

ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ 08X18H10T ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВЭР-1000

*В.С. Неустроев, В.Г. Дворецкий, З.Е. Островский, В.К. Шамардин, Г.А. Шиманский
ГНЦ РФ НИИАР, г. Димитровград, Ульяновская область, Россия*

Проведены исследования направляющего канала (сталь 08X18H10T) ПЭЛ ТВС реактора ВВЭР-1000, облученного при температурах 285...320 °С в интервале повреждающих доз от 1 до 9 сна. При исследовании микроструктуры обнаружены вакансионные поры при температурах 305 и 310 °С при повреждающих дозах 8 и 4.5 сна соответственно. Получены дозные зависимости характеристик механических свойств стали 08X18H10T при температурах испытания 20, 300 и 450°С. Наблюдаются упрочнение и снижение пластичности стали с ростом повреждающей дозы при всех температурах испытания. Проведено сравнение полученных результатов с результатами исследования стали 12X18H10T, облученной в реакторах на быстрых нейтронах. Обнаружено, что температурная граница появления вакансионной пористости примерно одинакова для облученных в различных реакторах сталей и составляет 305°С. Уменьшение скорости набора дозы приводит к увеличению распухания стали. Упрочнение стали, облученной в реакторе на быстрых нейтронах, больше, чем облученной в реакторе на тепловых нейтронах при одинаковых условиях облучения (280...300°С, 7...9 сна).

ВВЕДЕНИЕ

Применительно к аустенитным сталям особенно актуальной в последнее время стала проблема низкотемпературного распухания и вызванного распуханием охрупчивания данных сталей, а также влияния на эти радиационные эффекты скорости набора дозы [1-3]. Реакторы на быстрых нейтронах (прежде всего БОР-60) оказались наиболее пригодными для изучения этих проблем в связи со сравнительно низкой температурой натрия на входе, составляющей 320...340 °С. Это обстоятельство дает возможность проведения экспериментальных исследований на специальных образцах, на материалах элементов активной зоны и бокового экрана, отвечая на ряд вопросов, относящихся к поведению материалов внутрикорпусных устройств (ВКУ) реакторов ВВЭР. Например, как влияет нейтронный спектр, скорость набора повреждающей дозы на развитие таких явлений, как радиационное распухание, радиационное охрупчивание, радиационная ползучесть и релаксация напряжений, которые и определяют в значительной степени работоспособность конструкций ВКУ. Кроме того, образцы стали X18H10T, облученной непосредственно в реакторе ВВЭР-1000, также представляют очень большой интерес при изучении и сравнении этих радиационных явлений в материалах, облученных в различных реакторах.

Настоящая работа посвящена изучению микроструктуры, распухания и изменения механических свойств стали X18H10T, облученной в реакторе ВВЭР-1000 и других реакторах с различными скоростями набора дозы при температурах, возможных во время эксплуатации ВКУ реакторов ВВЭР.

1. МАТЕРИАЛЫ. УСЛОВИЯ ОБЛУЧЕНИЯ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы. Исследовали направляющий канал НК (труба диаметром 12.6 мм, толщиной стенки 0.8 мм, длиной 4 м), изготовленный из стали 08X18H10T (табл.1). Кроме того, в работе используется для сравнения массив результатов, полученных при исследовании шестигранных чехлов ТВС и экранных сборок (размер «под ключ» – 44 мм, толщина стенки – 1 мм) из стали 12X18H10T, облученных в реакторе БОР-60. Химический состав сталей, из которых изготавливали чехлы экранных сборок и ТВС, приведены в табл. 1. Термообработка сталей – аустенизация при 1100°С, выдержка 30 мин, охлаждение на воздухе. В таблице также приведены интервалы изменения содержания отдельных элементов этих сталей.

Таблица 1

Химический состав исследуемых аустенитных сталей, масс.%

Марка стали	C	Cr	Ni	Mn	Si	Ti	Fe
08X18H10T	0.07...0.08	17.1...18.5	9.6...10.2	1.0...1.2	0.40...0.43	0.56...0.68	Ост.
12X18H10T	0.08...0.12	18.1...18.9	10.2...10.7	1.3...1.4	0.73...0.77	0.47...0.49	Ост.

Условия облучения НК. Направляющий канал ПЭЛ облучался в ТВС (рис.1) на периферии активной зоны (рис.2) реактора ВВЭР-1000 (блок №3 Ровенской АЭС) в течение трех топливных циклов до максимальной повреждающей дозы

примерно 9 сна. Оценка максимальной повреждающей дозы сделана экспериментально-расчетным методом на основе активационного анализа образца, вырезанного из направляющего канала на уровне центра активной зоны.

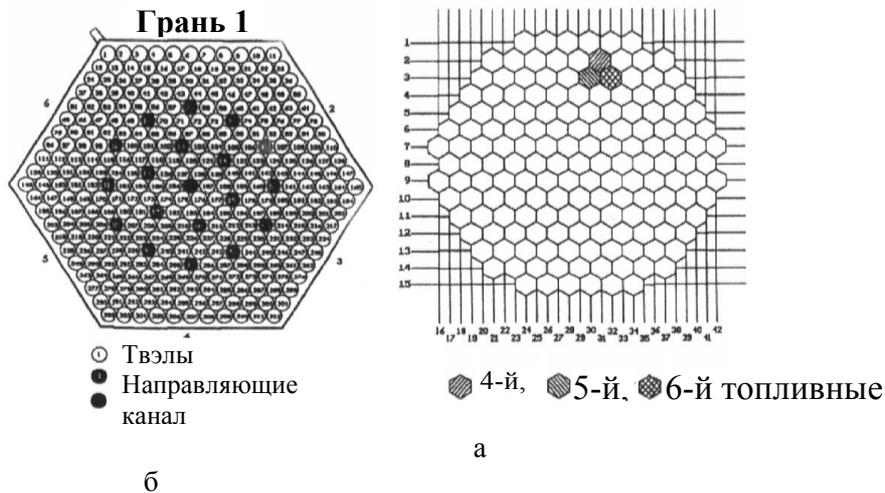


Рис.1. Расположение исследованного направляющего канала в сечении ТВС (а) и расположение ТВС в активной зоне реактора ВВЭР-1000 – 3-го блока Ровенской АЭС во время эксплуатации в 4-м, 5-м, 6-м топливных циклах (б)



Рис.2. Распределение повреждающей дозы и температуры облучения по высоте направляющего канала. Квадратиками показано положение образцов, вырезанных из НК для исследования микроструктуры и механических свойств стали 08X18H10T

Максимальная скорость набора дозы для направляющего канала составляет $1.3 \cdot 10^{-7}$ сна/с. Температура на входе в ТВС менялась в течение трех топливных циклов от 284 до 287 °С (среднее значение 285 °С), а на выходе ТВС – от 310 до 322 °С (среднее значение – 314 °С). По высоте активной зоны считали изменение температуры линейной функцией. Распределение повреждающей дозы, сделанное на основе измерения активности изотопа Mn-54, а также положение вырезанных образцов по высоте направляющего канала приведено на рис.3.

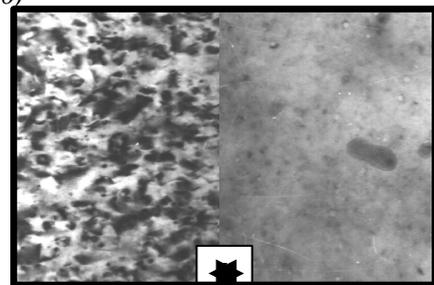


Рис.3. Микроструктура образца стали 08X18H10T, облученного до повреждающей дозы 4.5 сна при температуре 310 °С в АЗ реактора ВВЭР-1000: дислокационная и фазовая структура (а) пористость (б)

Методы исследований. Образцы для трансмиссионной электронной микроскопии ТЭМ готовились в виде дисков диаметром 3 мм и после механической шлифовки до толщины 0,1...0,15 мм электролитически утонялись. Готовые объекты просматривались на электронном микроскопе JEM 2000 FX II при ускоряющем напряжении 120 кВ. Параметры микроструктуры материала направляющего канала определяли с относительной погрешностью 30...40 % для концентрации пор, частиц, дислокационных петель и 10 % – для средних размеров этих структурных составляющих. Объемную долю пор или распухание определяли с относительной погрешностью в 30...40 %.

Характеристики механических свойств определяли на кольцевых образцах, вырезанных из трубы направляющего канала. Испытания проводились на дистанционной машине для механических испытаний ММ-150Д при скорости перемещения активного захвата 1 мм/мин в интервале температур 20...450 °С. Рабочая длина $l_{раб}$

для определения характеристик пластичности кольцевых образцов рассчитывалась с учетом среднего диаметра образца $d_{cp}=11.6$ мм, диаметра опор $d_{опор}=10$ мм и толщины оболочки $t=0.8$ мм по формуле $l_{раб}=\pi/2[d_{cp}-0.65(d_{опор}+t)]$, [4]. $l_{раб}$ равнялась 7.19 мм. Высота кольцевых образцов находилась в интервале 2.5...3 мм.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАЛИ 08X18H10T

Электронно-микроскопические исследования структуры стали 08X18H10T из направляющего канала ТВС ВВЭР-1000 были проведены на образцах, вырезанных из семи уровней по высоте трубы. Соответствующие условия облучения и параметры микроструктуры приведены в табл. 2.

В результате облучения в материале образовались радиационные дефекты в виде дислокационных петель и вакансионных пор. Длительное нейтронное облучение, кроме того,

привело к выделению избыточных фаз как по границам, так и внутри зерен.

Вакансионные поры, о чем свидетельствовала их огранка, были обнаружены только в 5-м и 6-м образцах. В пятом образце было обнаружено лишь несколько пор, в шестом пор было больше. Средний диаметр пор в шестом образце равен 4.1 нм, их концентрация – $6.7 \cdot 10^{15}$, а объемная доля (распухание) – 0.013 %. В этих исследованиях был получен важный экспериментальный факт – впервые были обнаружены вакансионные поры при столь низких температурах (305 и 310°C) в стали 08X18H10T, облученной в реакторе ВВЭР-1000.

Концентрации дислокационных петель и частиц вторичных фаз увеличиваются с ростом повреждающей дозы (рис.4,а), но их размеры практически не зависят от температуры облучения (рис.4,б) и, соответственно, от повреждающей дозы. Этот факт свидетельствует о том, что процесс фазовыделения и формирования микроструктуры в целом находится в стадии инкубационного периода, и увеличение количества дефектов кристаллического строения происходит за счет зарождения новых дефектов без роста их размеров.

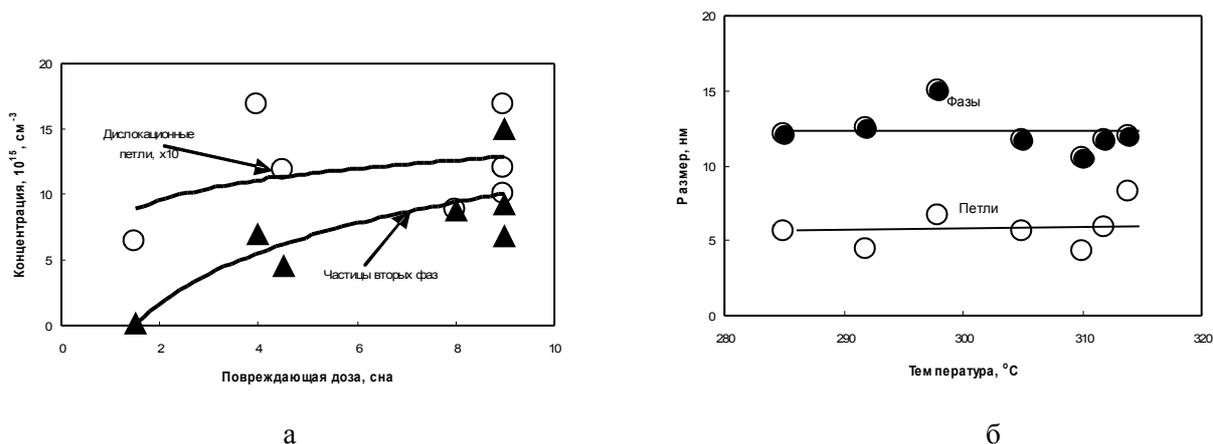


Рис.4. Дозные зависимости концентрации (а) и температурные зависимости размеров (б) дислокационных петель и вторичных фаз в образцах стали 08X18H10T, вырезанных из направляющего канала ТВС АЗ реактора ВВЭР-1000

Таблица 2
Микроструктурные параметры образцов стали 08X18H10T, облученной в качестве направляющих каналов ТВС реактора ВВЭР-1000

Т, °С	Доза, сна	Поры	Дислокационные петли		Вторичные фазы		
			Дп, нм	$\rho_{п}, 10^{16} \text{ см}^{-3}$	Дф, нм	$\rho_{ф}, 10^{15} \text{ см}^{-3}$	Толщина, нм
285	4	Нет	5.6	16.8	12.1	7	0.5...0.8
290	9	Нет	4.4	16.8	12.5	6.8	-
295	9	Нет	6.6	10	15	9.2	-
300	9	Нет	5.5	12	11.7	15	0.4...0.5
305	8	Есть	4.2	8.8	10.4	8.8	~0.60
310	4.5	Есть	5.8	11.8	11.6	4.5	-

315	1.5	Нет	8.2	6.4	11.9	0.12	-
-----	-----	-----	-----	-----	------	------	---

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ 08X18H10T

После облучения из направляющей трубы ПЭЛа были вырезаны кольцевые образцы для механических испытаний из различных по высоте уровней. Условия облучения для образцов, вырезанных из этих уровней, отличались температурой облучения и повреждающей дозой. Характеристики механических свойств приведены на рис.5. Из этих результатов видно, что характеристики прочности образцов резко возрастают при малых дозах при температуре испытания 300 °С с выходом на некоторое насыщение при повреждающих дозах 5...9 сна. Следует заметить, что отношение предела текучести к пределу прочности, равное примерно 0.7 без облучения, с ростом повреждающей дозы возрастает до 0.9 при 9 сна при температуре испытания 300°С. Характеристики прочности, как это наблюдалось и во всех предыдущих исследованиях, с ростом температуры испытания уменьшаются при соответствующих повреждающих дозах. Характеристики пластичности резко уменьшаются на первой стадии облучения. В дальнейшем характеристики пластичности достигают некоторого насыщения с продолжающимся ростом повреждающей дозы (см.рис.5,б). Общее удлинение при повреждающей дозе 8...9 сна имеет минимум при температуре испытания 300°С и возрастает при испытаниях при 450°С, когда начинаются процессы отжига самых мелкодисперсных структурных составляющих.

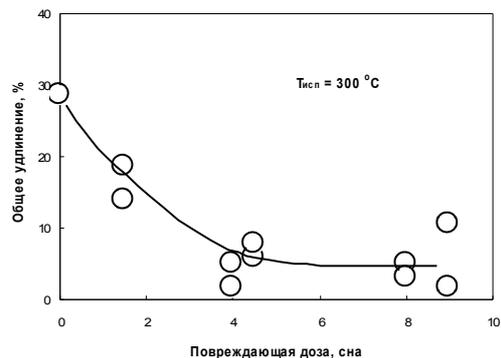
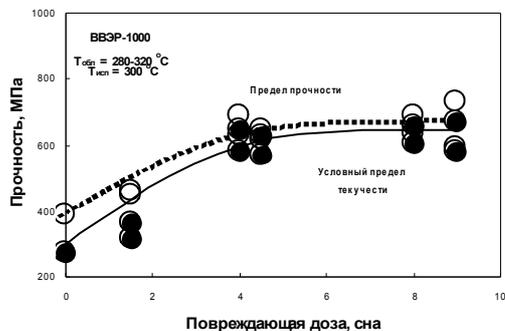


Рис. 5. Дозные зависимости характеристик прочности (а) и общего удлинения (б) образцов стали 08X18H10T, вырезанных из направляющего канала ТВС АЗ реактора ВВЭР-1000 (температура испытания 300 °С)

3. ОБСУЖДЕНИЕ

Условия облучения всех изделий, результаты исследований которых используются для изучения набухания и охрупчивания в низкотемпературной области, сведены в табл.3, где, кроме того, приведены условия облучения элементов ВКУ реакторов ВВЭР. Анализ условий облучения элементов ВКУ ВВЭР-440 показал, что наиболее напряженным элементом ВКУ реакторов ВВЭР является корзина – повреждающая доза на ней может достигать 13...16 сна на внутренней поверхности за 30 лет эксплуатации. Температура по сечению корзины в месте максимального энерговыделения меняется от 284 °С на внутренней поверхности до 326°С на внешней поверхности, достигая максимума 333°С в массиве корзины.

Выгородка реактора ВВЭР-1000 представляет собой монолитную пустотелую цилиндрическую конструкцию с внешним диаметром 3470 мм, внутренняя поверхность которой в поперечном сечении повторяет конфигурацию активной зоны, имеющую 90 продольных каналов для охлаждения и выполненную из стали 08X18H10T. Общая высота выгородки в реакторе, набираемой из пяти элементов равных по высоте, равняется 4070 мм. Температура в ней может достигать значений в интервале 300...460°С, а повреждающая доза за 30 лет эксплуатации – 1...50 сна [5].

Из табл.3 видно, что выбранные для исследования элементы по тем или иным параметрам облучения близки к условиям эксплуатации ВКУ реакторов ВВЭР. Особое внимание следует обратить на направляющий канал – трубу, эксплуатировавшуюся в ТВС реактора ВВЭР-1000 на периферии активной зоны очень близко (во втором и третьем рядах) от выгородки реактора, так как температура на этом канале, охлаждаемом с двух сторон, не превышала

температуры теплоносителя и изменялась линейно от 285 до 315 °С.

Таблица 3

Условия облучения элементов ВКУ различных реакторов, изготовленных из сталей типа X18H10T

Реактор	Элемент	Теплоноситель	Температура облучения, °С	Повреждающая доза, сна	Время облучения, годы	Максимальная скорость набора дозы, 10^{-7} сна/с
ВВЭР-1000	Выгородка	Вода	300...460	1...50	30	0.01...0.7
ВВЭР-440	Корзина	Вода	280...330	13...16	30	0.2
ВВЭР-1000	Направляющий канал в ТВС	Вода	285...320	1.5...9	3	0.2...1.3
БОР-60	Чехол экранной сборки	Натрий	320...450	39...81	22 и 27	0.8...1.9
БН-350	Экранная гильза	Натрий	280...325	7...56	12	0.2...1.6

Радиационные явления (микроструктурные изменения, включающие эволюцию вакансионной пористости, дислокационной и фазовой структур, радиационное распухание, упрочнение) и их зависимости от повреждающей дозы, температуры, напряжений и других параметров эксплуатации интересны как с точки зрения фундаментальных проблем физики радиационных повреждений, так и необходимости решения практического вопроса о продления ресурса ВКУ реакторов ВВЭР. Это можно сделать либо при исследовании реальных образцов, вырезанных из ВКУ реакторов ВВЭР, либо при исследовании образцов и изделий, облученных в исследовательских реакторах с параметрами, близкими к условиям эксплуатации ВКУ [7,8,9,10].

Есть важный момент, требующий уточнения в исследованиях материалов при низкотемпературном облучении. Это определение дозно - температурных порогов образования пор в стали 12X18H10T, облученной в различных реакторах. Такая оценка проведена в работах исследователей ГНЦ РФ ФЭИ [11] при исследовании стали 12X18H10T, облученной в реакторе БН-350, и в настоящей работе при исследовании микроструктуры стали 08X18H10T, облученной в активной зоне реактора ВВЭР-1000.

Вакансионные поры были обнаружены:

- при температуре 321 °С и повреждающей дозе выше 16 сна при скорости набора дозы $\sim 0,5 \cdot 10^{-7}$ сна/с в реакторе БН-350;
- в диапазоне температур 306...316°С и повреждающих доз 23...55 сна при скорости набора дозы $\sim 1,6 \cdot 10^{-7}$ сна/с в реакторе БН-350;
- в диапазоне температур 305...310°С и повреждающих доз 4...8 сна при скорости

набора дозы $(0,6...1.0) \cdot 10^{-7}$ сна/с в реакторе ВВЭР-1000.

Вакансионные поры не были обнаружены:

- при температуре 280°С и повреждающей дозе ~ 8 сна в реакторе БН-350;
- в диапазоне температур 285...300°С до повреждающей дозы ~ 9 сна в реакторе ВВЭР-1000;
- в исследовании фотонейтронного источника, облучавшегося в реакторе БОР-60 при температуре 350°С и повреждающей дозе ~ 4 сна.

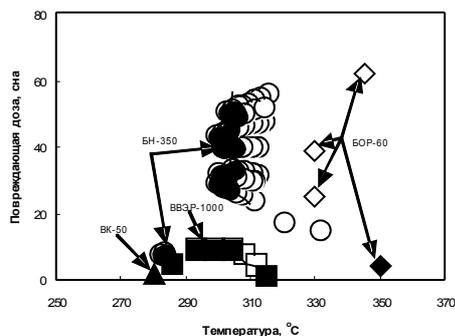


Рис.6. Дозно-температурная область существования вакансионных пор в стали типа X18H10T, облученной в различных реакторах [6,11].

◆, ▲, ■, ● – пор нет, □, ◇, ○ – поры обнаружены

Эти результаты, объединенные на рис.6, показывают, что вакансионная пористость в условиях ВВЭР может появляться при достаточно низких температурах и небольших повреждающих дозах, т.е. существенно раньше, чем мы привыкли, исходя из результатов, полученных в исследованиях аустенитных сталей, облученных в реакторах на быстрых нейтронах.

Хорошо видна температурная граница появления вакансионных пор в материалах, облученных в различных реакторах (305...310°C). Это очень важный результат, показывающий, что при эксплуатации в элементах ВКУ ВВЭР должны существовать поры.

Интересно сравнить также характеристики механических свойств образцов сталей типа X18H10T, облученных в реакторах ВВЭР-1000 и БН-350 при одинаковых температурах (280...290 °C) и повреждающих дозах (7...9 сна). Образцы стали 12X18H10T, облученные в реакторе БН-350 в течение 12 лет, обладают более высокой прочностью, чем образцы стали 08X18H10T, облученные в реакторе ВВЭР-1000 в течение 3-х лет (рис.7).

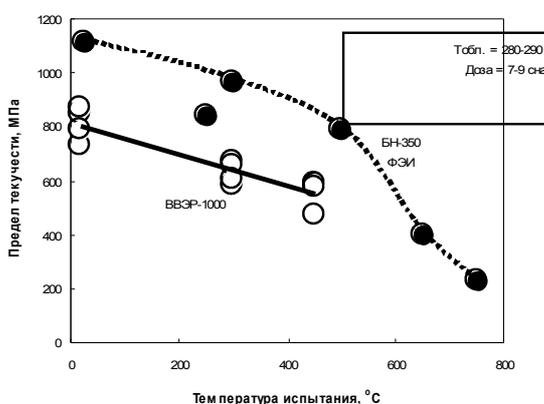


Рис. 7. Зависимости предела текучести стали X18H10T, облученной в различных реакторах от температуры испытания [10 и настоящая работа]

Более высокая прочность стали, облученной в БН-350, определяется микроструктурными изменениями в ней, когда с увеличением времени облучения в стали проходят в большей степени процессы распада твердого раствора аустенита с образованием вторичных фаз. В образцах стали, облученной в реакторе ВВЭР-1000, при сравнительно небольших временах облучения (3 года), большую роль в упрочнении играют дефекты, такие как дислокационные петли, легко отжигающиеся при температурах от 450 °C и выше.

Из анализа результатов исследования упрочнения сталей, облученных в реакторах БН-350 и ВВЭР-1000 при одинаковых температурах облучения до примерно одинаковых повреждающих доз, следует, что доля вторичных фаз в упрочнении возрастает с ростом повреждающей дозы и времени облучения, а доля упрочнения за счет дислокационных петель уменьшается [6]. Вероятно, на эти процессы может влиять различное содержание гелия и водорода в стали, но такое влияние можно будет обсуждать после получения дополнительных данных о содержании газов в сталях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании направляющего канала (сталь 08X18H10T) в ТВС АЗ реактора ВВЭР-1000, облученного в интервале температур 285...320°C до максимальной повреждающей дозы 9 сна обнаружены вакансионные поры при повреждающей дозе 4...8 сна и температурах 305...310°C в стали 08X18H10T, облученной в реакторе ВВЭР-1000.

Обобщение результатов исследований набухания стали типа X18H10T, облученной в различных реакторах, позволяет выделить температурную границу появления пор – 305 °C, что позволяет говорить о возможном существовании пористости в элементах ВКУ реакторов ВВЭР при длительной эксплуатации.

Результаты исследования механических свойств стали 08X18H10T, облученной в ТВС реактора ВВЭР-1000, подтвердили известные данные об упрочнении и снижении пластичности сталей аустенитного класса при низкотемпературном облучении.

ЛИТЕРАТУРА

1. F.A. Garner, L.R. Greenwood and D.L. Harrod Sixth International Symposium on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems - Water Reactors // *The Minerals, Metals and Materials Society*. 1993, p. 783–790.
2. V.S. Neustroev, V.K. Shamardin, Z.E. Ostrovsky, A.M. Pecherin and F.A. Garner // *in Proc. Fourth Inter. Symp. on "Contribution of Materials Investigation to the Resolution of Problems Encountered in Pressurized Water Reactors"*, Fontevraud, France 1998, v. 1, p. 1–69.
3. S.I. Porollo, A.N. Vorobjev, Yu.V. Konobeev, A.M. Dvoriashin, V.M. Krigan, N.I. Budytkin, E.G. Mironova and F.A. Garner // *J. Nuclear Materials*. 1998, v. 258–263, p. 1613–1617.
4. В.И. Прохоров, А.Г. Финько, Р.И. Минеев. *Экспериментальное определение рабочей длины кольцевых образцов из оболочек твэлов при поперечном растяжении*: Препринт П-23 (317). Димитровград, НИИАР, 1977.
5. В.М. Троянов, Ю.И. Лихачев, М.Я. Хмелевский и др. Оценка и анализ термомеханического поведения элементов ВКУ реакторов ВВЭР с учетом эффектов облучения // *Сборник докладов V Междотраслевой конференции по реакторному материаловедению*, г. Димитровград, 8-12 сентября 1997 г. Димитровград, 1998, т. 2, ч. 1, с. 3–21.
6. В.С. Неустроев, В.Н. Голованов, В.К. Шамардин, З.Е. Островский, А.М. Печерин. Радиационные явления в стали X18H10T, облученной в различных реакторах при условиях, близких к условиям эксплуатации ВКУ ВВЭР // *Материалы VI Российской конференции по реакторному материаловедению*. Димитровград, 11-15 сентября 2000 г. Димитровград: ГНЦ НИИАР, 2000, с. 115.
7. V.S. Neustroev, V.K. Shamardin, Z.E. Ostrovsky, A.M. Pecherin and F.A. Garner. Temperature-Shift of Void Swelling Observed in Annealed Fe-18Cr-10Ni-Ti Stainless Steel Irradiated in Reflector Region of BOR-60 // *Effects of Radiation on Materials: 19th International Symposium, ASTM STP 1366*.

8.M.L. Hamilton, A.S. Kumar, S.T. Rosinski and M.L. Grosbeck. Eds, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1999, p. 842–857.
9. С.Н. Вогинов, В.И. Прохоров, З.Е. Островский. *Облученные нержавеющие стали*. М.: «Наука», 1987.
10. F.A. Garner, M.L. Hamilton, D.L. Porter, T.R. Allen, T. Tsutsui, M. Nakajima, T. Kido, T. Ishii, G.M. Bond and B.H. Sencer. *The Influence of Displacement Rate*

on the Void Swelling of Annealed AISI 304 Stainless Steel in the EBR-II Fast Reactor, to be published in proceedings of 20th ASTM Symposium on Effects of Radiation in Materials, June, 2000.

11.Ю.В. Конобеев, С.И. Поролло, А.М. Дворяшин. *Исследование механических свойств и распухания аустенитной нержавеющей стали 12Х18Н10Т после низкотемпературного облучения в реакторе БН-350*.

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОСТРУКТУРИ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ 08Х18Н10Т ПІСЛЯ ОПРОМІНЕННЯ В АКТИВНІЙ ЗОНІ РЕАКТОРА ВВЕР-1000

В.С. Неустров, В.Г. Дворецкий, З.Е. Островский, В.К. Шамардин, Г.А. Шиманский

Проведені дослідження напрямляючого каналу (сталь 08Х18Н10Т) ПЕЛ ТВЗ реактору ВВЕР-1000, опроміненого при температурах 284...322°C в інтервалі пошкоджуючих доз 1...9 зна. При дослідженні мікроструктури виявлені вакансійні пори при температурах 308 та 310°C при пошкоджуючих дозах 8 та 4.5 зна відповідно. Отримані дозні залежності характеристик механічних властивостей сталі 08Х18Н10Т при температурах випробування 20, 300 та 450° С. Простежується зміцнення та зниження пластичності сталі із зростанням пошкоджуючої дози при всіх температурах випробувань. Проведено порівняння отриманих результатів з результатами дослідження сталі 12Х18Н10Т, опроміненої в реакторах на швидких нейтронах. Виявлено, що температурна границя появи вакансійної поруватості приблизно однакова для опромінених в різних реакторах сталей і становить 305...310° С . Зміцнення сталі, опроміненої в реакторах на швидких нейтронах, більше, ніж опроміненої в реакторі на теплових нейтронах, за однакових умов опромінення (280...300°C, 2-9 зна).

STUDY OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL 08CR18NI10T IRRADIATED IN THE CORE OF REACTOR VVER-1000

V.S. Neustroev, V.G. Dvoretzkiy, Z.E. Ostrovsky, V.K. Shamardin, G.F. Shimansky

Control-rod channel (steel 08Cr18Ni10T) of absorbing element of fuel assembly of reactor VVER-1000 irradiated at temperatures 284...322°C in the damage doses range 1...9 dpa is investigated. On microstructure study the vacancy pores were revealed at temperatures 308...310° C and at damaging doses of 8 and 4.5 dpa respectively. The dose dependence of steel 08Cr18Ni10Ti mechanical properties at testing temperatures 20, 300 and 450° C are obtained. The steel hardening and the ductility decrease are observed at all testing temperatures. The comparison of obtained results with the results of steel 08Cr18Ni10Ti irradiated in fast -neutron reactors was carried out. It was revealed that the temperature boundary of vacancy porosity was approximately equal for the irradiated in different reactors steels and constituted 305-310° C. Hardening if steel, irradiated in the fast neutron reactor is higher than that for the steel irradiated in thermal reactor at similar irradiation conditions (280...300° C, 7...9 dpa).