоти номбаршударо аз коррозия муҳофизат намоянд. Дар айнаи замон ҳулаҳои Zn-Al ба сифати рӯйпӯшҳои муҳофизатии пӯлоди карбондор васеъ истифода мебаранд.

Маводҳои олий ва идеалии конструксионӣ мавҷуд нест, бинобар ин вазифаи асосии таҳқиқотчиён ин гузаронидани санҷишҳои озмоишгоҳӣ барои аниқкунии маводи дурнамои муосир ва баъдан таҳқиқоти устувории коррозсионии онҳо дар шароити таҷрибавӣ барои муайянкунии тағйироти миқдории ҳосиятҳои номбаршудаи ин маводҳо аз рӯйи вақт мебошад. Дарёфти натиҷаҳо зимни гузаронидани санҷишҳои бисёр мушкил ва таҳқиқоти маълумотҳои миқдорӣ имконият медиҳанд, ки аз маводи дурнамои муосир беҳтаринаш интихоб карда шавад, ки ҳосиятҳои қобилияти кориашро ва маснуотро дар шароитҳои гуногун таъмин намояд. Ингуна кор хеле намоён хавфи техникаи истифодабарии маводи пешниҳодменамударо дар истифодабарӣҳои мақсаднок кам мекунад, вале онро пурра бартараф карда наметавонад. Танҳо дар натиҷаи таҷрибагузаронии истифодабарии саноатӣ мустаҳкамии маводи коркардшударо муайян кардан мумкин аст.

Дар таҳқиқоти мазкур диққати махсус дода шудааст, ки ҳулаҳои нави анодии ба коррозия устувори руҳ бо алюминий ва металлҳои нодирзаминии зерғуруҳи серий ҳамчун рӯйпӯшҳои муҳофизатии маснуот ва конструкцияҳо аз пӯлоди карбондор коркард карда шаванд. Барои ин гузаронидани таҳқиқоти комплекси рафтори анодӣ ва оксидшавии ҳулаҳо дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъол зарур аст.

***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** бо омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда ва коркарди таркиби муносиби хӯлаҳо ҳамчун рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатӣ барои баландбардории устувории маснуот, иншоот ва конструкцияҳои пӯлодии карбондор ба коррозия хотима меёбад.

### **Вазифаҳои таҳқиқот:**

- омӯзиши таркиби химиявӣ, микросохторҳо ва рафтори анодии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда;
- таҳқиқоти рафтори анодии анодии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда дар муҳитҳои кислотагӣ, нейтралӣ ва ишқорӣ ҳангоми қиматҳои гуногуни pH;
- омӯзиши кинетикаи оксидшавии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо миқдорҳои гуногуни серий, празеодим ва неодим дар ҳолати сахт;
- омӯзиши таркиби фазавии маҳсули оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳо ва нақши онҳо дар механизми оксидшавии анодӣ;
- омӯзиши моҳияти муносибкунии таркиби хӯла дар натиҷаи таҳқиқоти ҳосиятҳои гуногуни он;
- муайянкунии соҳаҳои истифодабарии хӯлаҳои нави коркардшуда ҳамчун рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ дар амалияи зиддикоррозионӣ.

**Объекти таҳқиқот** ин руҳи гранулшакл (Ц0, т.х.), алюминий (А7, т.тех.), серий (Це ЭО, т.х.), празеодим (ПрМ-1, т.х.), неодим (НМ1, т.х.) ва лигатураҳои алюминий бо серий (AlCe10), празеодим (AlPr10) ва неодим (AlNd10) (%-и вазнӣ) мебошанд.

**Мавзӯи таҳқиқот** ин омӯзиши таъсири элементҳои зергурӯҳи серий ба рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  дар муҳитҳои гуногуни барангезанда мебошад.

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

**Марҳилаҳои таҳқиқот.** Таҳқиқоти диссертсионӣ дар давраи солҳои 2020-2023 аз рӯйи марҳилаҳои зерин анҷом дода шудааст: ҳосилкунии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо консентратсияи гуногуни серий, празеодим ва неодим; таҳқиқоти рафтори анодии хӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи сечанда дар муҳитҳои гуногуни коррозионӣ-фаъол; омӯзиши таъсири иловаҳои серий, празеодим ва неодим ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ ; таҳқиқоти микросохторҳо ва маҳсули коррозия ҳангоми оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳои сечандаи системаҳои  $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr,Nd)$ .

**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 25 сол).

Омӯзиши таъсири серий, празеодим ва неодим ба рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо истифодабарии таҷҳизоти SEM (AIS2100); потенциостати импульсии ПИ-50.1.1; микроскопи LEITS ERGOLUX AMC;

тарозуҳои термогравиметрӣ ва асбоби ДРОН-2.0 гузаронида шудааст.

***Навгониҳои илмӣ таҳқиқот:***

- қонуният дар тағйирёбии хусусиятҳои коррозсионӣ ва электрохимиявӣ хӯлаҳои системаҳои Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr ва Zn0.5Al-Nd дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъол аниқ карда шудааст;
- майлдиҳии потенциалҳои коррозсионӣ, питтингҳосилкунӣ ва репассивии хӯлаҳои ишорашуда ба самти киматҳои мусбӣ нишон дода шудааст;
- таъсири иловаҳои чавҳаронӣ (Ce,Pr,Nd) ба микросохтор ва рафтори анодии хӯлаи Zn0.5Al муайян карда шудааст;
- қонуният дар тағйирёбии хусусиятҳои кинетикӣ ва энергетикӣ хӯлаҳои сахти системаҳои Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr ва Zn0.5Al-Nd дар муҳити ҳаво аниқ карда шудааст;
- фазаҳои ташкилкунандаи маҳсули оксидшавӣ баландҳароратии хӯлаҳо ва нақши онҳо дар механизми оксидшавӣ анодӣ муайян карда шудааст;
- баландшавии устувории анодии хӯлаи Zn0.5Al зимни чавҳаронии он бо серий, празеодим ва неодим дар муҳитҳои барангезанда нишон дода шудааст.

***Асосҳои назариявӣ таҳқиқот*** дар аниқкунии бештар муҳими махсуси ҷанбаҳои исботии назариявӣ ва қонунияти тағйирёбии сохторҳо, хусусиятҳои анодӣ, нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ, устувории анодӣ ба оксидшавӣ баландҳароратӣ ва суръати коррозияи хӯлаи Zn0.5Al бо микдорҳои гуногуни элементҳои зергуруҳи серий хотима меёбад.

***Аҳамияти амалии таҳқиқот:***

- хӯлаҳои нави сечандаи Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr ва Zn0.5Al-Nd, ки иловаҳои гуногуни метали нодирзаминӣ доранд, ҳосил карда шудааст;
- концентратсияҳои муносиби элементҳои зергуруҳи серий (дар алоҳидагӣ 0.01÷0.1%-и вазн) дар хӯлаи Zn0.5Al аниқ карда шудааст, ки бо тобоварии баланд ба коррозия фарқ мекунад;
- таркибҳои муносиби хӯлаҳои нави коркардшуда бо 2 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (ТJ №1079, 1081) ҳифз карда шудааст.
- рӯйпӯшкунӣ якхелаи новаҳои ноқилии пӯлодӣ бо қабати зич чавҳаронидашудаи хӯлаҳои Zn-Al барои истифодабарӣ дар корхонаи ҚДММ “Ноқили ТАЛКО” ш.Душанбе қабул карда шудааст. Фоидаи иқтисодӣ аз истифодабарии рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ дар 1м<sup>2</sup> сатҳи ҳифзмакардашудаи маснуот 9,4\$ (12 сомони 70 дирам)-ро ташкил дод (санади тадбиқ мавҷуд аст).

***Нуктаҳои ба ҷимоя пешниҳодшаванда:***

- натиҷаҳои таҳлили рентгеноспектралӣ ва микросохторҳои хӯлаҳои системаҳои Zn0.5Al-Ce(Pr,Nd);
- натиҷаҳои санҷиши таҳқиқоти рафтори анодии хӯлаҳои сечандаи Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr ва Zn0.5Al-Nd дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъоли HCl, NaCl ва NaOH;
- натиҷаҳои санҷиши таҳқиқоти кинетикаи оксидшавӣ хӯлаи Zn0.5Al, ки бо серий, празеодим ва неодим чавҳаронидашуда;

- натиҷаҳои таҷрибавии таҳлили физикӣ-химиявии маҳсули оксидшавии хӯлаҳои ҷавҳаронидашудаи сечанда.

**Дарҷаи эътимоднокии натиҷаҳо.** Таҳқиқоти санҷишии комплекси гузаронидашуда оиди омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо серӣ, празеодим ва неодим ва аниққунии имконоти баландбардории устувории анодии онҳо дар муҳитҳои гуногуни коррозионӣ-фаёл асоснок карда шудааст ва эътимоднок аст. Натиҷаҳои таҳқиқотҳо дар конфронсҳои илмӣ муҳокима карда шуда, дар маҷаллаҳои бонуфузи тақрибӣ нашр карда шудааст.

**Мубоқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.** Рисолаи диссертатсионӣ ба шарҳи ихтисоси 6D071000 – бахши илм ва техника мутобиқат 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 рӯи бандҳои 1, 2, 3, 4 ва 9 мутобиқат мекунад. Хӯлаҳои коркардшуда дар асоси  $Zn_{0.5}Al$  бо иловаҳои элементҳои зергурӯҳи серӣ дар натиҷаи омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии онҳо дар шароити таҳқиқоти санҷишӣ мақсаднок хосиятҳои муҳими истифодабариро ҳангоми санҷиши таҷрибавӣ-саноатӣ ба сифати рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатии маснуоти пӯлодӣ зоҳир менамоянд.

**Саҳми шахсии доктараб** аз тасвияти мақсад ва вазифаҳои таҳқиқот, ҷамъоварӣ ва таҳлили маълумоти адабиёт аз рӯи мавзӯи диссертатсия, гузаронидани таҷрибаҳо оиди омӯзиши хосиятҳои гуногуни хӯлаҳои руҳ бо алюминий ва элементҳои зергурӯҳи серӣ ва коркарди онҳо, тасвияти ҳулосаҳои 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, соли 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 рӯи мавзӯи диссертатсия.** Аз рӯи мавзӯи диссертатсия 8 мақола дар маҷаллаҳои тақрибии тавсиянамудаи КОА ва 5 мақола дар маводи конфронсҳои байналмилалӣ ва ҷумҳуриявӣ нашр карда шудааст. 2 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон дарёфт карда шудааст.

**Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия.** Рисолаи диссертатсионӣ аз муқаддима, тавсифи умумии таҳқиқот, чор боб, ҳулоса, рӯйхати адабиёт ва замима иборат аст. Диссертатсия дар 124 саҳифаи ҳуруфчинии компютерӣ баён карда шудааст, ки дорои 37 ҷадвал, 41 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 **«Рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаҳои Zn-Al ва рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ дар асоси онҳо»** дорои шарҳи адабиёт аст, ки дар он таҳлили муфассал оиди сохторхосилкунии хӯлаҳо дар системаҳои Zn-Al, Al-Zn-Ce(Pr,Nd) ва хусусиятҳои фазаҳои оксидӣ анҷом дода шудааст. Моҳияти рафтори анодӣ ва кинетикаи оксидшавии хӯлаҳои Zn-Al дар ҳолатҳои сахт ва моеъ, дар муҳитҳои гуногуни коррозсионӣ-фаъол муҳокима шудааст. Соҳаҳои истифодабарии хӯлаҳои Zn-Al ба сифати рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ баррасӣ шудааст. Аниқ карда шудааст, ки бе гузаронидани таҳқиқоти комплекси таҷрибавӣ, аз ҷумла таҳқиқоти рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаҳои металлӣ дар муҳитҳои барангезанда, на ҳамеша имконпазир аст, ки мушаххасан хӯлаҳо ба сифати рӯйпӯшҳои муҳофизатии маснуоти пӯлодии карбондор ё чӯянӣ аз коррозия пешниҳод шаванд. Истифодабарии васеи рӯйпӯшҳои Zn-Al барои муҳофизати пӯлоди карбондор ва чӯян аз коррозия бо он шарҳ дода мешавад, ки дар муҳити коррозсионӣ дар сатҳи хӯла-рӯйпӯш пардаҳои муҳофизатӣ аз маҳсули коррозия ҳосил мешаванд. Таркиби ин пардаҳо аз намуди рӯйпӯш (таркиби он) ва аз таркиби муҳити коррозсионӣ вобаста аст. Аз ин ҷо, интихоби хӯлаи Zn<sub>0.5</sub>Al бо ҷавҳаронидани баъди он бо серий, празеодим ва неодим ба сифати рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатӣ асоснок карда шудааст.

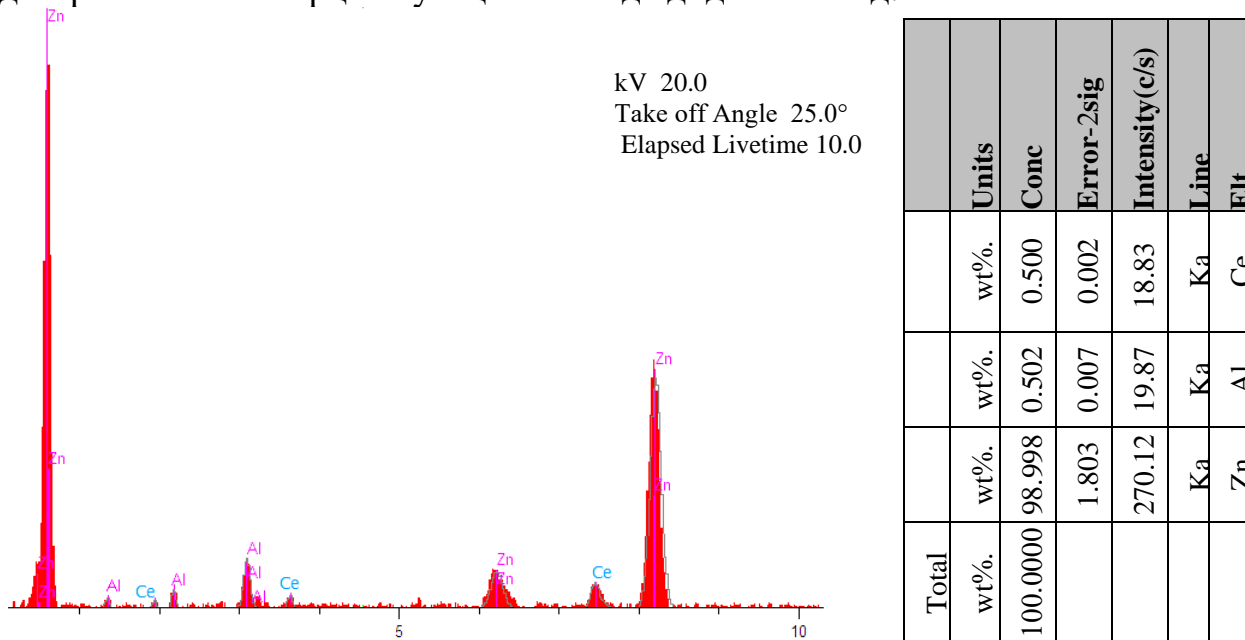
Дар боби дуюми диссертатсия **«Объектҳо, асбобҳо ва лавозимот, методҳои таҳқиқоти эксперименталӣ»** таҳқиқоти мақсаднок оиди ҳосилкунии хӯлаҳои системаҳои Zn<sub>0.5</sub>Al–Ce, Zn<sub>0.5</sub>Al–Pr ва Zn<sub>0.5</sub>Al–Nd дар натиҷаи синтез ва таҳлили таркиби химиявии хӯлаҳо гузаронида шудааст. Қонуниятҳои 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 омӯхта шудааст.

Хӯлаҳо барои таҳқиқот дар кӯраи муқовимати электрикии намуди СШОЛ дар ҳудуди ҳарорати 700–850°C ҳосил карда шуд. Аз хӯлаҳои ҳосилнамуда, намунаҳоро дар қолиби графитӣ бо андозаҳои диаметр – 8 мм ва дарозӣ – 140 мм рехтагарӣ намудем. Пеш аз таҳқиқот қисмати ғуллаҳои намунаҳои хӯларо бо қоғаи сунбод тоза намуда, сайқал дода, беравған намуда, бодикқат бо спирт шӯста ва баъдан ба электролити таҳқиқотмешуда ворид намудем. Ҳарорат дар ячейка бо ёрии термостати МЛШ-8 доимӣ 20°C нигоҳ дошта шуд.

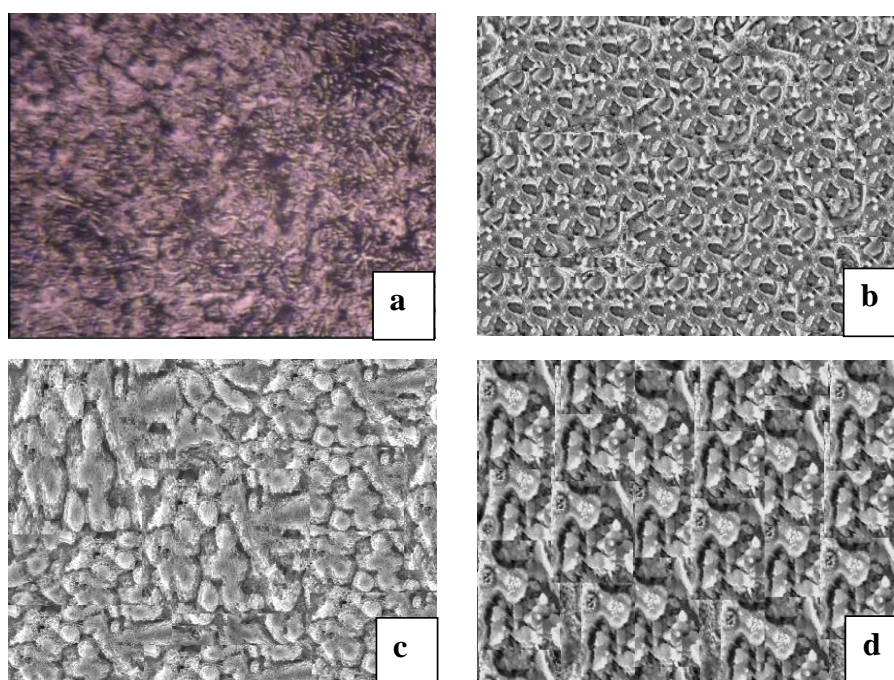
Таркиби элементии хӯлаҳо бо таҳлили микрорентгеноспектралӣ дар микроскопи тасвирбардори электронии SEM навъи AIS2100 (Кореяи ҷанубӣ) назорат карда шуданд. Саҳеҳии муайянкунии миқдори компонентҳои ҷавҳаронии хӯла аз бузургҳои ченкунӣ  $\pm 10^{-3}\%$  –ро ташкил дод. Натиҷаҳои

таҳлил шаҳодат медиҳанд, ки таркибҳои хӯлаҳои ҳосилнамуда амалан бо таносуби таркибҳои додасудаи хӯла мувофиқат менамоянд (расми 1).

Ба сифати мисол дар расми 2 тасвири микросохторҳои хӯлаҳо  $\times 500$ , ки дар микроскопи электронии ERGOLUX AMC аксбардорӣ шудааст. Иловаҳои Ce, Pr ва Nd ба сохтори хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  таъсири дигаргункунӣ мерасонанд, яъне ҳангоми мавҷудияти метали нодирзаминӣ дар хӯла тағйирёбии андозаи донаҳои маҳлулҳои саҳти руҳ дар алюминий ( $\alpha-Al$ ) ва алюминий дар руҳ ( $\gamma-Zn$ ) ва дигаршаклии сохторҳои хӯлаҳои сечанда дида мешавад.



**Расми 1.** Шиддатнокии ҳатҳои рентгеноспектралии компонентҳои хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо 0.5%-и вазнии серий.



**Расми 2.** Микросохторҳои ( $\times 500$ ) хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  (a) бо 0.05%-и вазнии серий (b), празеодим (c) ва неодим (d).

Дар боби сеюми диссертатсия «**Рафтори анодии хӯлаи Zn0.5Al, ки бо серий, празеодим ва неодим чавҳаронидашуда, дар муҳитҳои коррозионӣ-фаъол**» натиҷаҳои таъсири иловаҳои чавҳаронии элементҳои зергурӯҳи серий ба рафтори анодии хӯлаи Zn0.5Al дар муҳитҳои гуногун оварда шудааст.

Таҳқиқоти потенциостатикии таъсири иловаҳои серий, празеодим ва неодим ба рафтори анодии хӯлаи Zn0.5Al дар муҳитҳои кислотагӣ 0.001н.(pH=3), 0.01н.(pH=2), 0.1н.(pH=1) HCl, нейтралӣ 0.03-, 0.3-, 3%-и NaCl (pH=6,8-7) ва ишқорӣ 0.001н.(pH=10), 0.01н.(pH=11), 0.1н.(pH=12) NaOH дар речаи потенциодинамикӣ бо суръати тобиши потенциал 2 мВ/с дар потенциостати ПИ-50.1.1 гузаронида шудааст.

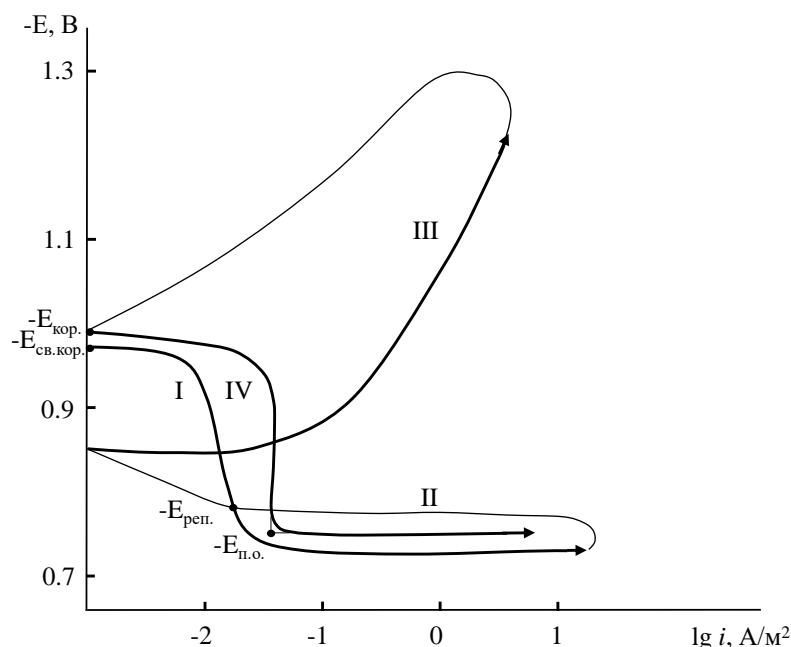
Натиҷаҳои таҳқиқот нишон медиҳанд, ки потенциали озоди коррозия (-E<sub>корр.оз.</sub>, В) чӣ барои хӯлаи Zn0.5Al ва чӣ барои хӯлаҳои бо элементҳои зергурӯҳи серий чавҳаронидашуда (дар мисоли серий, чадвали 1) аз рӯйи вақт ба самти мусбат майл менамояд, яъне ҳангоми нигоҳдорӣ дар муҳитҳои кислотагӣ, нейтралӣ ва ишқорӣ. Қайд карда шудааст, ки бавучудоии қабати оксидии муҳофизатӣ аз аввали воридкунии намунаҳои хӯла ба электролит дар 30 дақиқа ба охир мерасад ва аз таркиби химиявии онҳо кам вобаста аст. Бо афзоиши консентратсияи серий (дар ҳудуди консентратсияи омӯхташуда 0.01÷1.0%-и вазнӣ) дар хӯлаи Zn0.5Al майлдиҳии потенциали озоди коррозия ба самти мусбӣ қиматҳо дида мешавад. Ҳамингуна вобастагӣ дар ҳама муҳитҳои коррозионӣ-фаъол ишқорӣ таҳқиқшуда мушоҳида шудааст (ҷадвали 1).

**Ҷадвали 1** – Тағйирёбии потенциали (э.х.н.) коррозияи озоди (-E<sub>корр.оз.</sub>, В) хӯлаи Zn0.5Al бо серий аз вақти нигоҳдорӣ дар муҳитҳои гуногун

Муҳит	Иловаҳои Се дар хӯла, %-и вазн	Вақти нигоҳдории хӯла, дақиқа							
		1/3	2/3	1	5	15	30-40	45	60
0.01н HCl	-	1.123	1.122	1.117	1.115	1.111	1.110	1.110	1.110
	0.01	0.820	0.848	0.740	0.745	0.060	0.73	0.820	0.848
	0.05	0.865	0.893	0.777	0.788	0.061	0.74	0.865	0.893
	0.1	0.904	0.912	0.817	0.825	0.064	0.78	0.904	0.912
	0.5	0.920	0.938	0.836	0.843	0.070	0.85	0.920	0.938
	1.0	0.944	0.950	0.855	0.862	0.071	0.86	0.944	0.950
0.3% NaCl	-	1.035	1.034	1.033	1.031	1.023	1.007	1.007	1.007
	0.01	0.830	0.828	0.826	0.821	0.813	0.736	0.736	0.736
	0.05	0.863	0.863	0.862	0.859	0.847	0.780	0.780	0.780
	0.1	0.867	0.866	0.864	0.862	0.856	0.827	0.827	0.827
	0.5	0.898	0.897	0.896	0.892	0.882	0.860	0.860	0.860
	1.0	0.924	0.923	0.923	0.911	0.902	0.941	0.941	0.941
0.01н NaOH	-	1.056	1.055	1.050	1.050	1.049	1.048	1.048	1.048
	0.01	0.778	0.788	0.690	0.697	0.062	0.75	0.778	0.788
	0.05	0.823	0.830	0.735	0.744	0.063	0.77	0.823	0.830
	0.1	0.873	0.883	0.785	0.792	0.065	0.79	0.873	0.883
	0.5	0.928	0.938	0.840	0.848	0.072	0.88	0.928	0.938
	1.0	0.988	0.998	0.865	0.870	0.073	0.89	0.988	0.998



Ҳангоми таҳқиқот намунаҳоро потенциодинамикӣ аз потенциали доимӣ ба самти мусбат поляризиатсия намудем, ки хангоми воридкунӣ ба электролит то зуд афзоиши ҷараёни электрикӣ дар натиҷаи пिटтингҳосилкунӣ аниқ гардид (расми 3, қачхати I). Баъдан намунаҳоро ба самти баракс то потенциали 1300 В (расми 3, қачхатҳои II, III) поляризиатсия намудем. Дар охир, намунаҳоро ба самти мусбат (расми 3, қачхати IV) поляризиатсия намуда, қачхатҳои поляризиатсионии хӯлаҳоро ҳосил намуда (дар мисоли хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо серий, расми 3), баъдан аз рӯйи қачхатҳои анодӣ потенциалҳои электрохимиявии хӯлаҳоро муайян намудем.



**Расми 3.** Қачхатҳои анодӣ ва катодии поляризиатсионии потенциодинамикӣ ( $2 \text{ мВ/с}$ ) хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо  $0.05\%$  серий дар муҳити  $0.1\text{н}$  электролити  $NaOH$ .  $E$  – потенциал (В),  $i$  – зичии ҷараёни электрикӣ ( $A \cdot m^{-2}$ ).

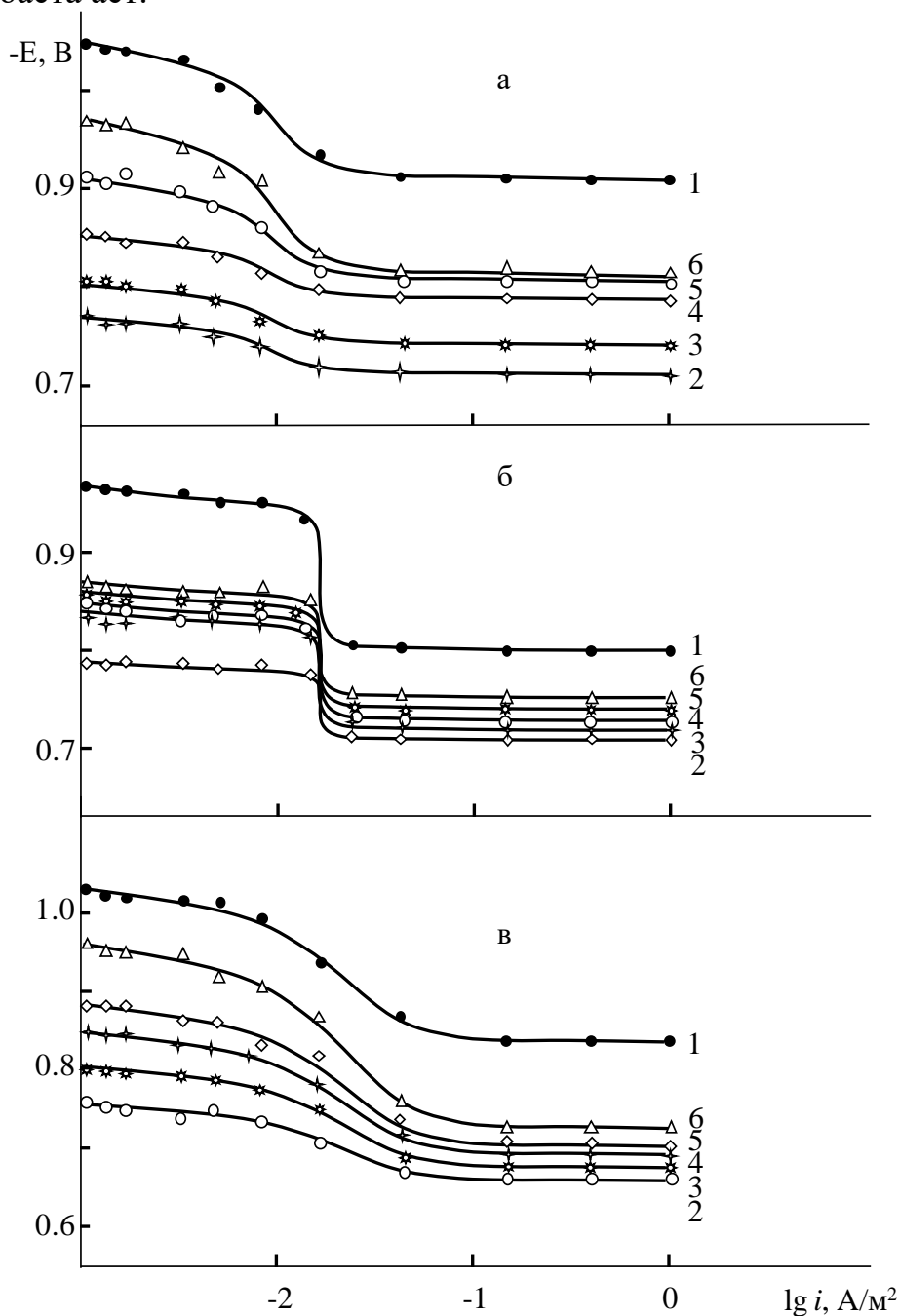
Баҳодиҳии устувории хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо элементҳои зергурӯҳи серий ба коррозияи пिटтингӣ мумкин аст, ки тавассути муқоисакунии қиматҳои потенциалҳои доимии коррозияи озод ва пिटтингҳосилшавӣ дар ин ё он шароити таҳқиқот амалӣ гардад. Таҳқиқотҳо аз беҳбудшавии устувории хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  ба коррозия хангоми ҷавҳаронии он бо серий, празеодим ва неодим шаҳодат медиҳанд, яъне қобилияти хӯлаҳоро ба худмуолиҷавӣ дар натиҷаи коррозияи пिटтингӣ бавучудомада, нишон медиҳанд (ҷадвалҳои 1, 2).

Потенциалҳои коррозия, пिटтингҳосилшавӣ ва репассивии хӯлаҳои таҳқиқшуда бо афзоиши консентратсияи серий, празеодим ва неодим (то  $0.1\%$ -и вазнӣ) дар хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  ба самти мусбӣ майл менамоянд. Иловаи компоненти ҷавҳаронӣ (беш аз  $0.1\%$ -и вазнӣ) қобилияти майлдиҳии потенциалҳои мазкури хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ –ро ба самти қиматҳои манфӣ зоҳир менамояд. Бо афзоиши барангезиши муҳитҳои таҳқиқшуда камшавии потенциалҳои электрохимиявии ишорашуда дида мешавад. Ҳангоми гузариш аз хӯлаҳо бо серий ба празеодим ва неодим ҳосиятҳои анодии хӯлаҳо дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъоли  $HCl$ ,  $NaCl$ ,  $NaOH$  кам мешаванд (ҷадвали 2).

**Ҷадвали 2** – Таъсири иловаҳои элементҳои зергурӯҳи серий ба хосиятҳои анодии ҳӯлаи Zn0.5Al дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаъол

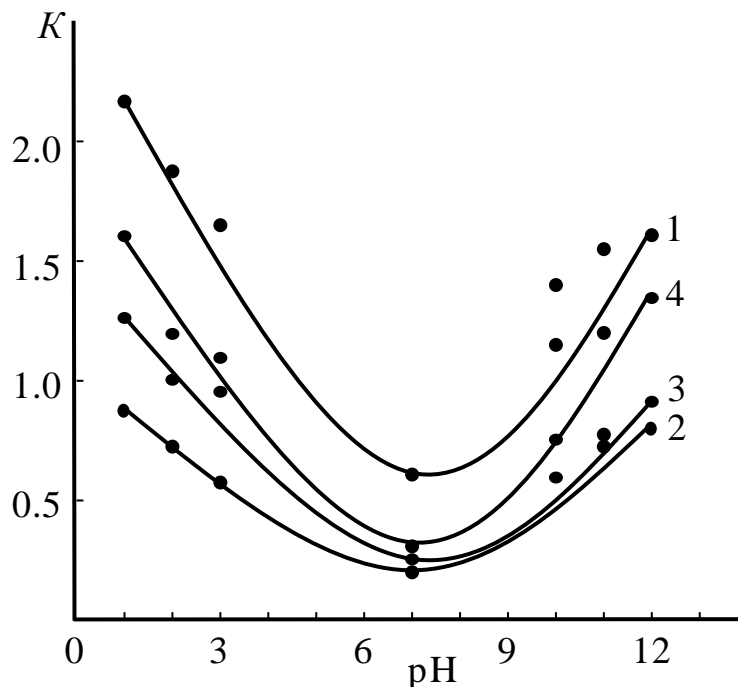
Муҳит	Компоненти ҷавҳаронии хӯла, %-и вазн	Потенциалҳои электрохимиявӣ (э.х.н.), В				Суръати коррозия		
		-E <sub>кор.оз.</sub>	-E <sub>кор.</sub>	-E <sub>п.х.</sub>	-E <sub>р.п.</sub>	<i>i</i> <sub>кор.</sub> ·10 <sup>2</sup>	K·10 <sup>3</sup>	
						A/M <sup>2</sup>	Г/M <sup>2</sup> ·с	
0.1н. HCl	Zn0.5Al (1)	1.190	1.195	1.030	1.036	0.178	2.17	
	(1) + 0.01 Ce	0.900	0.905	0.790	0.775	0.072	0.88	
	(1) + 0.01 Pr	0.942	0.951	0.888	0.898	0.104	1.27	
	(1) + 0.01 Nd	0.953	0.960	0.900	0.906	0.105	1.28	
	(1) + 0.1 Ce	0.935	0.945	0.857	0.865	0.075	0.91	
	(1) + 0.1 Pr	0.965	0.970	0.915	0.926	0.112	1.36	
	(1) + 0.1 Nd	0.975	0.980	0.941	0.954	0.112	1.36	
	(1) + 1.0 Ce	0.980	0.985	0.925	0.938	0.081	0.99	
	(1) + 1.0 Pr	0.995	1.000	0.946	0.959	0.123	1.50	
	(1) + 1.0 Nd	1.008	1.022	0.981	0.999	0.123	1.50	
	3% NaCl	Zn0.5Al (2)	1.070	1.086	0.900	0.904	0.055	0.67
		(2) + 0.01 Ce	0.813	0.820	0.700	0.712	0.024	0.29
(2) + 0.01 Pr		0.822	0.844	0.704	0.722	0.028	0.34	
(2) + 0.01 Nd		0.864	0.880	0.800	0.811	0.030	0.37	
(2) + 0.1 Ce		0.857	0.902	0.744	0.763	0.027	0.33	
(2) + 0.1 Pr		0.917	0.939	0.754	0.771	0.033	0.40	
(2) + 0.1 Nd		0.959	0.975	0.829	0.839	0.039	0.47	
(2) + 1.0 Ce		0.908	0.924	0.771	0.789	0.036	0.44	
(2) + 1.0 Pr		1.032	1.052	0.784	0.800	0.040	0.48	
(2) + 1.0 Nd		1.063	1.080	0.870	0.885	0.047	0.57	
0.1н. NaOH		Zn0.5Al (3)	1.210	1.216	0.920	0.936	0.133	1.62
		(3) + 0.01 Ce	0.920	0.926	0.735	0.748	0.073	0.89
	(3) + 0.01 Pr	0.952	0.984	0.900	0.911	0.067	0.82	
	(3) + 0.01 Nd	0.963	0.990	0.913	0.925	0.110	1.34	
	(3) + 0.1 Ce	0.959	0.968	0.749	0.767	0.076	0.93	
	(3) + 0.1 Pr	0.970	1.001	0.940	0.952	0.073	0.89	
	(3) + 0.1 Nd	0.985	1.015	0.952	0.964	0.118	1.44	
	(3) + 1.0 Ce	0.983	0.992	0.775	0.795	0.082	1.00	
	(3) + 1.0 Pr	1.000	1.050	0.990	1.002	0.087	1.06	
	(3) + 1.0 Nd	1.018	1.074	0.999	1.014	0.126	1.54	

Қаҷхатҳои поляризатсионии потенциодинамикии шохаҳои анодии хӯлаҳои таҳқиқшуда, дар мисоли хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо серий, ҳам мавзеи ҳалшавии фаъол ва ҳам ҳолати нофаъолро нишон медиҳад, ки дар мақсад устувории онҳоро ба коррозия дар муҳитҳои гуногун тавсиф менамояд (расми 4). Таъсири мусбӣи серий ба рафтори анодии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  на танҳо бо афзоиши ҳақиқии сатҳи анод ё зичшавии қабати фазавии муҳофизатии оксидҳои камҳалшавандаи маҳсули коррозия шарҳ дода мешавад. Устувории хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  ҳамчунин аз тағйирёбӣ ва дигаргуншавии сохтори он ҳангоми ҷавҳаронидан бо компоненти сеюм низ вобаста аст.



**Расми 4.** Қаҷхатҳои поляризатсионии потенциодинамикии (2 мВ/с) шохаҳои анодии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  (1) бо серий, %-и вазн: 0.01 (2); 0.05 (3); 0.1 (4); 0.5 (5); 1.0 (6), дар муҳитҳои электролитҳои 0.001н. HCl (а), 0.03% NaCl (б) ва 0.001н. NaOH (в)

Иловаҳои элементҳои чавҳаронии зергурӯҳи серий суръати коррозияи хӯлаи Zn0.5Al- ро 1,5–3 маротиба кам менамоянд, мутаносибан дар муҳитҳои кислотагӣ, нейтралӣ ва ишқорӣ ҳангоми қиматҳои гуногуни рН-и муҳит. Ҳангоми гузариш аз хӯлаи Zn0.5Al ба хӯлаҳои бо неодим чавҳаронидашуда, баъдан ба хӯлаҳои чавҳаронидашуда бо празеодим ва серий камшавии суръати коррозияи хӯлаҳои таҳқиқшуда мушоҳида мегардад, ки ба хосиятҳои элементҳои зергурӯҳи серий ҳамгирой дорад (расми 5). Ҳангоми чавҳаронидани хӯлаи Zn0.5Al бо серий, празеодим ва неодим гуногунҷинсии электрохимиявӣ афзоиш ёфта, устувории коррозияи он аз рӯи хусусият ва миқдори элементҳои чавҳаронӣ муайян карда мешавад.



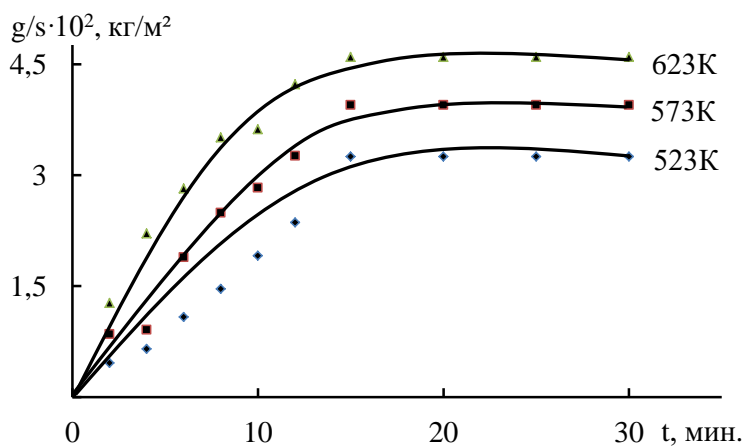
**Расми 5.** Вобастагии суръати коррозияи  $K \cdot 10^3$  (г/м<sup>2</sup>·с) хӯлаи Zn0.5Al (1) бо 0.01% серий (2), празеодим (3) ва неодим (4) аз рН-и муҳит

Суръати коррозияи хӯлаҳо, ки бо элементҳои зергурӯҳи серий чавҳаронида шудааст, нисбат ба хӯлаи Zn0.5Al 1,5–3 маротиба камтар аст. Махсусан, иловаҳои серий ва празеодим дар ҳудуди консентратсияҳои омӯхташуда мусбӣ таъсир мерасонанд, яъне устувории хӯлаи аввалияро ба коррозия дар муҳитҳои кислотагӣ, нейтралӣ ва ишқорӣ баланд менамоянд. Афзоиши баъдии консентратсияи неодим (> 0.1%-и вазнӣ) суръати коррозияи хӯлаи Zn0.5Al- ро андаке зиёд менамояд. Ин вобастагӣ дар ҳама муҳитҳои таҳқиқшуда дида шудааст (расми 3).

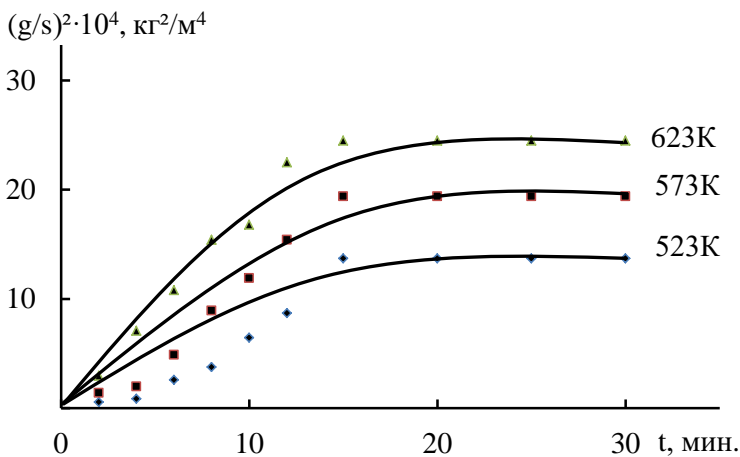
Дар мақсад, таҳқиқоти анҷомдодашуда нишон дод, ки иловаҳои серий, празеодим ва неодим бо миқдорҳои 0.01÷0.1%-и вазнӣ устувории анодии хӯлаи Zn0.5Al -ро дар муҳитҳои коррозияи фаъол баланд менамоянд. Хусусиятҳои анодии хӯлаҳои таҳқиқшуда вобаста аз электроди муқоисавии хлорнуқрагӣ пешниҳод карда шудааст. Бештарин зиёдшавии устувории хӯлаҳои анодӣ ба коррозия ҳангоми таҳқиқоти онҳо дар муҳитҳои коррозияи сустбарангезиш дида шудааст.

Дар боби чоруми диссертатсия «Кинетикаи оксидшавии баландҳароратии хӯлаи Zn0.5Al, ки бо серий, празеодим ва неодим чавҳаронидашуда, дар ҳолати сахт» натиҷаҳои таҳқиқоти таъсири иловаҳои чавҳаронии элементҳои зергурӯҳи серий ба кинетикаи оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al дар муҳити ҳаво оварда шудааст.

Қаҷхатҳои кинетикии раванди оксидшавии дар расми 6 овардашуда, дар мисоли хӯлаи Zn0.5Al бо 0.01%-и вазнии серий, нишон медиҳанд, ки раванди оксидшавӣ дар марҳилаҳои аввал ба намуди хатшакл, баъдан дар 12-15 дақиқа аз рӯйи механизми гиперболӣ амалӣ мешавад, ки аз ин пардаҳои муҳофизатии оксидии бавучудомада шаҳодат медиҳад, ки зимни баҳамтаъсирот бо оксигени ҳаво дар 15-ум дақиқа ба анҷом мерасад. Самти қаҷхатҳои мураббаъи кинетикӣ хусусияти гиперболии механизми оксидшавии хӯлаҳои таҳқиқшавандаро ишора мекунад. Ба ин хусусияти набудани хати рост дар меҳвари  $(g/s)^2 \cdot t$  (расми 7) ва вобастагии аналитикии  $y = Kt^n$ , дар ин ҷо  $n = 2 \div 4$  (қадвали 3), барои хӯлаҳои сечандаи омӯхташуда шаҳодат медиҳад. Қиматҳои суръати ҳақиқии оксидшавии аз қаҷхатҳои кинетикии ҳисобкунишудаи хӯлаи Zn0.5Al бо элементҳои зергурӯҳи серий, дар мисоли хӯлаҳо бо серий дар вобастагӣ аз ҳарорат ва таркиби хӯлаҳои таҳқиқшуда дар қадвали 4 оварда шудааст.



**Расми 6.** Қаҷхатҳои кинетикии раванди оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al, ки дар таркибаш 0.01%-и вазнии серий дорад.



**Расми 7.** Қаҷхатҳои мураббаъи кинетикии раванди оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al, ки дар таркибаш 1.0%-и вазнии серий дорад.

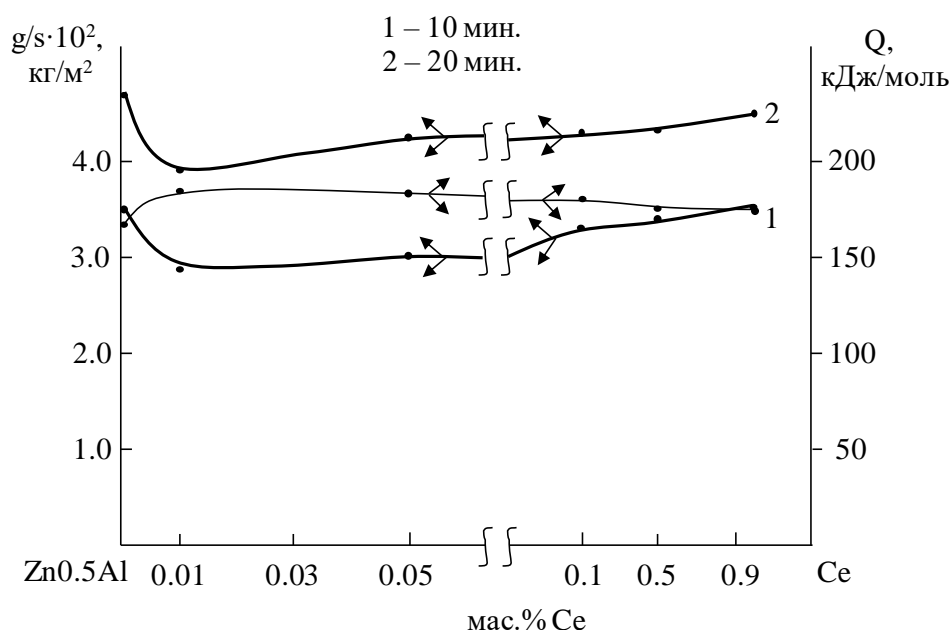
**Чадвали 3.** Натиҷаҳои коркарди математикии қачхатҳои кинетикии раванди оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al бо элементҳои зергурӯҳи серий

Миқдори компоненти чавҳаронӣ дар хӯла, %-и вазнӣ	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Полиномаҳои қачхатҳои кинетикии оксидшавии хӯлаҳо	Зариби ҳамгирӣ, R
-	523	$y = -0.001x^4 - 0.001x^3 + 0.010x^2 - 0.176x$	0.987
	573	$y = -0.001x^4 - 0.001x^3 + 0.020x^2 - 0.471x$	0.985
	623	$y = -0.001x^4 - 0.001x^3 + 0.044x^2 - 0.786x$	0.981
1.0 Ce	523	$y = -0.001x^4 - 0.011x^3 + 0.237x^2 - 0.244x$	0.996
	573	$y = -0.001x^4 - 0.015x^3 + 0.268x^2 - 0.687x$	0.994
	623	$y = -0.001x^4 - 0.018x^3 + 0.307x^2 - 0.899x$	0.998
1.0 Pr	523	$y = -0.001x^4 - 0.021x^3 + 0.359x^2 - 0.330x$	0.997
	573	$y = -0.001x^4 - 0.023x^3 + 0.370x^2 - 0.759x$	0.995
	623	$y = -0.001x^4 - 0.024x^3 + 0.381x^2 - 0.968x$	0.998
1.0 Nd	523	$y = -0.001x^4 - 0.024x^3 + 0.272x^2 - 0.422x$	0.997
	573	$y = -0.001x^4 - 0.028x^3 + 0.338x^2 - 0.612x$	0.995
	623	$y = -0.001x^4 - 0.033x^3 + 0.354x^2 - 0.931x$	0.997

**Чадвали 4.** Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al бо серий, дар ҳолати саҳт

Иловаҳои Се дар хӯла, %-и вазнӣ	Ҳарорати оксидшавӣ, К	Суръати ҳақиқии оксидшавӣ $K \cdot 10^4$ , $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	Энергияи самараноки фаъолкунанда, кҶ/мол
-	523	3.68	168.4
	573	3.91	
	623	4.11	
0.01	523	2.27	186.9
	573	2.48	
	623	2.66	
0.05	523	2.41	184.0
	573	2.63	
	623	2.87	
0.1	523	2.50	180.7
	573	2.73	
	623	2.91	
0.5	523	2.75	176.8
	573	2.93	
	623	3.02	
1.0	523	2.99	175.0
	573	3.11	
	623	3.26	

Динамикаи тағйирёбии суръати ҳақиқии оксидшавӣ ва энергияи самараноки фаъолшавии раванди оксидшавии хӯлаҳои таҳқиқшавандаро метавон аз рӯйи изохрони оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al бо иловаҳои гуногуни серий, ки дар ҳарорати 573 К сохта шуда, ба 10 ва 20 дақиқаҳои раванди оксидшавӣ рост меояд, мушоҳида намуд. Качхатҳои раванди оксидшавӣ бо якҷайл афзоиши суръати оксидшавӣ ва камшавии энергияи фаъолшавӣ ҳангоми мавҷудияти компоненти чавҳаронӣ дар хӯлаи Zn0.5Al тавсифонида мешавад. Иловаҳои серий дар ҳудуди консентратсияҳои омӯхташуда хеле зиёд оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al –ро кам менамоянд (расми 8).

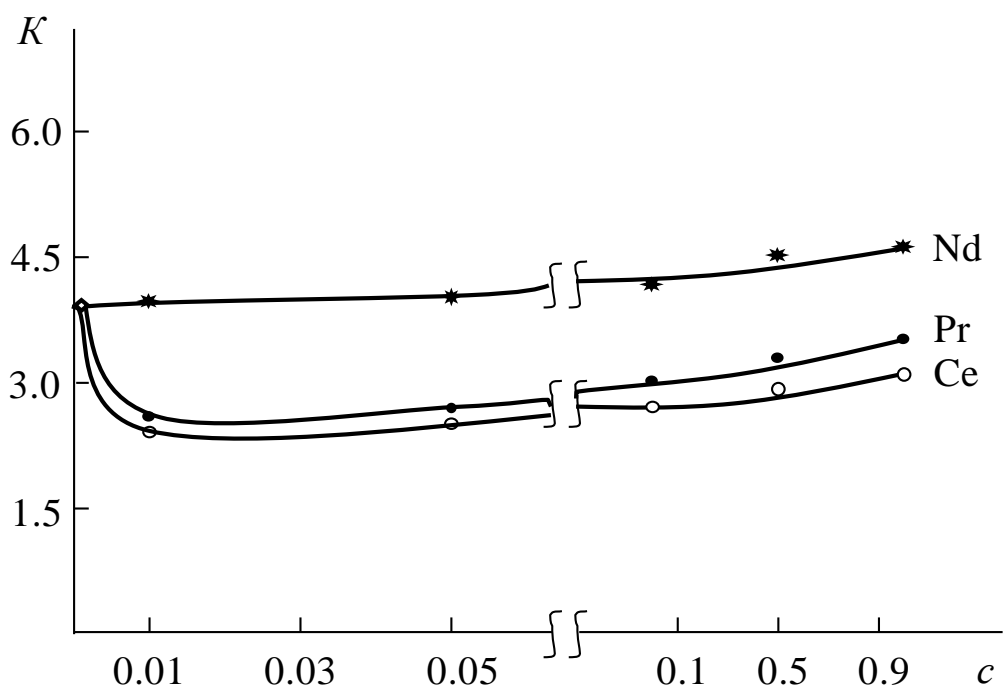


**Расми 8.** Изохронаи оксидшавии (573 К) хӯлаи Zn0.5Al бо серий.

Барои таҳлили муқоисавӣ дар намуди чамбандӣ натиҷаҳои таҳқиқоти таъсири иловаҳои элементҳои зергурӯҳи серий ба кинетикаи раванди оксидшавии баландҳароратии хӯлаи Zn0.5Al дар ҷадвали 5 ва расми 9 оварда шудааст. Дида мешавад, ки ҳангоми гузариш аз хӯлаҳои бо серий чавҳаронидашуда ба хӯлаҳо бо празеодим, баъдан ба хӯлаҳо бо неодим афзоиши суръати ҳақиқии оксидшавии хӯлаҳои таҳқиқшуда мушоҳида мегардад, ки ба камшавии энергияи самараноки фаъолшавии раванди оксидшавӣ мусоид аст (ҷадвали 5, расми 9).

**Ҷадвали 5.** Муқоисакунии тағйирёбии энергияи самараноки фаъолкунандаи раванди оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al аз миқдори элементҳои зергурӯҳи серий

Ҳарорати оксидшавӣ, К	Компонентҳои чавҳаронии хӯлаи Zn0.5Al	Энергияи самараноки фаъолкунанда, кҶ/мол					
		Миқдори иловаҳо, %- вазнӣ					
		-	0.01	0.05	0.1	0.5	1.0
523 573 623	-	168.4	-	-	-	-	-
	Ce	-	186.9	184.0	180.7	176.8	175.0
	Pr	-	183.6	180.3	177.4	172.0	169.8
	Nd	-	165.3	160.6	157.2	152.0	145.9

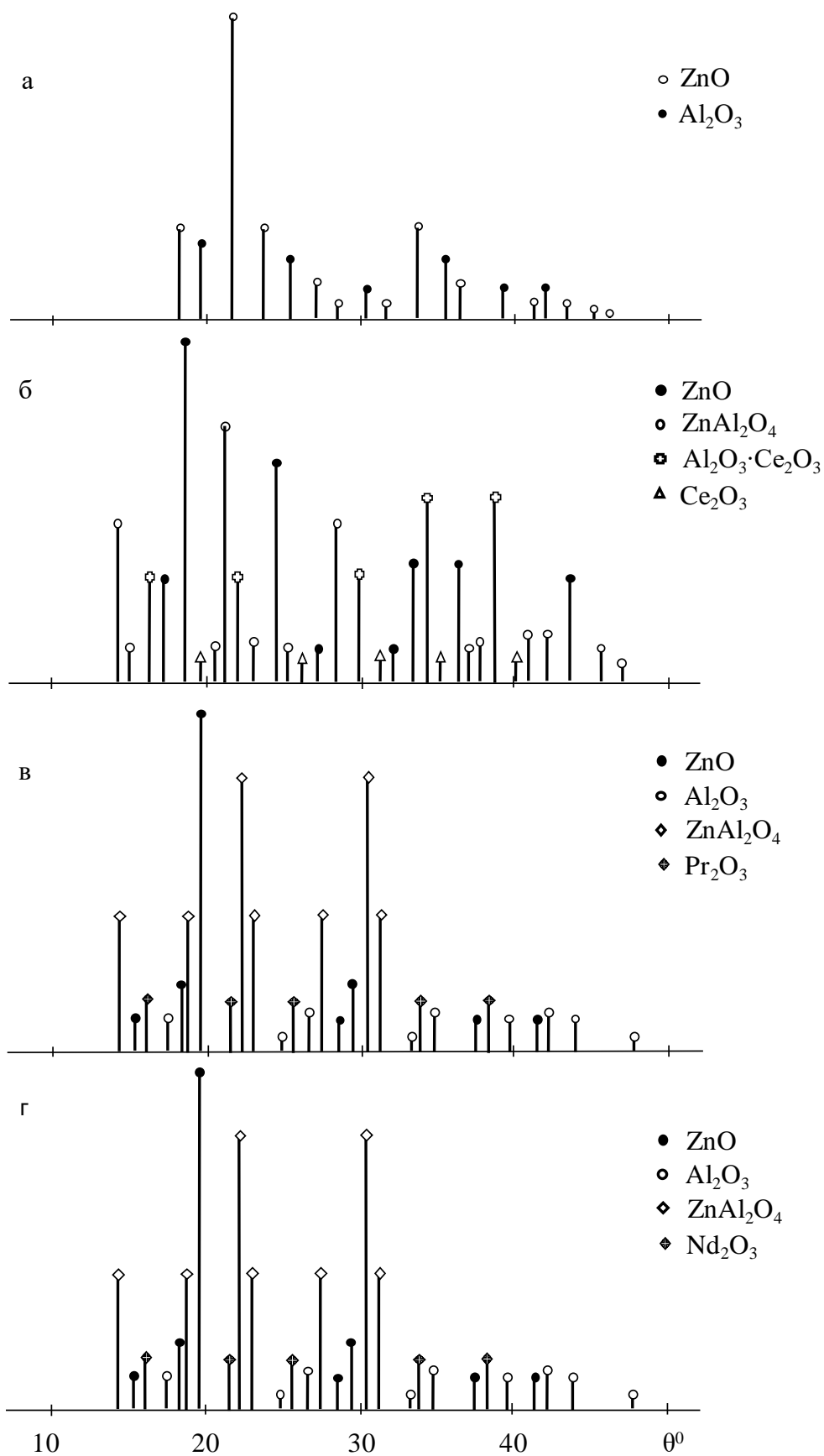


**Расми 9.** Графики мукоисакунии тағйирёбии суръати оксидшавии ( $K \cdot 10^4$ ,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ) хўлаи  $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$  аз миқдори ( $c$ , %-и вазн) элементҳои зергурӯхи серий Ҳангоми ҳарорати 573 К

Ба сифати мисол дар расми 10 штрихрентгенограмаҳои маҳсули оксидшавии хўлаҳо пешниҳод шудааст. Аниқ карда шудааст, ки Ҳангоми оксидшавии хўлаҳои таҳқиқшаванда оксидҳои  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Pr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnAl}_2\text{O}_4$  ва  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Ce}_2\text{O}_3$  ҳосил мешаванд. Ҳосилшавии оксидҳои мазкур ва баҳамтаъсири баъди онҳо бо бисёр омилҳо алоқаманд аст, аз ҷумла бо ҳарорат, фаъолнокии компонентҳои хўла, энергияи озод ва ғайра. Инчунин, агар ҳаҷми оксиди ҳосилшуда нисбат ба ҳаҷми металл камтар бошад, онгоҳ ҳосилшавии пардаи ковокдорро метавон интизор дошт. Дар ҳолати мазкур раванди оксидшавӣ дар речаи диффузионӣ мегузарад. Ҳангоми диффузияи атомҳои металл паси пардаи оксидӣ беруни мавзие афзоиши парда сатҳи берунаи парда мешавад ва баракс, агар паси парда диффузия шавад, асосан, оксиген, онгоҳ мавзие афзоиши парда дар сарҳади баъди парда ва металл аст.

Дар мақсад, бо усули термогравиметрӣ таҳқиқоти баҳамтаъсири хўлаи  $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$ , ки бо элементҳои зергурӯхи серий ҷавҳаронидашуда, бо оксигени ҳаво Ҳангоми ҳароратҳои 523, 573 и 623 К, дар ҳолати саҳт анҷом дода шудааст. Нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ раванди оксидшавии баландҳароратии хўлаҳо муайян карда шудааст. Аниқ карда шудааст, ки раванди оксидшавӣ аз рӯи механизми гипербола мегузарад, ва суръати ҳақиқӣ тартиби  $10^{-4}$  дорад. Нишон дода шудааст, ки иловаҳои серий ва празеодим дар ҳудуди консентратсияи 0.01-0.1%-и вазн хеле бештар оксидшавии хўлаи  $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$  –ро кам мекунанд, вале иловаҳои неодим дар ҳудуди консентратсияҳои омӯхташуда (0.01-1.0%) майли онро ба оксидшавӣ андаке зиёд мекунанд.





**Расми 10.** Штрихрентгенограммаи маҳсули оксидшавии хӯлаи  $\text{Zn}_{0.5}\text{Al}$  (а) бо 0.1%-и вазнии серий (б), празеодим (в) ва неодим (г)

## ХУЛОСА

### *Натиҷаҳои асосӣ ва хулосаҳо:*

1. Бо методи потенциостатикӣ рафтори анодии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  бо серий, празеодим ва неодим таҳқиқ карда шудааст. Иловаҳои компоненти сеюм ( $0.01 \div 1.0\%$  Ce, Pr, Nd) суръати коррозияи хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  –ро дар муҳитҳои гуногуни HCl, NaCl ва NaOH то 1.5–3 маротиба кам мекунанд [1-М, 6-М, 8-М, 14-М].

2. Потенциалҳои коррозия, питтингҳосилшавӣ ва репассивии хӯлаҳои бо элементҳои зергуруҳи серий ҷавҳаронидашуда смещаются ба самти мусбӣ майл мекунанд. Гузариш ба ҳолати устувори ғайрифазол барои хӯлаҳои сечандаи таҳқиқшуда хос аст [2-М, 7-М, 13-М].

3. Қонуниятҳои тағйирёбии хусусиятҳои анодии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  аз микдори элементҳои зергуруҳи серий ва pH-и муҳит аниқ карда шудааст. Иловаҳои серий, празеодим ва неодим устувори хӯлаи анодии  $Zn_{0.5}Al$  –ро ба коррозия дар ҳудуди pH-и муҳит аз 3 то 10 баланд мекунанд [1-М, 6-М, 8-М].

4. Бо методи термогравиметрӣ кинетикаи оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳои саҳти системаҳои  $Zn_{0.5}Al-Ce(Pr,Nd)$  таҳқиқ карда шудааст. Раванди оксидшавӣ аз рӯи механизми гипербола мегузарад, суръати ҳақиқӣ дорои тартиби  $10^{-4}$  ҳаст [3-М, 5-М, 12-М].

5. Иловаҳои серий ва празеодим оксидшавии хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  –ро кам мекунанд. Воридкунии неодим ( $0.01 \div 1.0\%$ ) ба хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$  кинетикаи оксидшавиро афзоиш медиҳад, ки ба оксидшавии хӯлаҳо манфӣ таъсир мекунад [3-М, 5-М];

6. Бо таҳлили рентгенофазавӣ маҳсули оксидшавӣ, ки дар сатҳи хӯлаҳои мазкур ҳосил мешаванд, омӯхта шудааст. Ҳангоми оксидшавӣ оксидҳои соддаи  $ZnO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Ce_2O_3$ ,  $Pr_2O_3$ ,  $Nd_2O_3$  ва мураккаби  $ZnAl_2O_4$  и  $Al_2O_3 \cdot Ce_2O_3$  ҳосил мешаванд [4-М, 11-М, 15-М].

7. Бо таҳлили металлографӣ микросохторҳои хӯлаи  $Zn_{0.5}Al$ , ки бо серий, празеодим ва неодим ҷавҳаронидашуда, омӯхта шудааст. Ҷавҳаронии хӯлаи дучанда ( $Zn_{0.5}Al$ ) бо компоненти сеюм (Ce, Pr, Nd) ба тағйирёбии андозаи донаҳои сохтори хӯлаҳо самаранок таъсир мерасонад [6-М, 7-М].

8. Таркибҳои муносиби коркардшудаи хӯлаҳои сечанда бо ду патентҳои Ҷумҳурии Тоҷикистон (№ ТҶ 1079, 1081) ҳифз карда шудааст. Хӯлаҳо ба сифати рӯйпӯшҳои анодӣ барои баландбардории устувори маснуот аз пӯлоди карбондор ва чӯян ба зидди коррозия тавсия мешаванд [9-М, 10-М].

### *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 маснуоти пӯлодӣ ва конструкцияҳо аз вайроншавии коррозсионӣ машғуланд, тавсия мешаванд;

– хӯлаҳои нави коркардшудаи  $Zn_{0.5}Al$  бо серий, празеодим ва неодим ҳамчун рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатӣ барои баландбардории устуворӣ ба коррозия ва зиёдкунии муҳлати хизмати конструкцияҳо, иншоот ва маснуоти пӯлодии карбондор ва чӯян 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-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние добавок празеодима на анодное поведение цинкового сплава Zn0.5Al, в кислой среде / Ф. Хамрокул, М.Ч. Ширинов, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев // Вестник педагогического университета. Серия естественных наук. *РИНЦ.* – 2021. – № 3-4 (11-12). – С. 334-338.

[2-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние добавок неодима на анодное поведение цинкового сплава Zn0.5Al, в щелочной среде / Ф. Хамрокул, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. *РИНЦ.* – 2021. – №2-2(87). – С. 46-52.

[3-А]. **Firuzi Hamroqul.** 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.

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

[5-А]. **Фирузи Хамрокул.** 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. *РИНЦ.* – 2022. – № 3. – С. 126-130.

[6-А]. **Firuzi Hamroqul.** Anodic behavior of Zn0.5Al zinc alloy doped with neodymium / F. Hamroqul, U.R. Jobirov, I.N. Ganiev, Z.R. Obidov // UNIVERSUM – технические науки. *Crossref, Ulrichsweb.* – 2022. – № 3-6 (96). – С. 47-49.

[7-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние добавок празеодима на анодное поведение цинкового сплава Zn0.5Al // Вестник Бохтарского государственного университета им. Н. Хусрава. Серия естественных наук. *РИНЦ.* – 2022. – № 2/1 (96). – С. 75-79.

[8-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние добавок церия на анодное поведение цинкового сплава Zn0.5Al, в нейтральной среде / Ф. Хамрокул, З.Р. Обидов, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов // Наука и инновация. Серия геологических и технических наук. ТНУ. *РИНЦ.* – 2022. – № 1. – С. 164-169.

*Ихтироот:*

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

*Мақолаҳои дар маводи конфронсҳо нашришуда:*

[11-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние празеодима на кинетику окисления сплава  $Zn_{0.5}Al$  / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, 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. 15-16.

[12-А]. **Фирузи Хамрокул.** Окисление цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , легированного неодимом, в твердом состоянии / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, З.Р. Обидов, А.В. Амонова // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Актуальные вопросы естественных наук и технологий». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2020. – С. 277-278.

[13-А]. **Фирузи Хамрокул.** Анодное поведение сплава  $Zn_{0.5}Al$  с церием, в среде  $NaCl$  / Ф. Хамрокул, 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. 66-70.

[14-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние неодима на анодное поведение цинкового сплава  $Zn_{0.5}Al$ , в щелочной среде / Ф. Хамрокул, И.Н. Ганиев, Н.С. Олимов, З.Р. Обидов // Сб. матер. Респ. науч.-практ. конф. «Современные проблемы естественных наук». Российско-Таджикский (Славянский) университет. – Душанбе. – 2021. – С. 22-26.

[15-А]. **Фирузи Хамрокул.** Влияние церия на окисляемость сплава  $Zn_{0.5}Al$  / Ф. Хамрокул, У.Р. Джобиров, И.Н. Ганиев, М.Ч. Ширинов, 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. 208-209.

## АННОТАТСИЯИ

диссертатсияи **Фирузи Хамрокул дар мавзӯи «Рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al, ки бо серий, празеодим ва неодим чавҳаронидашуда» барои дарёфти дараҷаи илми доктори фалсафа (PhD) – доктор аз рӯйи ихтисоси 6D071000 – Маводшиносӣ ва технологияи маводи нав**

**Калимаҳои калидӣ:** руҳ Zn0.5Al, серий, празеодим, неодим, усулҳои потенциостатикӣ ва термогравиметрӣ, таҳлилҳои микрорентгеноспектралӣ, рентгенофазавӣ ва металографӣ, хосиятҳои коррозсионӣ-электрохимиявӣ, нишондиҳандаҳои кинетикӣ ва энергетикӣ, pH –и муҳит, суръати коррозия, рафтори анодии хӯлаҳо.

**Мақсади таҳқиқот** бо омӯзиши рафтори анодӣ ва оксидшавии хӯлаи Zn0.5Al, ки бо серий, празеодим ва неодим чавҳаронидашуда ва коркарди таркиби муносиби хӯлаҳо ҳамчун рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатӣ барои баландбардории устувории маснуот, иншоот ва конструксияҳои пӯлодии карбондор ба коррозия хотима меёбад.

**Объекти таҳқиқот** – руҳ (Ц0, т.х.), алюминий (А7, т.тех.), серий (Це ЭО, т.х.), празеодим (ПрМ-1, т.х.), неодим (НМ1, т.х.), лигатураҳои алюминий бо серий (AlCe10), празеодим (AlPr10) ва неодим (AlNd10) (%-и вазнӣ).

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

**Натиҷаҳои ҳосилнамуда ва навгониҳои он:** қонуният дар тағйирёбии хусусиятҳои коррозсионӣ ва электрохимиявӣ хӯлаҳои системаҳои Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr ва Zn0.5Al-Nd дар муҳитҳои коррозсионӣ-фаёл аниқ карда шудааст; майлдихии потенциалҳои коррозсионӣ, питтингҳосилкунӣ ва репассивии хӯлаҳои ишорашуда ба самти киматҳои мусбӣ нишон дода шудааст; таъсири иловаҳои чавҳаронӣ (Ce,Pr,Nd) ба микросохтор ва рафтори анодии хӯлаи Zn0.5Al муайян карда шудааст; қонуният дар тағйирёбии хусусиятҳои кинетикӣ ва энергетикӣ хӯлаҳои сахти системаҳои Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr ва Zn0.5Al-Nd дар муҳити ҳаво аниқ карда шудааст; фазаҳои ташкилкунандаи маҳсули оксидшавии баландҳароратии хӯлаҳо ва нақши онҳо дар механизми оксидшавии анодӣ муайян карда шудааст; баландшавии устувории анодии хӯлаи Zn0.5Al зимни чавҳаронии он бо серий, празеодим ва неодим дар муҳитҳои барангезанда нишон дода шудааст.

**Аҳамияти амалии таҳқиқот:** хӯлаҳои нави сечандаи Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr ва Zn0.5Al-Nd, ки дар таркибашон иловаҳои гуногуни метали нодирзаминӣ доранд, ҳосил карда шудааст; концентратсияҳои муносиби элементҳои зерғуруҳи серий (дар алоҳидагӣ 0.01÷0.1%-и вазн) дар хӯлаи Zn0.5Al аниқ карда шудааст, ки бо тобоварии баланд ба коррозия фарқ мекунад; таркибҳои муносиби хӯлаҳои нави коркардшуда бо 2 нахустпатенти Ҷумҳурии Тоҷикистон (ТJ№1079,1081) ҳифз карда шудааст; рӯйпӯшкунӣ якхелаи новаҳои ноқилии пӯлодӣ бо қабати зич чавҳаронидашудаи хӯлаҳои Zn-Al барои истифодабарӣ дар корхонаи ҚДММ “Ноқили ТАлКо” ш.Душанбе қабул карда шудааст. Фоидаи иқтисодӣ аз истифодабарии рӯйпӯшҳои муҳофизатӣ дар 1м<sup>2</sup> сатҳи ҳифзмекардашудаи маснуот 9,4 доллари ИМА-ро ташкил дод.

**Тавсияҳои 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 маснуоти пӯлодӣ ва конструксияҳо аз вайроншавии коррозсионӣ машғуланд, тавсия мешаванд;

– хӯлаҳои нави коркардшудаи Zn0.5Al бо серий, празеодим ва неодим ҳамчун рӯйпӯшҳои анодии муҳофизатӣ барои баландбардории устуворӣ ба коррозия ва зиёдкунии муҳлати хизмати конструксияҳо, иншоот ва маснуоти пӯлодии карбондор ва чӯян тавсия мешаванд.

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

## АННОТАЦИЯ

диссертации Фирузи Хамрокул на тему «Анодное поведение и окисление сплава Zn0.5Al, легированного церием, празеодимом и неодимом», представленной на соискание ученой степени доктора философии (PhD) – доктора по специальности 6D071000 – Материаловедение и технология новых материалов

**Ключевые слова:** сплав Zn0.5Al, церий, празеодим, неодим, 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 изучении анодного поведения и окисления сплава Zn0.5Al, легированного церием, празеодимом и неодимом и разработке оптимального состава сплавов как анодных защитных покрытий для повышения коррозионной стойкости углеродистых стальных конструкций, изделий и сооружений.

**Объекты исследования** – цинк (Ц0, х.ч.), алюминий (А7, тех.ч.), церий (Це ЭО, х.ч.), празеодим (ПрМ-1, х.ч.), неодим (НМ1, х.ч.), лигатуры алюминия с церием (AlCe10), празеодимом (AlPr10) и неодимом (AlNd10) (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:** установлено закономерности в изменении коррозионных и электрохимических характеристиках сплавов систем Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr и Zn0.5Al-Nd в коррозионно-активных средах; показано смещение потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации указанных сплавов в положительную область значений; определено влияние легирующих добавок (Ce, Pr, Nd) на микроструктуру и анодное поведение сплава Zn0.5Al; установлено закономерности в изменении кинетических и энергетических характеристиках окисляемости твердых сплавов систем Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr и Zn0.5Al-Nd в атмосфере воздуха; определено фазовые составляющие продуктов высокотемпературного окисления сплавов и их роли в механизме анодного окисления; показано повышение анодной устойчивости сплава Zn0.5Al легированием церием, празеодимом и неодимом в агрессивных средах.

**Практическая значимость исследования:** синтезированы новых тройных сплавов Zn0.5Al-Ce, Zn0.5Al-Pr и Zn0.5Al-Nd, содержащих различные добавки редкоземельного металла; установлены оптимальные концентрации (по 0.01÷0.1 мас.%) элементов подгруппы церия в сплаве Zn0.5Al, отличающиеся высокой коррозионной стойкостью; оптимальные составы новых синтезированных сплавов защищены 2 малыми патентами Республики Таджикистан (№ТJ1079,1081); равномерное покрытие стальной кабельных лотков с плотным слоем легированных Zn-Al сплавов приняты для внедрения на предприятии ООО «Нокили ТАлКо» г.Душанбе. Экономический эффект от использования защитного покрытия составляет 9,4 долларов США на 1м<sup>2</sup> защищаемой поверхности изделий.

**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 производственников, занимающихся проблемами защиты стальных изделий и конструкций от коррозионного разрушения;
- разработанные новые сплавы Zn0.5Al с церием, празеодимом и неодимом рекомендуются как анодных защитных покрытий для повышения коррозионной стойкости и увеличения срока службы углеродистых стальных и чугуновых конструкций, изделий и сооружений.

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

**ANNOTATION**  
**of the dissertation of Firuzi Hamroqul on theme «Anodic behavior and oxidation of Zn<sub>0.5</sub>Al alloy, doped with cerium, praseodymium and neodymium», presented for the degree of doctors of philosophy (PhD) – doctors on a speciality 6D071000 – Materials and technology of new materials**

**Key words:** Zn<sub>0.5</sub>Al alloy, cerium, praseodymium, neodymium, 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 studying of anode behaviour and oxidation of Zn<sub>0.5</sub>Al alloy doped with cerium, praseodymium and neodymium and working out of optimum structure of alloys as anode sheetings for increase of corrosion firmness of carbonaceous steel designs, products and constructions.

**Objects of research** – zinc (Ц0, kh.ch.), aluminum (A7, tech.ch.), cerium (Це ЭО, kh.ch.), praseodymium (ПрМ-1, kh.ch.), neodymium (HM1, kh.ch.), ligatures aluminum with cerium (AlCe10), praseodymium (AlPr10), neodymium (AlNd10) (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:** it is established laws in change corrosion and electrochemical characteristics of alloys of systems Zn<sub>0.5</sub>Al-Ce, Zn<sub>0.5</sub>Al-Pr and Zn<sub>0.5</sub>Al-Nd in corrosionno-active environments; displacement of potentials of corrosion, pittingformation and repassive the specified alloys in positive area of values is shown; influence of alloying additives (Ce, Pr, Nd) on a microstructure and anode behaviour of alloy Zn<sub>0.5</sub>Al is defined; it is established laws in change kinetic and power characteristics of oxidability of firm alloys of systems Zn<sub>0.5</sub>Al-Ce, Zn<sub>0.5</sub>Al-Pr and Zn<sub>0.5</sub>Al-Nd in air atmosphere; it is defined phase components of products of high-temperature oxidation of alloys and their role in the mechanism of anode oxidation; increase of anode stability of alloy Zn<sub>0.5</sub>Al doped with cerium, praseodymium and neodymium in excited environments is shown.

**The practical significance of the study:** synthesized new ternary alloys Zn<sub>0.5</sub>Al-Ce, Zn<sub>0.5</sub>Al-Pr and Zn<sub>0.5</sub>Al-Nd containing various additives of rare earth metal; the optimal concentrations (by 0.01÷0.1 wt.%) of elements of the cerium subgroup in the Zn<sub>0.5</sub>Al alloy, which are characterized by high corrosion resistance, were established; the optimal compositions of the new synthesized alloys are protected by 2 small patents of the Republic of Tajikistan (No. TJ1079,1081); Uniform coating of steel cable trays with a dense layer of alloyed Zn-Al alloys are accepted for implementation at the enterprise Nokili TALCo LLC in Dushanbe. The economic effect of using a protective coating is 9.4 US dollars per 1 m<sup>2</sup> of the protected surface of products.

**Recommendations about practical use of results research:**

– the results of the experimental study are recommended for specialists in the field of materials science and corrosion protection, electroplating, metallurgy, as well as materials scientists and production workers involved in the protection of steel products and structures from corrosion damage;

– developed new Zn<sub>0.5</sub>Al alloys with cerium, praseodymium and neodymium are recommended as anode protective coatings to increase corrosion resistance and increase the service life of carbon steel and cast iron structures, products and structures.

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

Разрешено в печать 16.11.2023 г., подписано в печать 4.12.2023 г.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.

Гарнитура литературная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 3,0. Тираж 100 экз.

---

Отпечатано в типографии ТГПУ

