

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Актуальность работы.

Создание технологии замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), в частности переработка отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) позволит минимизировать проблемы, связанные с ядерной и радиационной безопасностью; стоимостью электроэнергии, получаемой АЭС; с распространением ядерных материалов и захоронением отходов.

Использование солевых расплавов и жидкометаллических сред, обладающих высокой радиационной стойкостью, позволит перерабатывать ОЯТ после минимального времени выдержки и обеспечит высокий уровень ядерной безопасности из-за отсутствия в них замедлителей нейтронов.

Актуальность диссертационной работы Хвостова Сергея Сергеевича не вызывает сомнений, поскольку исследование направлено на получение данных о коррозионном поведении стали ЭП-823, выбранной, в качестве материала оболочек твэлов строящейся реакторной установки (РУ) БРЕСТ-ОД-300, при параметрах, создаваемой в настоящее время технологии пирометаллургической переработки смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) ОЯТ.

В работе получены количественные характеристики коррозионного процесса стали ЭП-823, в неоксидированном и оксидированном состоянии, а также оценено влияние модельного топлива на основе UN в расплавах солей LiCl и 3LiCl-2KCl с различным содержанием хлорирующего агента PbCl₂ при диапазоне температур от 500 до 750 °С.

При выполнении диссертационной работы, впервые применительно к в расплавленным солевым электролитам применен модифицированный соискателем метод нейтронно-активационного анализа для определения скорости коррозии стали и её компонентов.

Обоснованность выбора методов исследования и достоверность полученных данных.

Методы и методики, использованные в работе, для решения поставленных задач и достижения цели являются актуальными и реализованы на современном оборудовании.

Методологическая основа работы – исследования ведущих отечественных и зарубежных учёных в области изучения коррозии сталей ферритно-мартенситного класса.

Для проведения исследования образцов стали ЭП-823, как до, так и после выдержки в расплавах солей использовались методы гравиметрии,

металлографии, рентгенофазового анализа, оптической и сканирующей электронной микроскопии, а также микронного рентгеноспектрального анализа.

Диссертантом впервые применён к коррозионным исследованиям в расплавленных солях модифицированный метод нейтронно-активационного анализа.

Проведены термодинамические расчеты взаимодействия компонентов стали ЭП-823 с расплавами солей в условиях, сходных с реальными технологическими параметрами переработки ОЯТ.

Полученные различными методами данные, дополняют друг друга и согласуются между собой, а также с проведенным термодинамическим моделированием и литературным сведениям о коррозии стали ферритно-мартенситного класса в хлоридных расплавах. Их достоверность подтверждается независимой экспертизой опубликованного материала статей.

Научная новизна результатов.

В результате проведенных исследований впервые установлены закономерности изменения скорости коррозии стали ЭП-823 в зависимости от её состояния (состояние поставки и после оксидирования), состава солевого расплава (LiCl и $3\text{LiCl}-2\text{KCl}$ с добавками PbCl_2), температуры (500 - 750°C) и наличия контакта с модельным СНУП топливом.

Обоснованность и достоверность положений и выводов.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечена использованием взаимодополняющих методов исследования и определения коррозионных характеристик стали ферритно-мартенситного класса, а также сходимостью и воспроизводимостью результатов измерений.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертанта.

В работе подробно рассмотрены методические аспекты исследования массопереноса и растворения основных компонентов стали ЭП-823 в расплаве солей при параметрах разрабатываемой технологии пирометаллургической переработки СНУП ОЯТ.

Предложен модифицированный автором метод нейтронно-активационного анализа для определения скорости перехода в расплав основных компонентов стали.

Полученные данные могут быть использованы для оценки коррозионной стойкости сталей ферритно-мартенситного класса при разработке и оптимизации комбинированной технологии переработки СНУП ОЯТ.

Диссертационная работа написана грамотно и обладает внутренним единством, оформлена согласно существующим стандартам и требованиям. Содержание диссертационной работы и автореферата соответствует поставленным и решенным научным задачам.

При ознакомлении с диссертацией возникли следующие вопросы, а также замечания по содержанию и оформлению:

1. Чем обусловлен выбор концентрации $PbCl_2$ 1 и 2 мольных %?
2. Каким методом устанавливали состав оксидного слоя после предварительного окисления образцов?
3. На стр. 50. Приведены результаты моделирования. Проводилась ли экспериментальная проверка образующихся веществ и подтверждено ли образование соединения K_3NbCl_7 ?
4. В чём состоит уверенность в достаточности 24 часов испытаний для установления закономерности коррозионного поведения стали ЭП-823 в солях? Почему не может быть изменения механизма коррозионного процесса (вплоть до полной деградации) на более длительных выдержках, соизмеримых с длительностями реального процесса?
5. На стр. 53. приведено описание внешнего вида образцов после испытаний в течение 24 часов. Чем объясняется такое многообразие цветовой гаммы продуктов окисления на разных частях образцов, в частности, наличие оксидной плёнки чёрного цвета на образцах?
6. На стр. 55. приведена фраза с использованием не очень распространённого термина: «на поверхности образца № 1-7 в слое оксида обнаружены нодульные вздутия». Чем обусловлена необходимость использования подобного термина, является ли образование вздутий систематическим и какие причины образования могут быть? Объяснение автора о связи вздутий с неоднородностью структуры выглядит слишком общим и требует пояснений.
7. При анализе коррозионных процессов, происходящих в исследованных системах, требуется уделить внимание представлению данных и межкристаллитной коррозии. Например, на стр. 80 фраза «максимальная глубина МКК достигала ~51 мкм» не даёт представления об удельной скорости коррозии, которая, с учётом небольшого времени испытаний, может быть достаточно высокой и неприемлемой для использования исследуемых систем без средств защиты. При дальнейших исследованиях необходимо учесть результаты сравнительного анализа скоростей коррозии в удельных величинах, в том числе по глубине (мкм/год), а не только по убыли с поверхности образца ($г/(м^2 \cdot ч)$).
8. Как влияют на технологию переработки СНУП ОЯТ процессы коррозии с точки зрения изменений материального баланса, в т.ч. с учётом перехода различных компонентов в расплав солей и газовую фазу?
9. Каким образом результаты исследования могут быть учтены при дальнейшей оптимизации схемы пирохимической переработки СНУП ОЯТ?
10. На стр.2 в оглавлении работы пропущена Глава I с названием, в диссертации встречаются опечатки, не мешающие восприятию текста.

Имеющиеся замечания не являются принципиальными и не снижают общего положительного впечатления, которое производит работа.

Заключение

Диссертационная работа Хвостова С.С. представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком экспериментальном уровне, в котором решена важная для развития технологии переработки СНУП ОЯТ задача, а именно изучено коррозионное поведение стали ферритно-мартенситного класса ЭП-823 в расплавленных солевых электролитах. Содержание работы достаточно полно отражено в опубликованных работах.

Диссертационная работа Хвостова Сергея Сергеевича «Коррозия стали ЭП-823 в 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 заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 2.6.9. «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии».

Кандидат химических наук,
руководитель направления,
Группы подготовки научно-технических
проектов частного учреждения «Наука и
инновации» Госкорпорации «Росатом»

119017 г. Москва,
ул. Большая Ордынка, 44, стр4;
Раб. тел.: +7 (499) 558 10 25 доб. 6870;
e-mail: IvASafonov@rosatom.ru

Сафонов Иван
Александрович
27.11.2023

Подпись к.х.н. И.А. Сафонова удостоверяю

Руководитель направления,
Управления по работе с персоналом
Частного учреждения «Наука и инновации»
Госкорпорации «Росатом»



Терехова А.А.