

УДК 620.143

КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ СТАЛИ ЭП-823 В РАСПЛАВАХ ХЛОРИДОВ ЩЕЛОЧНЫХ МЕТАЛЛОВ

С.С. Хвостов^{1*}, О.А.Голосов¹, Ю.П. Зайков², Е.В. Никитина²

¹АО “Институт реакторных материалов – ИРМ”, Заречный, Россия

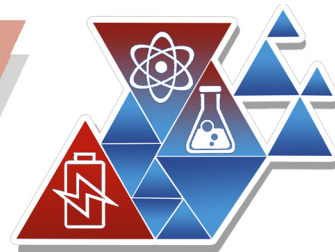
²Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия

*e-mail: khvostov_ss@irmatom.ru

В настоящее время разрабатываются технологии регенерации смешанного нитридного уран-плутониевого отработавшего ядерного топлива (СНУП ОЯТ) для РУ БРЕСТ-ОД-300, в том числе с использованием пирохимического способа мягкого хлорирования в расплавах хлоридов щелочных металлов для отделения топлива от оболочек ТВЭЛов, изготовленных из обладающей высокой радиационной стойкостью ферритно-мартенситной стали ЭП-823.

В работе представлены результаты статических коррозионных испытаний стали ЭП-823 в эвтектических смесях солей $2\text{KCl}-3\text{LiCl}$ и $2\text{KCl}-3\text{LiCl}$ с добавкой 1 мол. % PbCl_2 при 500 и 650°C в течение 24 ч. Метод нейтронно-активационного анализа применен для исследования коррозионного поведения стали ЭП-823 в неоксидированном и термически оксидированном на воздухе состоянии до толщины оксидной пленки ~12,5 мкм. Образцы стали ЭП-823 были предварительно облучены в исследовательском ядерном реакторе ИВВ-2М до набора флюенса нейтронов порядка $\sim 2,9 \cdot 10^{17}$ н/см². Из анализа возможных ядерных реакций легирующих и примесных элементов стали ЭП-823 в составе исследуемых образцов наибольшую активность в исследуемых образцах имели радионуклиды ⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co, ⁹⁹Mo, ¹⁸⁷W. Однако периоды полураспада последних двух, равные соответственно 66,02 и 23,9 ч, а также ¹²⁴Sb были значительно меньше времени подготовки и проведения коррозионных испытаний. Поэтому в образцах после коррозионных испытаний было выявлено наличие только четырех радионуклидов ⁵¹Cr, ⁵⁴Mn, ⁵⁹Fe, ⁶⁰Co. Значения активности радионуклидов в образцах в исходном состоянии были близки, что свидетельствует об адекватных условиях облучения образцов в реакторе.

Показано, что коррозия стали и переход продуктов коррозии в расплавы солей имеют избирательный характер. Повышение температуры испытаний и введение PbCl_2 в расплав солей $\text{KCl}-\text{LiCl}$ в количестве одного мольного процента приводит к увеличению скорости коррозии и перехода продуктов коррозии стали в расплав почти на два порядка. Выявлено, что наличие предварительно нанесенной оксидной пленки на поверхности стали ЭП-823 не является препятствующим фактором в коррозионном взаимодействии стали с расплавами $\text{KCl}-\text{LiCl}-n\text{PbCl}_2$ (табл. 1).



Для оценки скорости коррозии стали ЭП-823 в расчет принимали только убыли массы Fe, Cr и Mn, убылью массы остальных элементов стали пренебрегали по причине их высокой коррозионной устойчивости (такие элементы как Mo, W, Si, Ni) или малого содержания (Nb, V).

Таблица 1. Средняя скорость коррозии стали ЭП-823 и ее компонентов в расплавах солей $2\text{KCl}-3\text{LiCl}$ и $2\text{KCl}-3\text{LiCl}-n\text{PbCl}_2$.

Материал	Температура, °C	Средняя скорость коррозии, г/(м ² · ч)		
		KCl–LiCl	KCl–LiCl–nPbCl ₂	KCl–LiCl–nPbCl ₂ , (предварительное оксидирование)
Mn	500	$4,42 \cdot 10^{-5}$	$3,72 \cdot 10^{-4}$	$8,36 \cdot 10^{-3}$
	650	$1,41 \cdot 10^{-3}$	$2,00 \cdot 10^{-2}$	$2,41 \cdot 10^{-2}$
Cr	500	$1,56 \cdot 10^{-4}$	$1,56 \cdot 10^{-2}$	$1,07 \cdot 10^{-1}$
	650	$4,73 \cdot 10^{-2}$	$1,20 \cdot 10^0$	$1,41 \cdot 10^0$
Fe	500	$8,73 \cdot 10^{-4}$	$1,16 \cdot 10^{-1}$	$3,42 \cdot 10^{-1}$
	650	$1,20 \cdot 10^{-2}$	$5,91 \cdot 10^0$	$8,04 \cdot 10^0$
ЭП-823	500	$1,07 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^{-1}$	$4,51 \cdot 10^{-1}$
	650	$6,07 \cdot 10^{-2}$	$7,13 \cdot 10^0$	$9,48 \cdot 10^0$

Получены выражения для расчета значений средних скоростей коррозии стали ЭП-823 и ее компонентов (Fe, Cr, Mn), в расплавах солей $2\text{KCl}-3\text{LiCl}$ и $2\text{KCl}-3\text{LiCl}-n\text{PbCl}_2$ и значения констант $K_{i,0}$, $K_{\text{ЭП},0}$, Q_i и $Q_{\text{ЭП}}$ (табл. 2).

Константы температурной зависимости средних скоростей коррозии i -го элемента стали ЭП-823 K_i , Q_i и самой стали $K_{\text{ЭП}}$, $Q_{\text{ЭП}}$ определяли из выражения Аррениуса

$$K_i = K_{i,0} \cdot \exp(-Q_i/RT), \quad (1)$$

$$K_{\text{ЭП}} = K_{\text{ЭП},0} \cdot \exp(-Q_{\text{ЭП}}/RT), \quad (2)$$

где $K_{i,0}$ и $K_{\text{ЭП},0}$ – константы, зависящие от состава, состояния стали ЭП-823 и состава коррозионных сред; Q_i и $Q_{\text{ЭП}}$ – кажущиеся энергии активации коррозии соответственно i -го элемента стали ЭП-823 и самой стали в расплавах солей.



Таблица 2. Средняя скорость коррозии стали ЭП-823 и ее компонентов в расплавах солей $2\text{KCl}-3\text{LiCl}$ и $2\text{KCl}-3\text{LiCl}-n\text{PbCl}_2$.

Материал	Параметр	$\text{KCl}-\text{LiCl}$	$\text{KCl}-\text{LiCl}-n\text{PbCl}_2$	$\text{KCl}-\text{LiCl}-n\text{PbCl}_2$ (предварительное окислирование)
ЭП-823	$K_{\text{ЭП,о}}, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	7,81	9,78	7,79
	$Q_{\text{ЭП}}, \text{кДж}/\text{моль}$	158,87	153,40	119,97
Fe	$K_{\text{Fe,о}}, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	3,95	9,57	7,97
	$Q_{\text{Fe}}, \text{кДж}/\text{моль}$	103,25	154,66	124,15
Cr	$K_{\text{Cr,о}}, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	11,46	9,80	5,92
	$Q_{\text{Cr}}, \text{кДж}/\text{моль}$	224,88	170,96	93,21
Mn	$K_{\text{Mn,о}}, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$	4,89	7,22	5,91
	$Q_{\text{Mn}}, \text{кДж}/\text{моль}$	136,27	156,75	131,25