

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННОЙ ЙОДНОЙ КОРРОЗИИ В МЕТАЛЛАХ, ОБЛУЧЕННЫХ ПРОТОНАМИ

С.С. Зырянов, А.В. Кружалов, Ф.Г. Нешов, О.В. Рябухин
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н. Ельцина»,

ул. Мира 21, 620002, Екатеринбург, Россия, тел. 375-47-11, e-mail: rov@dpt.ustu.ru

Рассмотрено влияние йодной среды и относительной влажности на коррозию образцов Fe, Cr, Ni и нержавеющей стали 1X18H10T без облучения и при облучении протонами. Получены спектры резерфордовского обратного рассеяния, установлено содержание йода в образцах и распределение его по глубине.

Введение

В ядерной энергетике реакторные материалы подвергаются существенному воздействию таких параметров, как давление, температура и облучение различными типами ионизирующих излучений. Сочетанное воздействие этих факторов приводит к деградации свойств материалов, сопровождающейся потерей механической прочности, коррозионной устойчивости и др.

Исследование свойств материалов, находящихся в таких условиях, затруднено в связи с необходимостью размещения образцов вблизи реактора и последующей выдержкой для радиационного «остывания», либо использовать для исследования образцы конструктивных узлов реактора, вышедших из эксплуатации, что тоже связано с существенными временными затратами. Использование облучения материалов заряженными частицами помогает существенно ускорить исследования. Так, например, в [1-3] проведено моделирование эффектов коррозии в железе и стали, протекающих при одновременном воздействии окружающей среды и протонного облучения.

В атомной промышленности одним из видов специфической коррозии является коррозия материалов под действием газовых продуктов деления и, в частности, йода. При этом дополнительным фактором воздействия является ионизирующее излучение. Основными конструктивными материалами, подвергающимися активному воздействию коррозионных процессов в йодной среде, являются железо, цирконий и их сплавы. В данной работе проведено сравнение воздействия облучения йодной среды на поверхность металлических образцов без облучения и при облучении протонами.

Основная часть

Для исследования были изготовлены образцы из следующих металлов: Fe, Cr, Ni; а также из нержавеющей стали 1X18H10T. Образцы были отшлифованы и отполированы, далее обезжиривались этиловым спиртом. По одному из образцов каждого металла были помещены в герметичные емкости с йодной средой определенной влажности. Влажность и температура контролировалась с помощью прибора ИВТМ-7. Один набор образцов выдерживался в условиях естественной влажности помещения (относительная влажность 15-20 % при температуре окружающей среды 25°C), другой в условиях повышенной

влажности (относительная влажность 70-75% при температуре окружающей среды 25°C) в течение 48 часов. Расчетное [4] давление насыщенных паров йода в емкости, при температуре 25°C, составляла 0,35 мм рт. ст., чему соответствует концентрация йода в объеме камеры $4,78 \cdot 10^{-6}$ г/см³.

Такой же набор образцов Fe, Cr, Ni; стали 1X18H10T подвергался облучению протонами с энергией 5,7 МэВ в йодной среде. Пучок протонов выводился в камеру облучения через титановую фольгу толщиной 50 мкм и попадал на образец. В исследовательской камере поддерживалась концентрация йода $4,78 \cdot 10^{-6}$ г/см³ и относительная влажность 15-20% (70-75%). Ток пучка составлял 100 нА. Облучение проводилось в течение 2 часов. Итоговый флюенс составил $1,5 \cdot 10^{16}$ частиц/см².

Поверхность модифицированных образцов исследовалась методом резерфордовского обратного рассеяния (POP) при облучении ионами гелия (3 МэВ) и оптической микроскопии с использованием микроскопа OLYMPUS GX51.

Ниже представлены спектры POP от образцов стали, выдержанных в йодной среде без облучения и при облучении протонами. В таблицах показаны максимальные содержание и глубина проникновения йода в образцах.

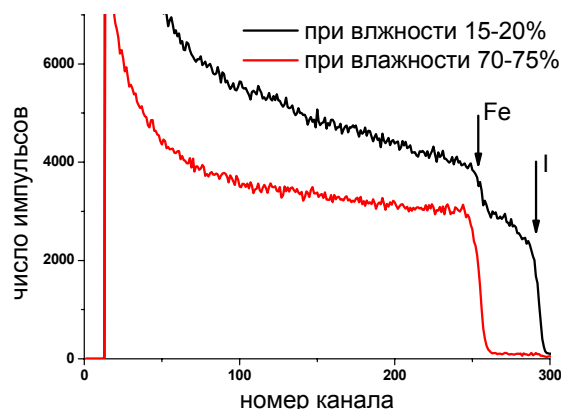


Рис. 1. Спектр POP от стали 1X18H10T, выдержанной в йодной среде без облучения.

Анализ спектров POP и профилей распределения йода показывает, что наибольшее содержание йода наблюдается в образцах Ni и стали (без облучения) и Ni, Cr, стали — при облучении. Для стали выдержка в йодной среде без облуче-

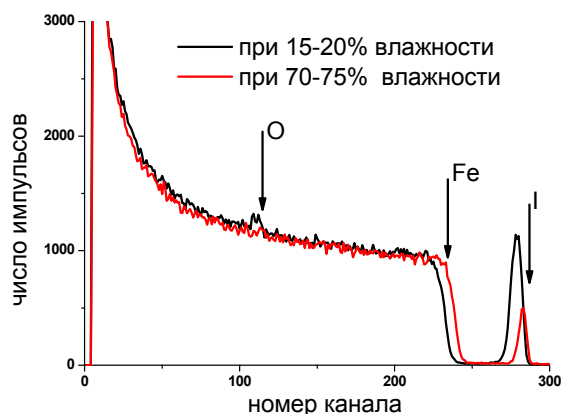


Рис. 2. Спектр POP от стали 1X18N10T, подвергшейся облучению в йодной среде.

Таблица 1. Содержание йода в образцах, выдержанных в течение 48 часов в йодной среде.

Образец	Относительная влажность, %	Распределение йода	
		Максимальная концентрация йода, ат%	Максимальная глубина распределения йода, мкм
Fe	15-20	3,4	2
	70-75	2,5	более 2
Cr	15-20	0,2	0,02
	70-75	0,6	0,04
Ni	15-20	5	0,07
	70-75	42	более 1,64
1X18N10T	15-20	22	более 1,77
	70-75	0,7	0,35

Таблица 2. Содержание йода в образцах, облученных протонами йодной среде.

Образец	относительная влажность, %	Распределение йода	
		Максимальная концентрация йода, ат%	Максимальная глубина распределения йода, мкм
Fe	15-20	0,9	1,12
	70-75	4,8	1,26
Cr	15-20	18,5	0,37
	70-75	10	0,49
Ni	15-20	5	0,46
	70-75	19	0,42
1X18N10T	15-20	23	0,58
	70-75	13	0,47

ния и при облучении при относительной влажности 15-20% дает одно и то же содержание йода в образцах, однако меньшее время выдержки (2 ч) свидетельствует о более интенсивном проникновении йода вглубь образца. При относительной

влажности 70-75% облучение протонами приводит к увеличению содержания йода в стали на порядок. В наибольшей степени воздействие протонами сказывается на хром, в облученных образцах которого содержание йода возрастает на порядок при заданных значениях влажности. Для железа и никеля можно отметить общее увеличение содержания йода в образцах при облучении (с поправкой на время облучения). Для облученных образцов наблюдаются схожие значения глубин распределения йода (0,4-1,2 мкм), тогда как без облучения йод находится на глубинах от 0,02 мкм (в Cr) до 1,77 мкм и более, что позволяет предположить диффузию йода по локальным повреждениям, образующимся при облучении протонами. На всех облученных образцах отчетливо выделяются две зоны с различным содержанием йода – место попадания пучка протонов, и зона, лежащая выше этого места. Максимальная концентрация йода наблюдается в месте попадания пучка (она же представлена в таблицах), в зоне, лежащей выше места попадания пучка концентрация йода составляет 0,24-1 ат.% для всех образцов. Ниже места попадания пучка следов йода не наблюдается.

Закключение

Полученные результаты показывают однозначное влияние облучения протонами на поведение йода в приповерхностном слое конструктивных материалов, что позволяет использовать данный способ для моделирования процессов коррозии в условиях одновременного воздействия йодной среды и радиационного фактора. Сходство радиационных повреждений при облучении нейтронами и протонами позволяет прогнозировать изменение характеристик материалов в условиях сочетанного воздействия нейтронных потоков и газовых продуктов деления в ядерных реакторах существенно сокращая сроки получения экспериментальных данных. Для определения количественных характеристик параметров, описывающих накопления йода, его диффузию в образцы, требуется проведение дополнительных систематических исследований.

Список литературы

1. Lapuerta S., Béreard N., Moncoffre N., et al. // Journal of Nuclear Materials. - 2007, accepted manuscript.
2. Рябухин О.В., Нешов Ф.Г., Семенкин В.А., Оштрах М.И. // Изв. вузов. Физика. - 2009. - 11. - С. 212.
3. Teyssyre S., Jiao Z., West E., Was G.S. // Journal of Nuclear Materials. - 2007. - 371. - P. 107-117.
4. Славинский М.П. Физико-химические свойства элементов. - М. ГНТИЛ по черной и цветной металлургии, 1952. - 764 с.

SIMULATION OF RADIATION-ENHANCED IODINE CORROSION

S. Zyryanov, A. Kryzhalov, F. Neshov, O. Ryabyhin
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg, Russia, e-mail: rov@dpt.ustu.ru

The influence of iodine environment and relative humidity on corrosion of Fe, Ni, Cr and stainless steel 1H18N10T specimen without proton irradiation and with it was studied. Using Rutherford backscattering concentrations of iodine and its' depth profiles was determined.