

КОРРОЗИЯ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ, ИМИТИРУЮЩИХ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ ПЕРВОГО КОНТУРА РЕАКТОРОВ ВВЭР-1000. КОРРОЗИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ СМЕШАННЫХ ЗАГРУЗОК ТОПЛИВА

*В.С. Красноруцкий, И.А. Петельгузов, В.М. Грицина, В.А. Зуёк, М.В. Третьяков,
Р.А. Рудь, Н.В. Свичкарь, Е.А. Слабоспицкая, Н.И. Ищенко*
*Научно-технический комплекс «Ядерный топливный цикл» ННЦ ХФТИ,
Харьков, Украина*

*E-mail: krasnorutskyu@kipt.kharkov.ua,
факс +38(057)335-37-74, тел. +38(057)335-65-00*

Исследована кинетика коррозии нержавеющей аустенитных сталей (06X18H10T, 08X18H10T, 12X18H10T) в среде, моделирующей состав и параметры теплоносителя первого контура реактора ВВЭР-1000 при разных значениях водородного показателя, при автоклавных внереакторных испытаниях в течение 14000 ч, и изучен вид поверхности оксидных плёнок, образующихся на образцах сталей. Проведена визуальная инспекция поверхности ТВС производства Westinghouse (ТВС-W), а также ТВС-М и ТВСА производства ОАО ТВЭЛ на Южно-Украинской АЭС после четырех кампаний совместной эксплуатации в условиях водно-химического режима реактора ВВЭР-1000. Отмечена высокая коррозионная стойкость оболочек твэлов исследуемых типов ТВС, наличие ободков побеления на сварных соединениях, отсутствие коррозионных дефектов и отложений продуктов коррозии на твэлах.

ВВЕДЕНИЕ

На четырех АЭС Украины эксплуатируются 15 блоков с реакторами типа ВВЭР. Благодаря соблюдению условий эксплуатации и поддержанию водно-химических режимов в соответствии с нормативными требованиями обеспечивается эффективная и безопасная эксплуатация ядерного топлива и оборудования [1,2]. На сегодняшний день одними из основных проблем, стоящими перед украинскими АЭС, являются накопление в тракте первого контура радиоактивных продуктов коррозии, высокие дозовые нагрузки на персонал, образование и накопление значительного количества жидких радиоактивных отходов.

Решение поставленных задач требует проведения ряда фундаментальных исследований в области коррозии нержавеющей сталей и циркониевых сплавов в условиях реактора ВВЭР. Результатом этих исследований будет выработка рекомендаций по оптимизации водно-химического режима первого контура (ВХР-1) реактора ВВЭР-1000.

Данная работа является продолжением серии исследований явлений общей коррозии наиболее важных реакторных материалов, которые широко используются в первом контуре реакторов ВВЭР [3,4]: это аустенитные нержавеющие стали как конструкционный материал активной зоны первого контура и пароводяного тракта и циркониевые сплавы как материал оболочек тепловыделяющих элементов (твэлов) первого защитного барьера, предотвращающего выход радиоактивных продуктов в теплоноситель. Несмотря на многочисленные исследования процессов коррозии этих материалов, возникающие проблемы требуют глубокого понимания природы и всестороннего изучения механизмов этих явлений с целью снижения возможных негативных последствий, а

также для обеспечения надежной и безопасной эксплуатации атомных станций.

В работе представлены исследования кинетики коррозии и состояние оксидных плёнок при длительной коррозии нержавеющей сталей 06X18H10T, 08X18H10T, 12X18H10T в автоклавных условиях и изучено состояние оксидных плёнок на твэлах тепловыделяющих сборок (ТВС) после четырех лет промышленной эксплуатации на 3-м блоке Южно-Украинской АЭС.

1. МАТЕРИАЛЫ И УСЛОВИЯ ИСПЫТАНИЙ

Исследовались образцы труб-оболочек для поглощающих элементов (пэлов) из стали 06X18H10T, образцы сталей 08X18H10T и 12X18H10T в виде пластин и стержней с химическим составом согласно ГОСТ. Испытания образцов проводили при температурах 350 °С (давление среды 16,5 МПа) и 325 °С (давление - 12,3 МПа) в лабораторных статических автоклавах. Коррозионная среда – химически обессоленная вода с добавками, соответствующими составу теплоносителя 1-го контура ВВЭР-1000 со значением водородного показателя рН (7,2), и среда с уменьшением рН до 5,0 и увеличением рН до 10,0 (таблица 1).

Выбранные составы коррозионной среды близки к составам теплоносителя 1-го контура реакторов ВВЭР-1000 во время работы на мощности и при возможных отклонениях по значениям рН во время пуска и останова реакторов.

Поверхность образцов перед испытаниями подвергалась механической обработке шлифовальной бумагой с последующей электрополировкой. Кинетика окисления определялась методом периодического взвешивания образцов.

Таблица 1

Состав и значения pH водной среды для автоклавных испытаний

Добавки	Среда, номер, химический состав		
	1	2	3
pH	5,0	7,2	10,0
H ₃ BO ₃ , г/дм ³	32,5	7,0	7,5
KOH, г/дм ³	0,11	0,025	6,6
NH ₄ OH, мг/дм ³	–	2,8	–

2. АВТОКЛАВНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИИ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ

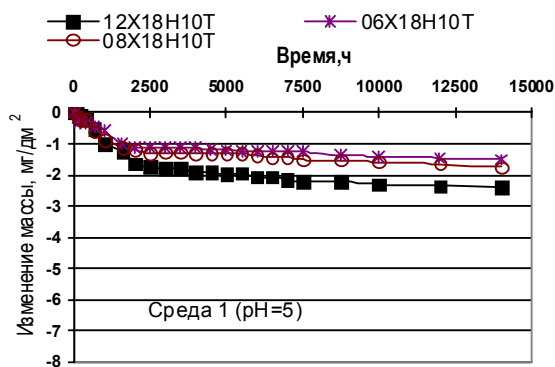
Типичные зависимости изменения массы образцов от времени приведены на рис. 1. Кривые являются средним результатом взвешивания от 3 до 6 образцов каждого типа. Отклонение от среднего составляет $\pm(10...20)\%$.

Закономерность коррозии имеет тенденцию, которая характеризуется убылью массы, хотя на отдельных образцах наблюдались и привесы. Ввиду значительных разбросов по величине убыли массы, закономерности коррозии не определялись. Для изучения характера такого хода кривых были проведены металлографические и электронно-микроскопические исследования образцов.

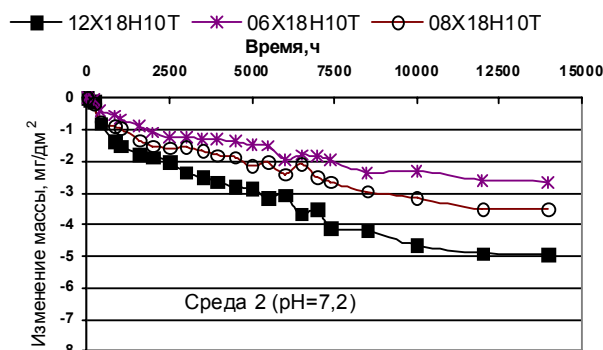
По значению убыли массы образцов можно характеризовать и коррозионные потери металла,

т. е. косвенно определять глубину коррозионного поражения, если допустить, что убыль массы образца приблизительно равна потере металла сплава.

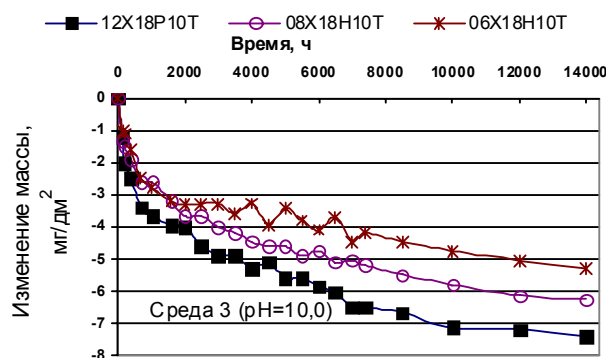
Можно констатировать, что не наблюдается существенного различия во внешнем виде образцов в зависимости от всех параметров испытаний, а именно, от значения pH, типа сталей, подготовки поверхности (рис. 2). Все образцы покрыты синей или серой оксидной плёнкой, в некоторых случаях напоминающей цвета побежалости. Вид плёнок, с учётом оттенков побежалости, говорит об их чрезвычайно малой толщине, что подтверждено металлографией. Внешний слой оксидной пленки слабо сцеплен с поверхностью и легко удаляется даже при слабом механическом воздействии. Внутренняя часть оксидного слоя более плотная и имеет хорошее сцепление с поверхностью сплава.



а



б



в

Рис. 1. Кинетика коррозии нержавеющей сталей в водной среде, близкой по составу добавок к теплоносителю реактора ВВЭР-1000. Испытания проведены при pH, равном: 5,0 (а); 7,2 (б); 10,0 (в)



06X18H10T 08X18H10T 12X18H10T 06X18H10T 08X18H10T 12X18H10T 06X18H10T 08X18H10T 12X18H10T
 pH = 6,0 pH = 7,2 pH = 10,0

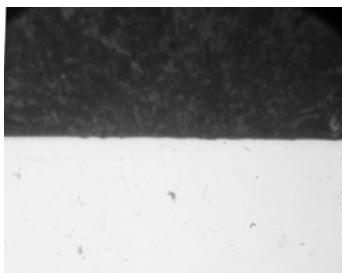
Рис. 2. Внешний вид образцов сталей 06X18H10T, 08X18H10T, 12X18H10T после испытаний в течение 14000 ч при температуре 350 °С в воде состава ВВЭР с pH=6,0; 7,2 и 10,0

3. МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СТАЛЕЙ

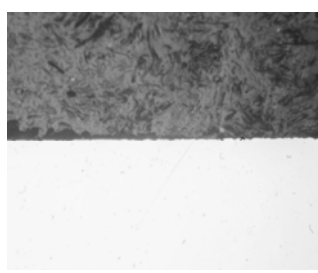
После длительных коррозионных испытаний образцов для изучения структурного состояния металла и оксидных пленок на сталях 08X18H10T и 12X18H10T были изготовлены металлографические шлифы.

Съемка приведенных фотографий (рис. 3) сделана при небольшом увеличении (до 150×) и не

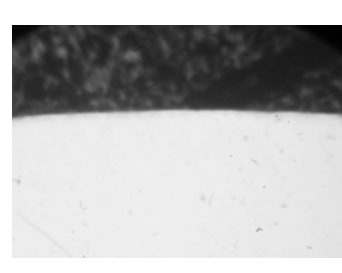
позволяет выявить наличие оксидных слоев. Также не наблюдали оксидных пленок и при увеличении в 500×. Это свидетельствует о том, что на сталях всех марок образуются очень тонкие слои оксидных пленок. Внешний слой оксидной пленки склонен к растворению и смыванию. На его месте образуется другой оксидный слой, так что на сталях всегда сохраняются тонкие защитные пленки.



06X18H10T; pH=5; 14000 ч



08X18H10T; pH=7,2; 14000 ч



12X18H10T; pH=10,0; 14000 ч

Рис. 3. Шлифы в разрезе «оксидная пленка-сплав» на образцах сталей 06X18H10T, 08X18H10T и 12X18H10T после 14000 ч испытаний в водной среде состава теплоносителя реактора ВВЭР-1000 с разными pH при 350 °С, P=16,5 МПа (увеличение 150×)

4. ЭЛЕКТРОННО-МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ

На некоторых образцах методом сканирующей электронной микроскопии (SEM) проведены исследования состояния поверхности оксидных пленок. Вид окисленной поверхности конструкционных материалов после эксплуатации в реакторе показать или трудно (на активированных образцах-свидетелях), или невозможно, если говорить о натуральных участках поверхности материалов.

Поэтому изучение коррозионных процессов и состояния поверхности при автоклавных испытаниях является достаточно информативным для создания представления о виде поверхности после окисления в реакторе.

Кроме того, автоклавные испытания также дают информацию о влиянии таких добавок, которые рассматриваются в последнее время как эффективные средства для снижения процессов накопления и переноса радиоактивных продуктов коррозии.

На рис. 4 приведен вид поверхности образцов сталей 08X18H10T (а, б, в) и 12X18H10T (г, д, е) после испытания в автоклавах в средах с pH=5; 7,2 и 10 на протяжении 14000 ч. Вид оксидной пленки, полученный с помощью SEM, подтверждает, что на образцах формируется тонкая неоднородная оксидная пленка, морфология которой со временем существенно не изменяется. Пленки остаются разрыхленными и шероховатыми. Это говорит о том, что оксидные пленки постоянно нарастают и частично растворяются (см. рис. 4). На поверхности пленок все время наблюдаются хаотически расположенные кристаллические образования размерами от 1 до 3...4 мкм по длине и ~0,5 мкм по ширине. Эти образования различны по форме, могут появляться после нескольких циклов испытаний и затем опять уменьшаться по количеству. Предполагается, что это кристаллы феррита. Возможно, их возникновение связано с осаждением растворенных оксидов железа из коррозионной среды. Не исключено в данном случае и влияние материала внутренних стенок автоклавов как дополнительного источника оксида железа.

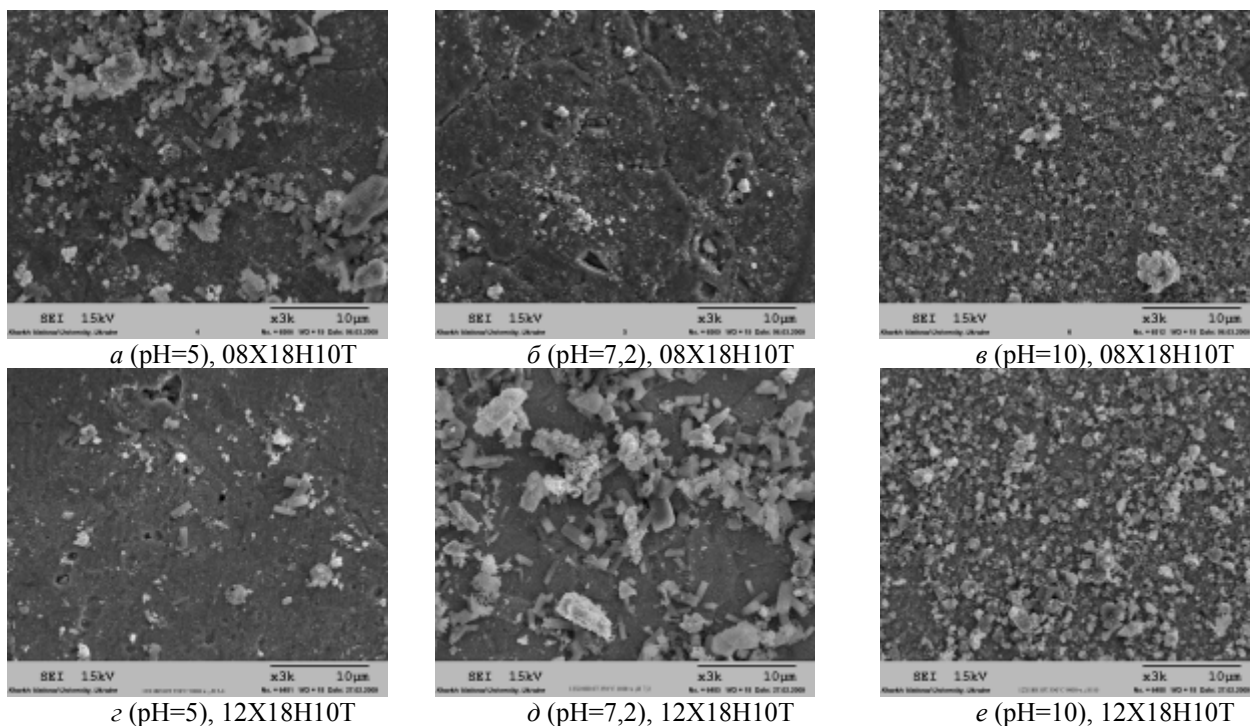


Рис. 4. Вид поверхности образцов сталей 08X18H10T и 12X18H10T после окисления в среде с различным значением pH (5,0; 7,2; 10,0) при температуре 350 °С, давлении 16,5 МПа в течение 14000 ч, увеличение 3000×

Приведенный вид окисленной поверхности образцов сталей 08X18H10T и 12X18H10T (см. рис. 4) также свидетельствует об образовании микропор или язв в структуре пленок.

Важных и принципиальных различий в виде оксидных пленок на сталях 08X18H10T и 12X18H10T не отмечено.

Мало отличаются по общему виду поверхности сталей, окисленных при одинаковых температурах, но при разных значениях pH.

5. КИНЕТИКА КОРРОЗИИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ В ПРИСУТСТВИИ ИОНОВ ЦИНКА

Исследовались образцы труб-оболочек для пэлов из стали 06X18H10T, изготовленных по ТУ 14-3-219-89 штатного состава. Испытания образцов проводили при температуре 350 °С и равновесном давлении пара (16,5 МПа) в лабораторных статических автоклавах без облужения.

Коррозионная среда соответствует по составу теплоносителю 1-го контура реакторов ВВЭР-1000 со значением водородного показателя pH=7,2. В качестве ингибирующей добавки был использован цинк в виде ацетата в количестве 5 мкг/дм³ (в пересчете на Zn).

После каждого сеанса взвешивания коррозионную среду заменяли на свежую. Кинетика окисления определялась методом периодического взвешивания образцов.

Данные изменений массы образцов нержавеющей стали 06X18H10T после выдержки в модельной коррозионной среде в течение 600 ч приведены на рис. 5. Исследования образцов показали, что коррозионные процессы в начальный период времени (300...400 ч) сопровождаются

увеличением массы до 2 мг/дм², после чего происходит ее плавная убыль до величины 1,5 мг/дм². Образцы, выдержанные 200 ч, покрыты оксидной пленкой светло-соломенного цвета. С увеличением времени испытаний цвет оксидной пленки приобретает фиолетово-синий оттенок, напоминающий в некоторых случаях цвета побелости, что говорит об их чрезвычайно малой толщине.

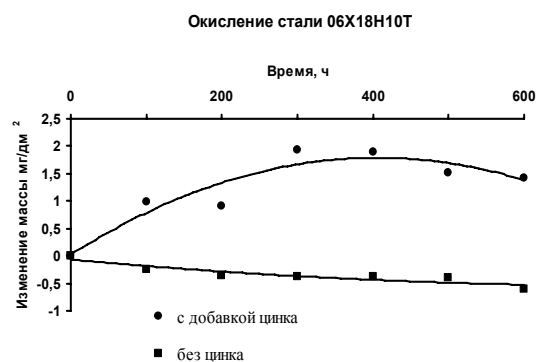


Рис. 5. Зависимость изменения массы образцов нержавеющей стали 06X18H10T от времени при испытании в модельной среде теплоносителя ВВЭР с добавкой цинка 5 мкг/дм³

Цинк, имея более низкую энергию связи в шпинелях, чем кобальт, предпочтительнее встраивается в оксидные пленки, не давая участвовать в этих процессах радиоактивному кобальту [3-6]. Это приводит к значительному снижению активности от оборудования первого контура [7,8]. Для получения более полной картины ингибирующего действия цинка на скорость коррозии нержавеющей сталей необходимо расширить круг исследований в данном направлении.

6. ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМАХ КОРРОЗИИ НЕРЖАВЕЮЩИХ СТАЛЕЙ

В этом разделе рассматриваются теории пассивного состояния нержавеющей стали, выдвинутые на основании классических представлений пассивного состояния и экспериментальных данных, полученных с помощью современных методов исследований (импедансной спектроскопии, элементного анализа поверхности).

В последние десятилетия были представлены различные модели (теории) поведения оксидных пленок, но к настоящему времени все еще не выработан единый подход к применимости этих моделей.

Рост оксидной пленки происходит как на границе металл-пленка, так и на границе пленка-среда. Состав и структура оксидной пленки определяют, какие частицы проходят через оксид: катионы или анионы. Считается, что для роста оксидной пленки необходимо движение кислорода с поверхности раздела пленка-среда через оксидную пленку, а движение катионов через пленку вносит вклад не только в ее рост, но и в растворение и последующее формирование осадений на ее поверхности.

Для активации процесса движения ионов в оксидной пленке необходимы определенная подвижность частиц и движущая сила процесса. Подвижность частиц зависит от структуры пленки. Движущая сила в большинстве случаев представляет собой как градиент потенциала, приводящий к миграции частиц, так и градиент концентрации, приводящий к диффузии частиц. Эти движущие силы могут оказывать совместное и одновременное влияние.

Для описания поведения оксидных пленок на нержавеющей сталях обычно используют модели, в которых рассматриваются пленки с кристаллической структурой (считается, что оксидные пленки на сталях являются сплошными кристаллическими пленками с точечными дефектами и толщиной больше нескольких монослоев).

В настоящее время для описания поведения оксидных пленок на железе, никеле и их сплавах наиболее широко используется модель точечных дефектов (МТД), развитая Макдональдом и др. [9]. Эта модель рассматривает роль движущихся заряженных точечных дефектов в переносе заряда через оксидную пленку. Основываясь на положениях этой модели, можно определить свойства оксидных пленок на количественном уровне. Оказалось, что МТД хорошо объясняет линейную зависимость толщины оксидной пленки от потенциала и экспоненциальную зависимость установившегося тока от потенциала. Кроме того, в недавних публикациях говорится о том, что межузельные катионы также являются носителями заряда [10, 11].

В последние годы интенсивно развивается модель смешанной проводимости (МСП) [12],

которая основана на положениях модели точечных дефектов. С помощью МСП появляется возможность получить больше количественных данных о электрохимическом поведении металлов и сплавов, параметрах движения коррозионно-активных частиц в оксидной пленке, а также совместить электронные и ионные свойства оксидной пленки. В МТД не учитывается существование пространственных или поверхностных зарядов и их воздействие на оксидную пленку.

Основные различия МТД и МСП следующие: согласно МСП, уравнение Нернста-Планка можно использовать для описания процессов, которые управляются слабым полем, а локальная электронная проводимость линейно зависит от локальной концентрации ионных дефектов.

7. СМЕШАННЫЕ ЗАГРУЗКИ НА ЮУАЭС

На ЮУАЭС в марте 2010 года завершены четырехгодичные промышленные испытания шести опытных ТВС производства Westinghouse. Оболочки твэлов, направляющие каналы и инструментальный канал изготовлены из сплава ZIRLO™ [2]. Топливо производства Westinghouse успешно эксплуатируется и показывает хорошие характеристики коррозионной стойкости в реакторах PWR. Однако эти топливные сборки не испытывались в реальных условиях украинских реакторов ВВЭР и в условиях смешанных загрузок топлива. Поэтому задача испытаний – мониторинг влияния ВХР-1 реакторов ВВЭР-1000 на теплогидравлические характеристики и на коррозионную стойкость материалов ТВС в составе смешанных загрузок.

К настоящему времени смешанная загрузка топлива отработала в реакторе четыре года. Изменение внешнего вида ТВС и твэлов как российского производства ОАО ТВЭЛ, так и производства Westinghouse происходит одинаково (рис. 6). В первый год эксплуатации в верхней части ТВС, в районе верхней дистанционирующей решетки (ДР), появляются бледно-серые пятна, которые представляют из себя оттенки защитной оксидной пленки. В последующие годы образование пятен происходит в направлении нижней части ТВС, постепенно приближаясь к нижней ДР (рис. 7). При этом в верхней части ТВС увеличивается площадь поверхности бледно-серых пятен, и после третьего года эксплуатации как в ТВСМ, так и в ТВС-W верхняя часть твэлов становится преимущественно серо-белого цвета.

Необходимо отметить, что образование пятен наблюдается не в области максимального энерговыделения или в области начала топливного столба, а в верхней и нижней частях ТВС.

Не наблюдалось признаков какого-либо разрушения пленок в таких местах, поэтому мы считаем, что пятнистость имеет сугубо поверхностный эффект, возможно, связанный с некоторым растворением внешних слоёв оксидных пленок в теплоносителе.

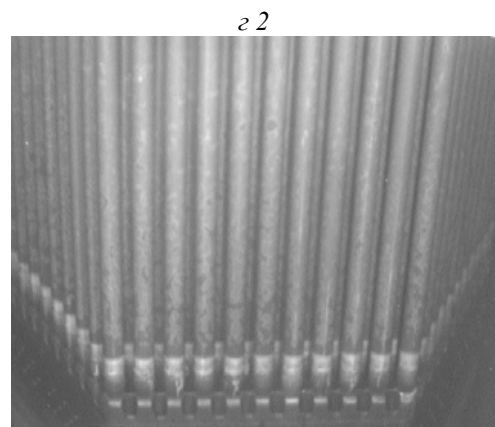
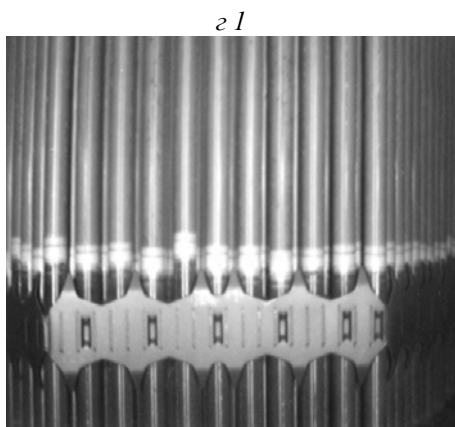
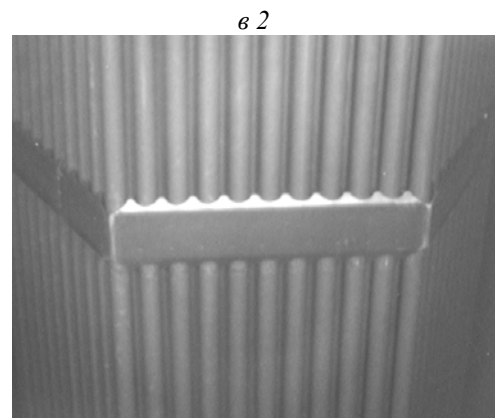
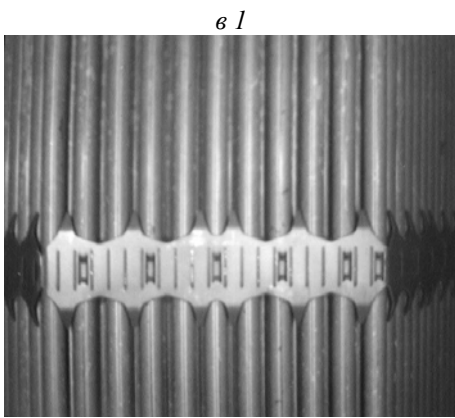
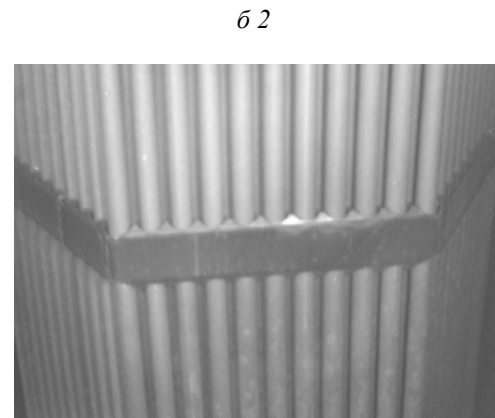
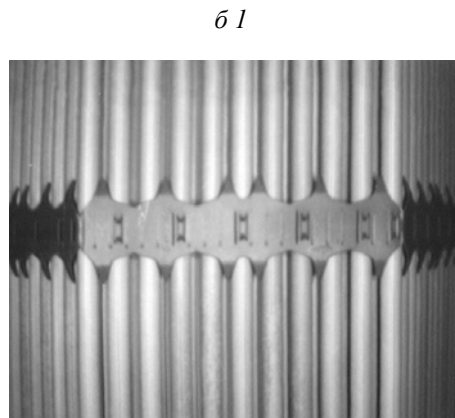
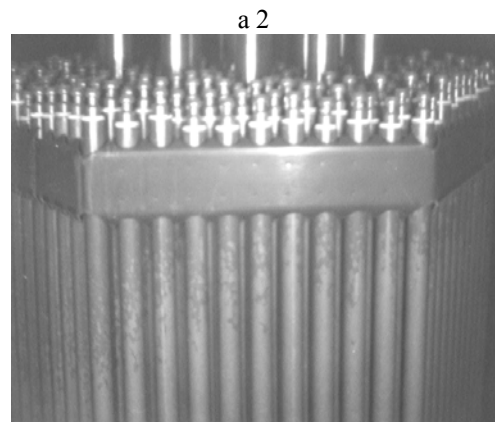
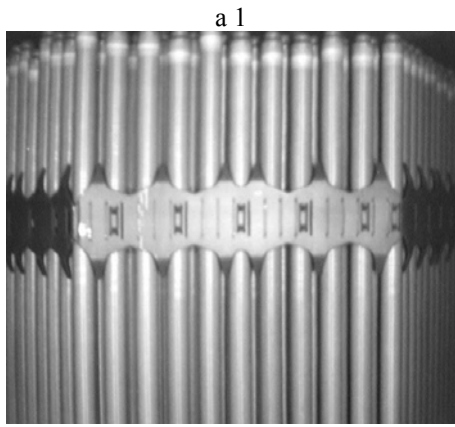


Рис. 6. Внешний вид граней ТВС-В (1) и ТВСМ (2) после четырех лет эксплуатации в активной зоне реактора ВВЭР-1000: а – верхняя ДР; б – ДР в области окончания топливного столба; в – вторая снизу ДР; г – нижняя ДР

На приведенном снимке внешнего вида ТВС-W и ТВСМ после четырех лет эксплуатации видны ободки побеления оксидных плёнок в окрестности верхней (см. рис.6,а) и нижней (см. рис. 6,г) ДР в местах сварных соединений, что свидетельствует об их утолщении.

Осмотр твэлов и ТВС в целом показал, что в области сварных соединений не выявлено видимых дефектов (язв, питтингов, трещин), что свидетельствует о стойкости данного соединения в условиях ВХР-1.

Тепловыделяющие сборки российского производства ОАО ТВЭЛ осматривали после 1-, 3- и 4-го года эксплуатации со сторон тех граней, которые находились рядом с ТВС-W. Не было

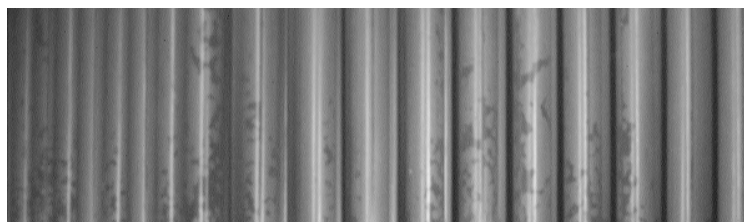


Рис. 7. Характерный вид «пятнистости» на поверхности твэлов сборки ТВС-W (Westinghouse), отработавшей два года в составе смешанной загрузки в активной зоне 3-го блока ЮВАЭС [13]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С помощью металлографии и SEM проведены исследования состояния оксидных плёнок на нержавеющей аустенитных сталях, которые образуются при коррозии в автоклавах в среде, имитирующей состав теплоносителя первого контура реакторов ВВЭР-1000, и при изменении значений pH среды от номинального значения 7,2 в сторону уменьшения до 5,0 и увеличения до 10,0 и при испытаниях на протяжении 14000 ч. Такая длительность испытаний соответствует двум годовым эксплуатационным кампаниям реактора ВВЭР.

Результаты проведенных в данной работе экспериментов показали, что коррозия нержавеющей сталей 06X18H10T, 08X18H10T, 12X18H10T в среде, моделирующей состав теплоносителя 1-го контура реакторов ВВЭР-1000, характеризуется незначительным уменьшением массы образцов вследствие частичного растворения внешнего слоя оксидных пленок.

На основании данных опытно-промышленной эксплуатации исследовано состояние поверхности твэлов шести опытных ТВС, изготовленных компанией Westinghouse (ТВС-W), после четырех топливных кампаний. Визуальное обследование твэлов и ТВС в целом показало отсутствие каких-либо заметных локальных коррозионных явлений, а также осадений продуктов коррозии на твэлах. Не замечено какого-либо воздействия нового набора конструкционных материалов активной зоны на коррозионное поведение оболочек твэлов, решеток ТВС, головок и хвостовиков ТВС как топлива производства ОАО ТВЭЛ, так и топлива Westinghouse.

выявлено какого-нибудь заметного взаимного влияния на коррозионное поведение оболочек твэлов, решеток ТВС, головок ТВС и хвостовиков ТВС как топлива производства ТВЭЛ, так и топлива производства Westinghouse. Нарушения целостности оболочек твэлов или других элементов ТВС-W не зафиксировано.

По результатам осмотра можно сделать вывод, что опытная партия ТВС производства компании Westinghouse способна эксплуатироваться в составе смешанной активной зоны реакторов ВВЭР-1000 при показателях ВХР-1 в соответствии со стандартом ГНД 95.1.06.02.001-07. При этом были выдержаны все установленные проектные границы безопасной эксплуатации топлива.

Проведены предварительные коррозионные исследования ингибирующего действия цинка на коррозию нержавеющей стали. Продолжение работ в данном направлении, а также накопленный мировой опыт эксплуатационных наработок специалистов украинских АЭС позволяют с использованием экспериментальной базы для физико-химических исследований, практики совершенствования ВХР-1 на АЭС Украины и всего мира оптимизировать существующий ВХР-1 для снижения коррозионных потерь, активности в первом контуре, повышения безопасности обслуживания оборудования, обоснования продления сроков эксплуатации АЭС сверх проектных.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.С. Красноруцкий, И.А. Петельгузов, В.М. Грицина, Е.А. Слабоспицкая, В.А. Зуёк, М.В. Третьяков, Р.А. Рудь, Н.И. Ищенко. Исследование процессов коррозии материалов активной зоны реакторов типа ВВЭР // *Фізико-хімічна механіка матеріалів. Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів*. 2010, Львов, №8, с. 667-674.
2. H. Shah, R. Latorre, G. Raspopin, J. Sparrow. Enhanced VVER-1000 Fuel Technology and Performance // *Proceedings of 17th International on Nuclear Engineering INCON. July 12-16, 2009, Brussels, Belgium*.
3. И.М. Фольтов, А.В. Архипенко, А.Н. Масько. Совершенствование ВХР первого и второго контуров АЭС с ВВЭР в Украине // *Сборник докладов 6 Международной научно-технической конференции МНТК-2008, Москва, 21-23 мая 2008 г., с. 77-87*.

4. В.Ф. Тяпков, Р.Б. Шарафутдинов. Состояние, основные проблемы и направления совершенствования водно-химического режима АЭС // *Вестник Госатомнадзора России*. 2003, №4.
5. Джоэл Мак-Элрет. Снижение мощности дозы // *Inside WANO*. 2006, v 14, № 2.
6. В.А. Юрманов, В.Н. Белоус, А.Ф. Чабак, И.В. Пырков, Ю.П. Корчагин. Перспективы дозирования цинка в теплоноситель отечественных атомных станций // *Сборник докладов 6 Международной научно-технической конференции МНТК-2008, Москва, 21-23 мая 2008 г.*, с. 397-402.
7. В.Н. Белоус, А.А. Носков, И.А. Носков. Водно-химический режим на АЭС с реакторами BWR при дозировании цинка // *Атомная техника за рубежом*. 1990, № 4.
8. И.М. Фольтов, А.В. Архипенко, А.Н. Масько. Влияние водно-химического режима на безопасность, надежность и экономику эксплуатации АЭС. Состояние и перспективы // *Ядерні та радіаційні технології*. 2007, т.7, № 1/2, с. 81-92.
9. D.D. Macdonald. The Point Defect Model for the Passive State // *Journal of The Electrochemical Society*. 1992, v. 139, p. 3434-3449.
10. I. Betova, M. Bojinov, A. Englund, G. Fabricius, T. Laitinen, K. Mäkelä, T. Saario & G. Sundholm. Contact electric impedance and resistance studies of the conduction mechanism in passive films on ferrous alloys // *Electrochim. Acta*. 2001, v. 46, p. 3627-3640.
11. A.J. Davenport, L.J. Oblonsky, M.P. Ryan & M.F. Toney. The Structure of the passive film that forms on iron in aqueous environments // *Journal of The Electrochemical Society*. 2000, v. 147, p. 2162-2173.
12. B. Beverskog, M. Bojinov, P. Kinnunen, T. Laitinen, K. Mäkelä, T. Saario. A mixed-conduction model for oxide films on Fe, Cr and Fe-Cr alloys in high-temperature aqueous electrolytes -II. Adaptation and justification of the model // *Corrosion Science*. 2002, v. 44, issue 9, p. 1923-1940.
13. А.М. Абдулаев, В.З. Байдуллин. Основные результаты внедрения опытных ТВС компании „Вестингауз” на блоке № 3 ЮУАЭС // *Сборник научных трудов СНИЯЭ и П*. Севастополь, 2007, в. 21, с. 71-80.

Статья поступила в редакцию 03.09.2010 г.

КОРОЗИЯ НЕРЖАВЮЧИХ СТАЛЕЙ В УМОВАХ, ЯКІ ІМІТУЮТЬ ТЕПЛОНОСІЙ ПЕРШОГО КОНТУРУ РЕАКТОРІВ ВВЕР-1000. КОРОЗИЙНА ПОВЕДІНКА ЗМІШАНИХ ЗАВАНТАЖЕНЬ ПАЛИВА

В.С. Красноруцький, І.А. Петельгузов, В.М. Грицина, В.А. Зуйок, М.В. Трет'яков, Р.О. Рудь, Н.В. Свічкарь, О.О. Слабоспицька, Н.І. Іщенко

Досліджено кінетику корозії нержавіючих аустенітних сталей (06X18Ni10Ti, 08X18Ni10Ti, 12X18Ni10Ti) в середовищі, яке моделює склад і параметри теплоносія першого контуру реактора ВВЕР-1000 при різних значеннях водневого показника, при автоклавних позареакторних випробуваннях протягом 14000 годин, та вивчено вигляд поверхні оксидних плівок, які утворюються на зразках сталей. Проведено візуальну інспекцію поверхні ТВЗ виробництва Westinghouse (ТВЗ-W), а також ТВЗ-М і ТВЗА виробництва ВАТ ТВЕЛ на Южно-Українській АЕС після чотирьох кампаній спільної експлуатації в умовах водно-хімічного режиму реактора ВВЕР-1000. Відмічено високу корозійну стійкість оболонок твелів досліджуваних типів ТВЗ, наявність ободків побіління на зварних з'єднаннях, відсутність корозійних дефектів і відкладень продуктів корозії на твелах.

STAINLESS STEEL CORROSION IN CONDITIONS SIMULATING WWER-1000 PRIMARY COOLANT. CORROSION BEHAVIOUR IN MIXED CORE

V.S. Krasnorutskyy, I.A. Petelguzov, V.M. Grytsyna, V.A. Zuyok, M.V. Tretyakov, R.A. Rud, N.V. Svichkar, E.A. Slabospitskaya, N.I. Ishchenko

Research into corrosion kinetics of austenitic stainless steels (06Cr18Ni10Ti, 08Cr18Ni10Ti, 12Cr18Ni10Ti) in medium which corresponds to composition and parameters of WWER-1000 primary coolant with different pH values in autoclave out-pile conditions during 14000 hours is given. Surface of oxide films on stainless steels is investigated. Visual inspection of Westinghouse and TVEL fuel was carried out after 4 cycles in WWER-1000 primary water chemistry conditions at South Ukraine NPP. Westinghouse and TVEL fuel cladding materials possess high corrosion resistance. Blushing of weldments was observed. No visual corrosion defects or deposits were observed on fuel rods.