

данной работе. Во второй главе рассмотрено коррозионное поведение стали 12X18H10T в расплаве LiCl-KCl, содержащем добавки хлоридов церия, неодима и лантана. Данное взаимодействие рассмотрено как в инертной атмосфере, так и с учетом влияния кислорода. В третьей главе рассмотрено коррозионное поведение стали 12X18H10T в расплаве LiCl-KCl, содержащем 2 мас. % смеси хлоридов урана (+3) и (+4), при соотношении U^{4+}/U^{3+} 10:1, 4:1, 1:1, 1:4 и 1:10. В четвертой главе представлены результаты электрохимических исследований в системе расплав на основе LiCl-KCl — металл. В заключении проведено обобщение полученных результатов, сформулированы выводы по работе в целом. Список использованной литературы состоит из 100 источников, включая публикации автора по теме диссертации.

По объему и структуре работа соответствует требованиям ВАК Российской Федерации, предъявляемым к кандидатской диссертации.

Актуальность темы. Для реализации технологии переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) с использованием расплавленных солей необходимы конструкционные материалы, обладающие химической и механической устойчивостью в этих средах.

При переработке отработавшего ядерного топлива реакторов на быстрых нейтронах (ОЯТ РБН) на одном из этапов в качестве рабочей среды предполагается использование расплава LiCl-KCl (49:51, мас. %) в инертной газовой атмосфере. Практически все металлические материалы в данном солевом расплаве значительно подвержены коррозии, а изменять коррозионную активность среды могут прежде всего кислородные примеси (O_2 , O^{2-}), а также соединения, образуемые в результате процесса переработки, а именно хлориды урана (III, IV) и других f-элементов. Поэтому необходимы коррозионные исследования перспективных конструкционных материалов как в чистых галогенидных расплавах и инертной атмосфере, так и в расплавах с вероятными примесями и в окислительной атмосфере.

Таким образом, условия пирохимической переработки ОЯТ обусловили выбор для исследований расплава LiCl-KCl, содержащего оксид лития, хлориды редкоземельных металлов (РЗМ) и хлориды урана (+3, +4).

Целесообразен поиск новых подходов к минимизации коррозионных потерь в расплавленных солях. Одним из таких способов может быть изменение коррозионной активности среды в совокупности с контролем ее окислительно-восстановительного потенциала.

Нержавеющие стали обладают рядом преимуществ перед другими возможными материалами для конструкционного оформления операций переработки ОЯТ, такими, как доступность, легкая механическая обработка и простота изготовления, высокая прочность. В данной работе в качестве объекта исследования выбрана нержавеющая сталь 12Х18Н10Т, экономически и технологически востребованный материал. Оценено влияние состава солевой и газовой фазы на характер деградации стали посредством определения коррозионных характеристик в ходе выдержки в расплаве длительностью до 100 часов.

Научная новизна. Получены количественные характеристики и определены типы коррозии стали 12Х18Н10Т в расплавах LiCl-KCl, содержащих хлориды лантана, церия и неодима, кислородные примеси (O_2 и O^{2-}), а также хлориды урана (+4) и (+3) в различных соотношениях.

Выявлены факторы, определяющие особенности коррозии в исследуемых условиях и конкретизированы механизмы разрушения стали.

Обнаружено изменение механизма деградации исследуемой стали в результате формирования на поверхности слоя $LiCrO_2/LiFeO_2$.

Установлено ингибирующее влияние находящихся в солевом расплаве хлоридов РЗМ ($LaCl_3$, $CeCl_3$, $NdCl_3$), снижающих деградацию стали 12Х18Н10Т за счет формирования на поверхности стали пассивирующего слоя оксихлоридов редкоземельных металлов, в условиях окислительной газовой атмосферы.

Достоверность полученных результатов обеспечена систематическими исследованиями с использованием серии повторных экспериментов, подтверждающих воспроизводимость результатов, использованием современных приборов и средств измерений, информативных методов электрохимического анализа, а также комплексным подходом к инструментальным методам физико-химического анализа. Исследования проводили в перчаточных боксах с высокочистой атмосферой аргона с использованием реагентов высокой степени чистоты.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 18 печатных работах, в том числе в 8 статьях в рецензируемых журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science и рецензируемых журналах из Перечня ВАК, 6 публикациях в материалах конференций и 1 учебном пособии, а также 3 патентах РФ на изобретения.

Соответствие автореферата содержанию диссертации. Автореферат соответствует содержанию диссертации. В нем раскрыто содержание работы, приведены доказательства научных положений, сформулированы выводы и заключение.

Оформление диссертации. Диссертация оформлена в соответствии с ГОСТ 7.0.11-2011. Диссертация и автореферат диссертации содержит большое количество оригинальных авторских систематизаций, таблиц и графиков. Графические материалы созданы с применением современных компьютерных программ.

Практическая значимость работы. Разработана оригинальная установка для изучения коррозии металлических материалов в расплавленных солях, которая обеспечивает учет всех факторов коррозионного процесса и значительно сокращает временные затраты на проведение экспериментальной материаловедческой работы.

Предложены новые способы защиты от коррозии в расплавленных солях, основанные на пассивация продуктами коррозии.

Определено влияние О-В потенциала солевой среды на скорость коррозии стали 12Х18Н10Т с применением различных электродов сравнения, в том числе литиевого динамического электрода сравнения, перспективного для измерения окислительно-восстановительного потенциала в средах технологических операций пирохимической переработки ОЯТ.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Наряду с научной новизной полученные результаты обладают также и практической ценностью, поскольку они будут востребованными при реализации пирохимической технологии переработки отработавшего ядерного топлива. Производственно ориентированными достижениями диссертационной работы являются запатентованная установка для проведения параллельных коррозионных испытаний, конструкция литиевого электрода сравнения для оценки электрохимической активности среды.

Технологическая часть работы содержит значительный объем важной и достоверной экспериментальной информации. Результаты исследований могут быть рекомендованы для использования в высокотемпературном материаловедении.

Замечания и вопросы по содержанию работы:

1. Каковы причины выбора молибдена как материала для индикаторного электрода? (глава 4, стр. 65)

2. Рекомендуете ли вы сталь 12Х18Н10Т для работы в расплавленных солях? (стр. 89) Какими способами можно повысить коррозионную стойкость данной стали?

3. Исследования проводились при температуре 550 °С, но в заключении работы написано, что допустимый рабочий диапазон составляет 550-700 °С. Чем обусловлен выбор температуры проведения эксперимента? Проводились ли исследования при другой температуре? Можно ли использовать вашу технологию при других температурах?

4. Время длительности коррозионных испытаний в работе составило до 100 часов. Чем обусловлен такой выбор времени продолжительности

испытаний? Проводились ли эксперименты по определению достаточной продолжительности коррозионных испытаний?

Изложенные вопросы и замечания не влияют на высокую оценку диссертационной работы. Следует отметить системный подход автора к выполнению комплекса научных работ, имеющих большую фундаментальную и существенную практическую значимость. В работе решена важная научно-техническая задача – установление закономерностей процессов взаимодействия конструкционного материала 12X18H10T и его компонентов с расплавом LiCl-KCl, содержащим хлориды редкоземельных металлов и/или кислород в различных формах, применимости литиевого динамического электрода сравнения в расплаве хлоридов лития и калия для фиксирования окислительно-восстановительного потенциала – как комплексного показателя агрессивности высокотемпературной солевой среды.

Заключение

Диссертация Карфидова Э.А. «Электрохимическая коррозия стали 12X18H10T в расплаве LiCl-KCl, содержащем трихлориды церия, неодима, лантана» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполнена и оформлена на высоком научном уровне, обладает внутренним единством, материал изложен грамотно, логично и квалифицированно, научные и технологические результаты имеют фундаментальный характер и теоретическую и практическую ценность.

Тема диссертации **соответствует паспорту заявленной специальности** «2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии» и отрасли науки. Согласно формуле специальности 2.6.9 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии, в работе изучены закономерности высокотемпературных коррозионных процессов стали 12X18H10T и его компонентов в расплаве LiCl-KCl, содержащем хлориды редкоземельных металлов и/или кислород (п.1 «теоретические основы электрохимических и химических процессов коррозии»),

разработаны способы снижения коррозионных потерь (п.2 «методы защиты конструкционных металлов от коррозии»).

По критериям актуальности, новизны, достоверности полученных соискателем результатов, а также научной и практической значимости диссертационная работа Карфидова Эдуарда Алексеевича «Электрохимическая коррозия стали 12Х18Н10Т в расплаве LiCl-KCl, содержащем трихлориды церия, неодима, лантана» удовлетворяет требованиям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 с изменениями на 26.01.2023, а ее автор, Карфидов Эдуард Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.9. – «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии».

Работа обсуждена на научном семинаре ИМЕТ УрО РАН (протокол б/н от 18.10.2023).

Заместитель директора ИМЕТ УрО РАН

по научной работе, д.ф.-м.н.

Рыльцев Р.Е.

Подпись Рыльцева Р.Е. заверяю

Ученый секретарь ИМЕТ УрО РАН, к.х.н.

Котенков П. В.



«18» октября 2023 г.

Сведения о ведущей организации

Наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии Уральского отделения РАН (ИМЕТ УрО РАН)

Почтовый адрес: 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 101

E-mail: imet.uran@gmail.com

Контактные телефоны: (343) 267-91-24, 232-90-02 *Факс:* (343) 232-91-89