

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИМЕТ УрО РАН

академик РАН, профессор,

доктор физико-математических наук

_____ А.А. Ремпель
подпись

«16» ноября 2023



М.П.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Хвостова Сергея Сергеевича

на тему: «Коррозия стали ЭП-823 в хлоридных расплавах при пирохимической переработке отработавшего ядерного топлива», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.9. – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии

Общая характеристика работы. Диссертационная работа выполнена на предприятии Госкорпорации Росатом Акционерное общество «Институт реакторных материалов» (г. Заречный Свердловской области). Диссертация изложена на 117 страницах машинописного текста, содержит 56 рисунка и 16 таблиц. Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, определены научная новизна и практическая значимость результатов исследования. В первой главе приводится описание современного состояния проблемы замыкания ядерного топливного цикла, а также рассмотрены современные методы переработки смешанного нитридного уран-плутониевого отработавшего ядерного топлива. В главе изложены методы определения коррозионных показателей в

расплавах солей, а также данные из открытых источников о методе нейтронно-активационного анализа. Приведено описание исследуемых материалов и методик исследования. Во второй главе приводятся результаты термодинамических расчетов различных систем «элементы стали ЭП-823–KCl», «элементы стали ЭП-823–LiCl», «элементы стали ЭП-823–PbCl₂», «элементы стали ЭП-823–LiCl–KCl», и «элементы стали в состоянии поставки и окисленном состоянии ЭП-823–LiCl–KCl–PbCl₂». В третьей главе приведены результаты коррозионных испытаний и исследований стали ЭП-823. В заключении проведено обобщение полученных результатов, сформулированы выводы по работе в целом. Список использованной литературы состоит из 79 источников, включая публикации автора по теме диссертации.

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

Актуальность темы. Проект «Прорыв», реализуемый Госкорпорацией «Росатом», нацелен на разработку, создание и промышленную реализацию замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ) на базе реакторов на быстрых нейтронах (БН).

Для реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 разрабатывается технология регенерации СНУП ОЯТ. Использование солевых расплавов, обладающих высокой радиационной стойкостью, позволит ускоренно перерабатывать ОЯТ и обеспечит высокий уровень ядерной безопасности. При пирохимической переработке используемого в этих установках смешанного нитридного уран-плутониевого топлива (СНУП), предполагается его растворение в расплавах хлоридов щелочных металлов с добавлением хлорида свинца.

Извлечение целевых компонентов топлива из отработавших тепловыделяющих элементов (ТВЭЛОВ) с использованием пирометаллургических способов переработки СНУП ОЯТ в расплавах солей щелочных металлов, сопровождается коррозией оболочек ТВЭЛОВ,

изготовление которых предполагается из стали ферритно-мартенситного класса ЭП-823.

При проектировании аппаратов и установок для пирохимической переработки СНУП ОЯТ и отделения его компонентов от стальных оболочек твэлов, необходимо учитывать склонность материалов к коррозии. Высокая коррозионная агрессивность среды, её движение и неоднородный состав в сочетании с высокой температурой технологических операций значительно увеличивают коррозионные потери. Также важную роль при переработке будет играть оксидный слой, образовавшийся на поверхности оболочек твэлов после эксплуатации в РУ БРЕСТ-ОД-300.

В настоящее время имеющаяся в научной литературе информация о коррозии стали ЭП-823 в солевых расплавах при параметрах переработки СНУП ОЯТ немногочисленна и фрагментарна.

Актуальность диссертационной работы Хвостова С.С. обусловлена необходимостью получения и структурирования новых научных данных о коррозионном поведении стали ЭП-823, в том числе при непосредственном контакте со СНУП топливом, в реакционных средах при технологических операциях пирометаллургической переработки СНУП ОЯТ.

Научная новизна.

1. Впервые получены количественные характеристики скорости коррозии стали ферритно-мартенситного класса ЭП-823 в неоксидированном и оксидированном состоянии в расплаве солей эвтектического состава LiCl-KCl-PbCl_2 в диапазоне температур от 500 до 750 °С.

2. Впервые установлено влияние модельного UN топлива на коррозионное поведение стали ЭП-823 в расплавах солей LiCl и 3LiCl-2KCl в зависимости от температуры и содержания PbCl_2 .

Достоверность полученных результатов обеспечена использованием современного оборудования, взаимодополняющих методов определения коррозионных характеристик исследуемых образцов, сходимостью и воспроизводимостью результатов измерений.

В работе использованы следующие методы: гравиметрия, металлография, рентгенофазовый анализ, оптическая и сканирующая электронная микроскопия, микрозондовый рентгеноспектральный анализ, а также модифицированный метод нейтронно-активационного анализа.

Публикации. Основное содержание диссертационной работы отражено в 11 печатных работах, в том числе в 3 статьях в рецензируемых журналах, входящих в базы данных Scopus и Web of Science и рецензируемых журналах из Перечня ВАК, 7 публикациях в материалах конференций и 1 патенте 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.

На основе полученных результатов разработан «Способ переработки тепловыделяющих элементов с нитридным отработавшим ядерным топливом», подтвержденный патентом №RU2707562C1 от 28.11.2019 (Зайков Ю.П. Шишкин В.Ю., Ковров В.А., Потапов А.М., Суздальцев А.В., Голосов О.А., Глушкова Н.В., Хвостов С.С.).

Определено влияние температуры, концентрации $PbCl_2$, контакта с UN, окисления поверхности на коррозию стали ЭП-823 и ее компонентов в расплавах солей $2KCl-3LiCl$ и $2KCl-3LiCl-PbCl_2$.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Рассмотренные в работе методические аспекты исследования коррозионного поведения и массопереноса продуктов коррозии (ПК) стали

ферритно-мартенситного класса ЭП-823 в расплавах солей с использованием нового способа, основанного на методе нейтронно-активационного анализа, будут использоваться для оптимизации схемы переработки СНУП ОЯТ и изучения коррозии конструкционных материалов.

Наряду с научной новизной полученные результаты обладают также и практической ценностью, поскольку они могут быть востребованными для предприятий, институтов и корпораций атомной, металлургической, и перерабатывающей отраслей, в частности для АО «Прорыв» (г. Москва), АО «Сибирский химический комбинат» (г. Северск), АО «Институт реакторных материалов» (г. Заречный), ФГБУН Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН (г. Екатеринбург).

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. Как и для чего проводилось оксидирование стали ЭП-823?
2. Каковы толщина и состав полученного оксидного слоя?
3. Каким образом нитрид урана при контакте со сталью изменяет скорость ее растворения?
4. Каковы составы использованных Вами солевых композиций?
5. Какие выводы можно сделать на основе полученных результатов о применимости исследованной стали в качестве конструкционного материала для технологии переработки ОЯТ?

Изложенные вопросы и замечания не влияют на высокую оценку диссертационной работы. Следует отметить системный подход автора к выполнению комплекса научных работ, имеющих значительную фундаментальную и огромную практическую значимость. В работе решена важная научно-техническая задача – установлены закономерности коррозионного поведения стали ЭП-823 и её основных компонентов в

условиях операции «мягкого хлорирования» при пирохимической переработке СНУП ОЯТ.

Заключение

Диссертация Хвостова С.С. «Коррозия стали ЭП-823 в хлоридных расплавах при пирохимической переработке отработавшего ядерного топлива» 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 коррозионного поведения стали ЭП-823 и её основных компонентов в условиях пирохимической переработки СНУП ОЯТ (п. 5. «Структура и защитные свойства коррозионно-стойкой» стали ЭП-823 при извлечении целевых компонентов топлива из отработавших тепловыделяющих элементов; п. 9. «Экологические вопросы коррозии и электрохимических технологий. Регенерация и утилизация отходов» в части разработки и оптимизации технологии регенерации СНУП ОЯТ для реакторной установки БРЕСТ-ОД-300).

По критериям актуальности, новизны, достоверности полученных соискателем результатов, а также научной и практической значимости диссертационная работа Хвостова Сергея Сергеевича «Коррозия стали ЭП-823 в хлоридных расплавах при пирохимической переработке отработавшего ядерного топлива» удовлетворяет требованиям раздела II «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842 в действующей редакции, а ее автор, Хвостов Сергей Сергеевич, 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 №6 от 16.11.2023).

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.

«16» ноября 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