

Из рисунков видно, что порошки имеют вполне определенную микро кристаллическую структуру. Полученные дифрактограммы подтверждают как чистоту, так и состав боридов.

Список литературы

1. *Matkovich V.I.* // Boron and Refractory Borides. Springer-Verlag. Berlin. 1977.
2. *Segawa K., Tomita A.* // Magn. and Mag. Mat. 1992 V.104. P. 1233–1234.
3. *Taran A.* // Electron Devices. 2009. V. 56. P. 812–817.
4. *Goebel D., Chu E.* // Propulsion and Power. 2013. V. 30. P. 35–40.
5. *Каримов К.Р., Шуров Н.И., Чернов Я.Б., Филатов Е.С.* // Электрохимический способ получения порошка гексаборида кальция. Патент РФ № 2539593.
6. *Филатов Е.С., Чернов Я.Б., Шуров Н.И.* // Электрохимический способ получения порошков гексаборидов стронция и бария. Патент РФ № 2658835
7. *Филатов Е.С., Чернов Я.Б., Шуров Н.И., Чухванцев Д.О., Рожнецев Д. А.* // Электрохимический способ получения микродисперсных порошков гексаборидов металлов лантаноидной группы. Патент РФ № 2722753.

УДК 544.654.2:669.546.62

ВЛИЯНИЕ UN НА ПОВЕДЕНИЕ СТАЛИ ЭП-823Ш В РАСПЛАВАХ СОЛЕЙ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПАРАМЕТРАХ «МЯГКОГО ХЛОРИРОВАНИЯ»

С.С. Хвостов¹, О.А. Голосов¹, Е.В. Никитина^{2*}, Э.А. Карфилов²,
Н.В. Глушкова¹, Ю.П. Зайков², Н.А. Казаковцева²

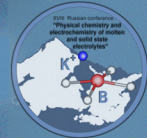
¹АО «Институт реакторных материалов», г. Заречный, Россия

²Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия
*e-mail: neekeetina@mail.ru

В настоящее время для реакторной установки БРЕСТ-ОД-300 с пристанционным ядерным топливным циклом предложено использование смешанного нитридного уран-плутониевого (СНУП) топлива.

Для рециклирования отработавшего СНУП топлива предполагается использование пирохимических методов его переработки и извлечения целевых компонентов. Данные методы позволяют с применением солевого расплава хлоридов щелочных металлов растворять отработавшее ядерное топливо (ОЯТ), а затем с помощью электролиза разделять целевые компоненты, включая уран и плутоний.

При этом одной из стадий в этих процессах будет являться извлечение целевых компонентов топлива из отработавших тепловыделяющих



элементов с использованием, так называемых методов «мягкого» хлорирования СНУП ОЯТ в расплавах солей щелочных металлов.

В качестве материала оболочек тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов) в реакторной установке БРЕСТ-ОД-300 выбрана ферритно-мартенситная сталь ЭП-823Ш. Выбор стали обусловлен высокой стойкостью сталей указанного класса к радиационному набуханию.

Результатом этого будет являться жесткая «посадка» оболочек ТВЭЛов из стали ЭП-823Ш на набухающие таблетки облученного СНУП топлива, что будет приводить к механическому гальваническому контакту топлива и оболочек ТВЭЛов, обладающих различными электродными потенциалами в расплавах солей щелочных металлов. В настоящее время в литературе отсутствуют данные о влиянии нитридного топлива на коррозионное поведение облученной стали ЭП-823Ш в расплавах хлоридов щелочных металлов.

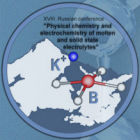
Представлены результаты коррозионного поведения облученной ферритно-мартенситной стали ЭП-823Ш в неоксидированном и оксидированном состояниях в присутствии таблеток модельного топлива из моонитрида обедненного урана UN при температурах 650 и 750°C в расплавах солей щелочных металлов LiCl и в расплавах эвтектического состава 3LiCl-2KCl с добавками PbCl₂.

Образцы стали исследовались в неоксидированном состоянии (в состоянии поставки с завода) и оксидированном состоянии после термического отжига на воздухе при 800°C в течение 30 часов.

С целью имитации фрагментов ТВЭЛов реактора БРЕСТ-300-ОД, таблетки из UN размещали внутри образцов стали. Для размещения топливных таблеток из UN, имеющих больший диаметр по сравнению с внутренними размерами образцов стали, последние разрезались вдоль механически фрезой толщиной 0.25 мм и разворачивались до образования внутреннего диаметра ~6.8 мм. Образцы моонитрида урана представляли собой цилиндры производства ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. А.Е. Забабахина» диаметром 6.5±0.1 мм и высотой 5.9±0.7 мм, плотностью 11.3 г/см³.

Коррозионные испытания образцов проводили в перчаточном боксе и в подготовленной для данной работы установке, включающей в себя шахтную печь, газовакуумный стенд, манувакууметр, термпарный интерфейс с цифровой индикацией температуры, ПК с ПО для оперативной индикации протекания кинетических процессов и накопления данных.

При подготовке к проведению испытаний, образцы крепили к держателю и далее помещали в алундовые тигли. После чего в тигель засыпали коррозионные среды и опускали в ампулы из кварцевого стекла диаметром 54x2 мм и высотой 350 мм и далее заполняли особо чистым аргоном. Испытания приводили при двух температурах – 650±5 и



$750 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 5 часов в двух коррозионных средах: в расплаве LiCl и в эвтектической смеси солей следующего состава $2\text{KCl}-3\text{LiCl}$.

В обе среды вводились добавки PbCl_2 в количестве, на 30% превышающем величину стехиометрического соотношения реакции обмена и двукратным превышением первой



По окончании испытаний в коррозионной среде, образцы с держателями извлекались из расплава солей на высоту путем вытягивания через пробку цилиндрического штока, соединенного жестко с держателем образцов. Это позволяло более строго контролировать время контакта образцов с коррозионной средой и значительно упрощало извлечение образцов из тиглей по окончании экспериментов. Для исследования коррозионных потерь массы образцов стали ЭП-823Ш при влиянии температуры и состава расплавов солей в образцы стали вводили радиоактивные метки в виде радионуклидов ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe и ^{60}Co путем нейтронной активации в исследовательской ядерной установке ИВВ-2М. Облучение образцов стали ЭП-823Ш проводили в «сухом» канале АК-1, до набора флюенса $1,2 \cdot 10^{17}$ нейтр./ см^2 по всему спектру нейтронов.

Принимая во внимание, что активность радионуклидов в образце пропорциональна содержанию компонентов в стали, произведен расчет масс легирующих и основных компонентов стали в образцах стали и плавах солей после коррозионных испытаний. Произведена оценка перехода компонентов стали в расплав солей в абсолютных значениях массы.

Расчет значений средних скоростей коррозии i -го элемента стали ЭП-823Ш в расплавах солей проводили по выражению:

$$K_i = m_i / (S \cdot t), \quad (2)$$

где K_i – средняя скорость коррозии i -го элемента стали, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; m_i – убыль массы i -го элемента стали, г; S – площадь поверхности образца, м^2 ; t – длительность коррозионных испытаний, ч.

Среднюю скорость коррозии стали ЭП-823Ш в расплавах солей определяли по выражению:

$$K_{\text{ЭП-823Ш}} = (m_{\text{Cr}} + m_{\text{Mn}} + m_{\text{Fe}}) / (S \cdot t), \quad (3)$$

где $K_{\text{ЭП-823Ш}}$ – средняя скорость коррозии стали ЭП-823Ш, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$; m_{Cr} – масса хрома в пробе плава, г; m_{Mn} – масса марганца в пробе плава, г; m_{Fe} – масса железа в пробе плава, г; S – площадь поверхности образца, м^2 ; t – длительность коррозионных испытаний, ч.

Анализ поверхности, а также приповерхностных слоев образцов стали после коррозионных испытаний проводили при помощи скани-



рующего электронного микроскопа «TESCAN Mira3 LMU», оснащенного системой энерго-дисперсионного анализа характеристического рентгеновского излучения (ХРИ) x-Act 6 фирмы «Oxford Instruments». Состояние поверхности образцов исследовалось с использованием детекторов как вторичных (SE), так и отраженных (BSE) электронов.

Гамма-спектрометрические исследования по определению γ -активности радионуклидов в образцах стали ЭП-823Ш, плавов солей, возгонов солей на поверхности испытательных ампул проводились на гамма-спектрометре «CANBERRA b13001», предназначенном для идентификации радионуклидного состава гамма-излучающих материалов и определения активности идентифицированных радионуклидов. Гамма-спектрометр «CANBERRA b13001» содержит германиевый g -детектор типа «GC1018» и анализатор гамма-квантов «DSA-1000». Для обработки результатов использовалось программное обеспечение «Genie-2000» (CANBERRA, USA). Измерения активности γ -излучающих радионуклидов в образцах ЭП-823Ш и в плавах солей проводилось на расстоянии 270 мм от крышки детектора.

Определены средние скорости коррозии стали ЭП-823Ш и ее основных компонентов (Fe, Cr, Mn) в состоянии контакта и его отсутствии с таблетками модельного топлива из UN в расплаве солей щелочных металлов LiCl и 3LiCl-2KCl с добавками PbCl₂.

Работа выполнена в рамках НИОКР «Разработка технологии и оборудования для пирохимической переработки ОЯТ реакторов на быстрых нейтронах» проектного направления «Прорыв».

УДК 544

ВЯЗКОСТЬ И ДИАПАЗОН ГОМОГЕННОСТИ KF-KCl-K₂SiF₆ ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КРЕМНИЯ ЭЛЕКТРОЛИЗОМ

А.О. Худорожкова*, А.В. Исаков, А.А. Редькин, Ю.П. Зайков

Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

**e-mail: XAO_LEHG@ihte.uran.ru*

Перспективными расплавами для получения кремния в компактном виде являются расплавы на основе KF-KCl-K₂SiF₆ [1]. Согласно фазовой диаграмме [2] электролит представляет собой близкий к эвтектическому состав в тройной системе KF-KCl-K₂SiF₆. Это предоставляет наиболее выигрышные условия при выборе температуры промышленного процесса.