

ИСПЫТАНИЯ МАКЕТОВ ТВЭЛОВ С ОБОЛОЧКОЙ ИЗ СПЛАВА Zr1Nb В ПАРАХ ВОДЫ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗМОЖНЫХ АВАРИЙНЫХ ПЕРЕГРЕВОВ В РЕАКТОРЕ ВВЭР-1000

В.С. Красноруцкий, И.А. Петельгузов, В.М. Грицина, А.Г. Родак, Н.Н. Белаи, В.К. Яковлев

Научно-технический комплекс «Ядерный топливный цикл» ННЦ ХФТИ, г. Харьков, Украина

Приведены результаты испытаний макетов твэлов, их сварных соединений, изменений механических свойств оболочек макетов из экспериментальных партий труб из сплава Zr1Nb (Zr+1 мас.% Nb) при нагревах до температур 660...1200 °С. Полученные результаты сравниваются с литературными данными и результатами параллельных исследований макетов твэлов из штатного сплава Э110. Показано, что при нагреве макетов, наполненных гелием до давлений 2,2 МПа, в промышленных твэлах до температур выше 770 °С происходит раздутие тепловыделяющих элементов, а при температурах 820...830 °С наблюдается разрыв оболочки вследствие давления нагреваемого газа. Отмечен спад пластичности после нагрева выше 900...1020 °С. Характеристики сплава Zr1Nb экспериментальных плавков сходны с поведением сплава Э110.

ВВЕДЕНИЕ

В ННЦ ХФТИ проводятся дореакторные исследования коррозионных и металлофизических характеристик экспериментального кальциетермического сплава Zr+1 мас.%Nb (Zr1Nb) в виде образцов твэльных труб [1,2] и труб в составе макетов твэлов при рабочих температурах реактора ВВЭР-1000 [3] и при повышенных температурах [4].

В данной работе продолжены исследования макетов твэлов с оболочкой из сплава Zr1Nb при температурных условиях проектных аварий, которые могут возникать в связи с разгерметизацией первого контура реакторных установок типа ВВЭР. Такие данные необходимы для определения характеристик сплава Zr1Nb экспериментальных плавков как материала оболочек твэлов. Исследования твэлов при аварийных перегревах проводятся во многих странах [5, 6].

Постулируется, что проектные аварии начинаются с разгерметизации первого контура в момент разрыва главного трубопровода. При этом давление теплоносителя внутри корпуса от рабочего снижается практически до атмосферного за несколько се-

кунд. Система аварийного охлаждения зоны (САОЗ) в этом случае срабатывает в первые секунды аварии, и происходит заливка водой активной зоны [4, 5].

При этом температура твэлов может повыситься до 600...1100 °С. При разработке материала оболочек для твэлов необходимо знание их свойств при таких экстремальных условиях поведения.

В наших экспериментах испытания были проведены при температурах, близких к указанным, а именно: при 660, 770, 900, 1020 и 1200 °С.

При нагреве твэлов во вне реакторных и реакторных условиях на их оболочку действует внутреннее давление гелия, которым для обеспечения теплообмена внутри твэлов заполняется внутренний объем до давления 2,2 МПа. При тепловом расширении гелия внутри твэла и при потере теплоносителя в реакторе давление внутри твэла может достигать критических значений для разрыва оболочек (табл. 1). Однако этот фактор не всегда учитывался.

Данные о повышении давления внутри макетов при нагреве, рассчитанные для постоянного объема в приближении, как для идеального газа (по закону Шарля), приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение давления гелия внутри газонаполненного твэла (макет) при нагреве до температур испытаний

Исходное давление, МПа	Температуры нагрева твэлов, °С; давление внутри макетов твэлов после нагрева, МПа						
	20	350	660	770	900	1020	1200
2,2 МПа	2,2	4,6	7,0	7,83	8,8	9,7	10,06

Разработаны нормативные документы, содержащие критерии по твэлам во время проектной аварии [7], когда не должен быть превышен максимальный температурный проектный предел повреждения твэлов (температура поверхности оболочки не выше 1200 °С); толщина прореагировавшего слоя сплава должна составлять не более 18% от начальной толщины оболочки. В данной работе также изучаются

свойства материалов при параметрах, отвечающие этим двум положениям.

1. МЕТОДИКА И ЭКСПЕРИМЕНТ

Установка для исследования макетов твэлов, оснащенная приборами для измерения, регулирования и записи температуры, представляла собой печь сопротивления с кварцевой или алундовой трубкой

внутри для размещения образцов и устройством для получения потока пара.

После выдержки образцов при рабочей температуре в течение заданного времени, держатель вместе с образцом вынимался из зоны нагрева, перемещался в часть печи, где в паровой среде при 250...300 °С рабочий участок охлаждался в течение 0,5 ч и извлекался на воздух. Далее образцы моделей взвешивались на весах ВЛАО-200 для оценки общей скорости коррозии, измерялись их диаметр и длина, проводились на них и другие исследования.

Трубы из кальциетермического сплава Zr1Nb для изготовления макетов твэлов были изготовлены в Государственном трубном институте (г. Днепропетровск). Они имели наружный диаметр 9,13...9,15, а внутренний 7,72 мм. Аналогичные размеры имели образцы из сплава Э110; они проходили такую же подготовку поверхности. Химический состав материала труб был аналогичен приведенному в статье [7] данного журнала.

На рис. 1 показана конструкция макета экспериментального негазионаполненного твэла. Макет состоит из оболочки (3) длиной 50 мм, нижнего (2) и верхнего (1) наконечников-заглушек, балластного стержня из титана. Зазор между стержнями и оболочкой в конструкции составлял 0,15...0,26 мм по диаметру.

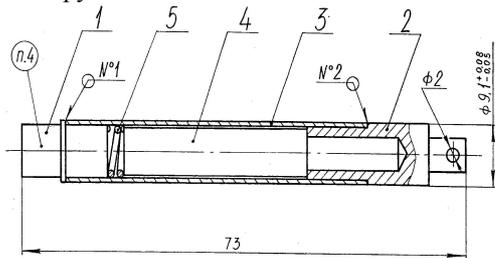


Рис. 1. Конструкция макета негазионаполненного твэла:

1 – верхний наконечник; 2 – нижний наконечник; 3 – оболочка; 4 – сердечник-имитатор; 5 – поджимная пружина. Обозначения: №1 – электро-дуговая сварка; №2 – электронно-лучевая сварка

Другая конструкция моделей твэлов предусматривает возможность заполнения внутритвэльного пространства гелием с последующей заваркой объёма гелиево-дуговой сваркой. Схема такой конструкции макета приведена на рис. 2.

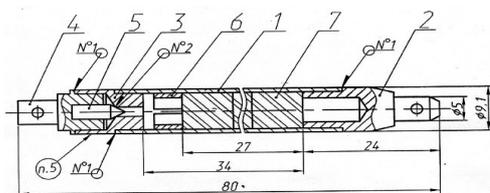


Рис. 2. Конструкция газонаполненного макета:

1 – оболочка; 2 – нижний наконечник-заглушка; 3 – переходная втулка; 4 – хвостовик; 5 – игла; 6 – поджимная пружина; 7 – имитаторы из титана или таблетки UO_2

Часть образцов содержала таблетки уранового топлива UO_2 . Эти модели твэлов заполнялись гелием до давления 2,2 МПа. Наконечники макетов были изготовлены из сплава Э110.

2. ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МАКЕТОВ ТВЭЛОВ

2.1. КОРРОЗИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Вид образцов макетов, испытанных без избыточного внутреннего давления (исходное давление гелия после изготовления 0,1 МПа), показан на рис. 3.



Рис. 3. Внешний вид макетов твэлов с оболочкой из сплавов Э110 и Zr1Nb без избыточного внутреннего давления после испытаний в паре при давлении 0,1 МПа и при указанных на рисунке температурах

Отмечается на оболочках после испытаний при температурах 900...1200 °С побеление и отслоение плёнок, особенно заметное на сплаве Э110. Измеряли размеры макетов после испытаний. Так как в этих экспериментах внутри макетов не было избыточного газа, то изменения размеров могли быть в основном вследствие окисления. Действительно, измерения не показали увеличения размеров макетов в диаметре и по длине, за исключением увеличения длины макетов твэлов из сплава Э110, которое составило < 0,1 % от первоначальной величины после испытаний в течение 120 с при 1200 °С. Как следует из общего вида поверхности макетов, оболочки образцов из сплава Э110 при температурах 900...1200 °С окисляются в большей степени, чем макеты из сплава Zr1Nb. Видно, что на первых образцах серые и белые окисленные участки с частичным отслаиванием плёнок, в то время как на трубках из сплава Zr1Nb плёнки за время испытаний сохранили тёмный цвет. Лишь в некоторых местах наблюдались светлые пятна без отслаивания плёнок. Ввиду того, что макеты не были деформированы, из них можно было вырезать кольцевые образцы для механических испытаний, которые далее будут описаны.

На рис. 4 приведены фотоснимки макетов газонаполненных твэлов после аналогичных испытаний. Так же, как и при испытаниях негазионаполненных образцов, наблюдается побеление и осыпание оксидных плёнок. Отмечено и в этих экспериментах, но в меньшей мере, чем на макетах из Э110, побеление плёнок на макетах из сплава Zr1Nb.

Особенностью при испытаниях газонаполненных (до 2,2 МПа) макетов твэлов явилось то, что в процессе повышения температуры и давления газа вну-

три них происходит нарушение герметичности, в результате чего иногда слышен хлопок после разрыва оболочки макета.



Рис. 4. Внешний вид макетов твэлов с оболочкой из сплавов Zr1Nb и Э110 с исходным внутренним давлением 2,2 МПа после испытаний в паре при давлении 0,1 МПа при указанных на рисунке температурах и временах выдержки (на некоторых образцах видны следы компоновочной проволоки)

Последующие осмотры показывают увеличение образцов в диаметре и образование трещин в области максимальной деформации оболочки. Отмечено раздутие оболочки после испытаний в течение времени 120 и 60 с (проводились и такие испытания) при температурах 770, 900, 1020 и 1200 °С. Разрывы

оболочек макетов в действительности наблюдались в процессе подъема температуры до 820...830 °С после ~ 30 с с момента постановки образцов в печь, а затем испытания уже проводятся с дефектными оболочками.

При выдержке в течение 120 с при температуре 770 °С наблюдалось только раздутие оболочек, но не было их разрывов. Более того, выдержка в течение часа при 770 °С, а при 660 °С – в течение 10 ч, не вызвала разрыва оболочки (см. рис. 1). При 660 °С не происходило и изменения диаметров после нагрева в течение 120 с. Образцы после испытаний увеличились не только по диаметру, но и по длине (до 1,5... 2%).

Наблюдаемые разрывы оболочек во всех случаях происходили в местах максимальных вспучиваний, при этом разрыв представлял собой микротрещину с размерами по длине до 1...3 мм, по ширине до 0,2... 0,3 мм с окислившимися краями (рис. 4, 7).

Величины, определенные как отношение измененной длины окружностей после испытаний к исходной длине окружностей моделей твэлов, равные, в свою очередь, отношению внешних диаметров, представляют относительную деформацию оболочки макетов твэлов. При этом условно принимается сохранение кругового сечения оболочек и после деформации. Графики общей картины изменений размеров диаметра по длине макетов, выражающиеся в величинах окружных деформаций, показаны на рис. 5.

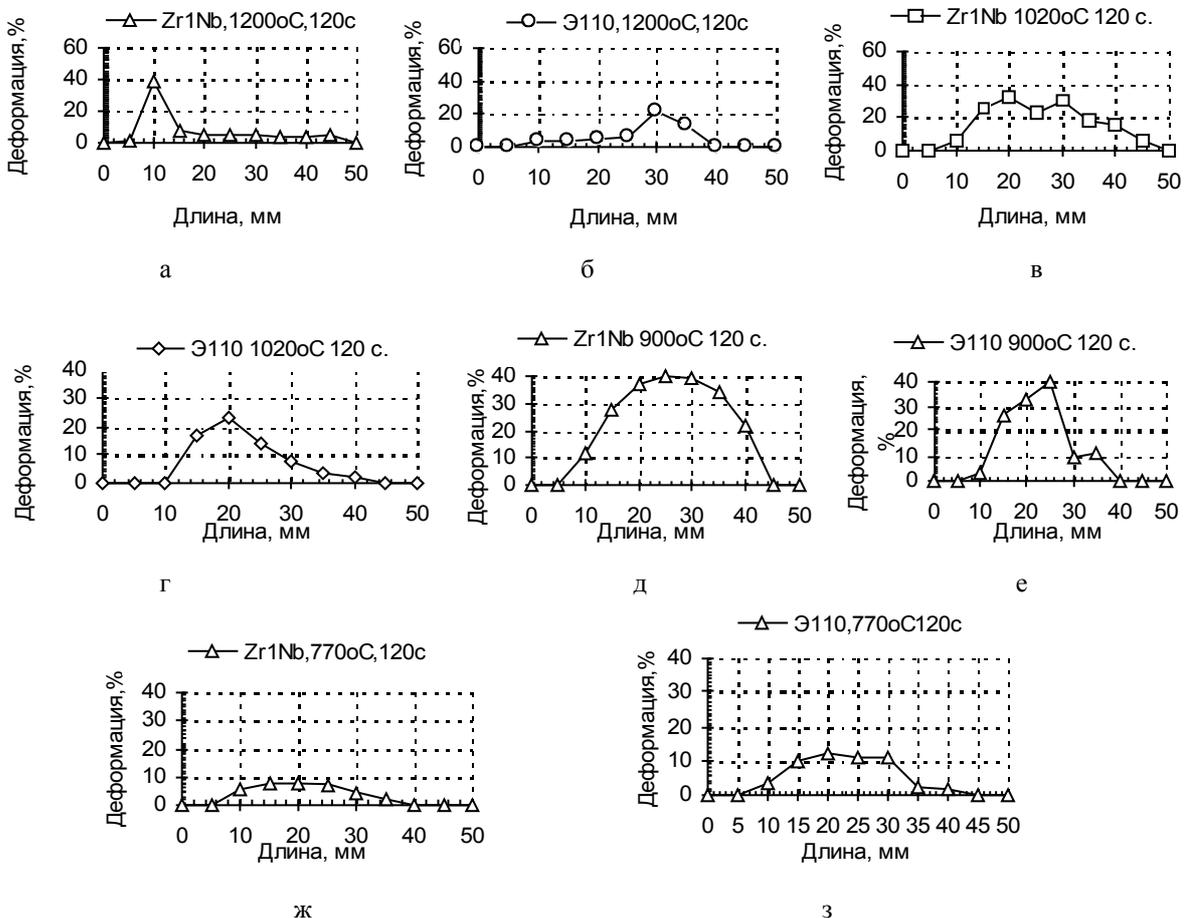


Рис. 5. Изменение диаметра (деформация оболочки) газонаполненных (2,2 МПа) макетов твэлов из сплавов Zr1Nb и Э110 после выдержки в паре при температурах 770, 900, 1020 и 1200 °С в течение 120 с

2.2. МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ОБОЛОЧЕК МАКЕТОВ

Механические свойства труб-оболочек определяли на кольцевых образцах (шириной 2,7 мм), которые были вырезаны из оболочек макетов без внутреннего давления, прошедших нагревы до заданных температур в течение 120 с в среде пара (см.

рис. 3), т.е. в аналогичных испытаниям газонаполненных макетов условиях окисления. Механические испытания проводились по принятой в России и Украине методике путём нагружения в поперечном направлении кольцевых образцов на полуцилиндрических опорах диаметром 6 мм с помощью разрывной машины МР-0,5. Данные приведены на графиках рис. 6.

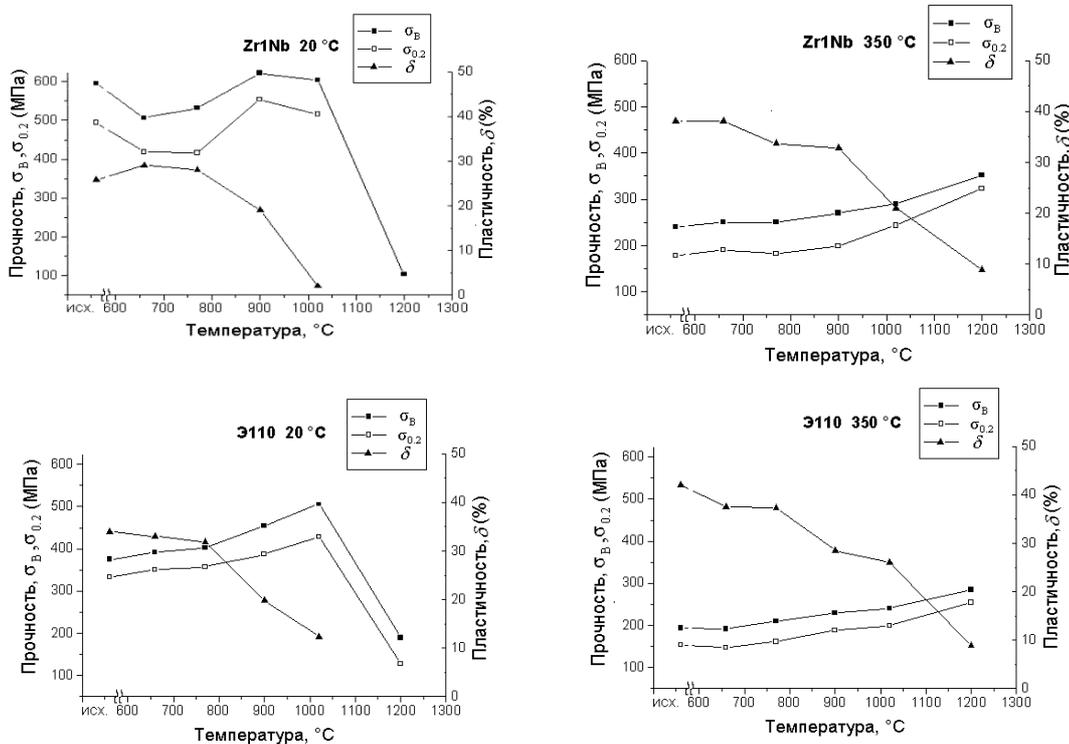


Рис. 6. Зависимость механических характеристик труб-оболочек макетов твэлов из сплавов Zr1Nb и Э110 от температур испытаний в условиях, имитирующих аварийные перегревы

Механические испытания при 20 °С. Как видно из графиков, после выдержки при температурах 660 и 770 °С прочностные и пластические свойства труб из сплава Zr1Nb при комнатной температуре механических испытаний мало изменились (наблюдается вначале снижение прочности), но после выдержки при 750 °С прочность образцов медленно повышается, а пластичность начинает снижаться, приближаясь к нулю после выдержки при 1020 °С. Прочностные характеристики при 1020 °С также резко снижаются, достигая $\sigma_B = 50$ МПа.

Практически после выдержки при 1020 °С сплав Zr1Nb проявляет тенденцию к охрупчиванию, так как наблюдается разрыв образцов при малых нагрузках без деформаций или при очень малых деформациях.

Механические свойства труб из сплавов Э110 и Zr1Nb после высокотемпературных отжигов имеют сходные зависимости от температур отжига в паре в процессе окисления – вначале наблюдается повышение прочности после отжигов в интервале 600..700 °С, затем выше 1020 °С происходит резкое её паде-

ние. Пластичность сплава начинает постепенно понижаться после 660 °С и падает до нуля при 1020 °С.

Испытания при 350 °С. Поведение механических свойств сплавов Zr1Nb и Э110 при температуре механических испытаний 350 °С полностью идентично. Сразу после 660 °С выдержки в паре механические характеристики (предел прочности и предел текучести) начинают повышаться, а пластические свойства, наоборот, снижаются. После отжига при максимальной температуре проектных аварий 1200 °С пластичность у обоих сплавов остаётся на уровне 10%.

Тенденции в изменениях свойств сплава Zr1Nb с повышением температур испытаний в общем сходные с Э110, с учётом того, что сплав Э110 в исходном состоянии менее прочный и более пластичный, но при высоких температурах различие в пластичности почти исчезает.

2.3. ИСПЫТАНИЯ МАКЕТОВ ТВЭЛОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ОКИСЛЕНИИ

Представляло интерес провести такие испытания, чтобы толщина прореагировавшего слоя циркониевого сплава оболочек макетов достигла величины, которая согласно ПБЯ РУ АС-89 [8] представляется как предельное проектное повреждение и в аварийных условиях не должна быть превышена. Такая толщина прореагировавшего слоя сплава составляет 18% от исходной толщины оболочки твэла.

Для оболочки твэлов реактора ВВЭР-1000, которая равна 0,7 мм, толщина слоя прокорродированного металла не должна превышать 0,126 мм. Согласно расчётам толщина оксидного слоя в этом случае будет составлять приблизительно 184 мкм, а привес при этом будет равен 2770 мг/дм².

С помощью коррозионных кривых мы определили длительность выдержки для достижения привеса такой величины. Так, при температуре 1200 °С такое время составляет 35...45 мин, при температуре 1020 °С – 3...3,5 ч.

На рис. 7 показан вид макетов твэлов, испытанных в водяном паре при температуре 1200 °С в течение 40 мин, т. е. в соответствии с указанными условиями для достижения глубины коррозии сплава 126 мкм. Оболочки макетов состояли из сплавов Zr1Nb и Э110.

Во время испытаний газонаполненные макеты вначале претерпели раздутие и разрыв (при температуре 820...860 °С), а затем подверглись дополнительному окислению, в сущности, с обеих сторон

трубок-оболочек. На образце с оболочкой из Э110 образовались белые осыпающиеся оксидные плёнки. Наконечники макетов и сварные соединения окислились в меньшей степени. Видны разрывы труб в виде трещин длиной до 3 мм.

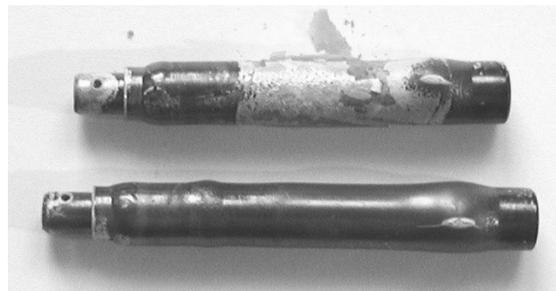
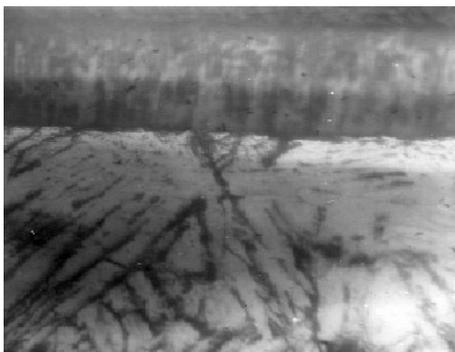


Рис. 7. Вид макетов твэлов после выдержки при температуре 1200 °С в течение 40 мин. Испытания на достижение критических толщин прокорродированного металла (18% от исх. толщины). Верхний образец имеет оболочку из сплава Э110, нижний – из Zr1Nb

Характер образования трещин описан в разд. 2.1. Также обращает на себя внимание более сильное окисление оболочки и сплава Э110. Это соответствует ранее отмеченному свойству сплава Zr1Nb как более коррозионно-стойкому при высоких температурах.



а

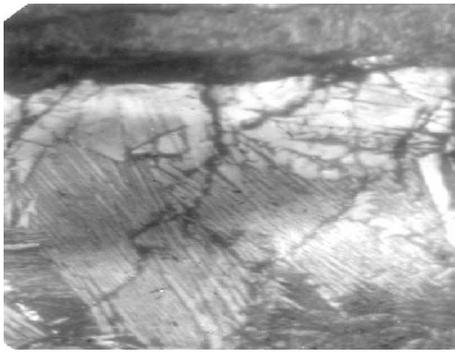


б

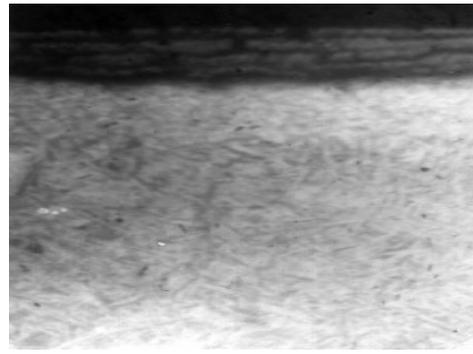
Рис. 8. Структура оксидных плёнок и подокисного слоя сплавов после выдержки в паре при температуре 1200 °С в течение 35 мин: а - Э110; б - Zr1Nb, X200

Как видно из рис. 8, при температуре испытаний 1200 °С наблюдается образование столбчатой структуры оксидных слоёв и пластинчатое крупнозернистое строение сплавов в подокисных слоях. Согласно [9] такая структура сплавов обусловлена охлаждением из состояния β-фазы, переходом в α'-фазу с сохранением структуры экс-β-фазы.

После испытаний при 1020 °С оксидные плёнки имеют слоистое строение, на сплаве Zr1Nb плёнки тоньше в 1,5...2 раза по сравнению с плёнками на Э110, и подложка на Zr1Nb имеет сплошную структуру (рис. 9).



а



б

Рис. 9. Структура оксидных плёнок и подокисного слоя сплавов после выдержки в паре при температуре 1020 °С в течение 4 ч: а – Э110, X200; б – Zr1Nb, X200

Можно констатировать значительную деградацию структуры материала оболочки на макете со сплавом Э110 после окисления на глубину 18% от толщины оболочки. На образцах сплава Zr1Nb такая глубина окисления при 1020 °С за 4 ч выдержки ещё не была достигнута.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный комплекс работ позволил получить следующие результаты.

1. Разработаны установки и методики высокотемпературных исследований моделей твэлов на перегрев до температур максимальных проектных аварий до 1100...1200 °С.

2. Испытания макетов твэлов в паровой среде в широком диапазоне температур показали:

– негазозаполненные варианты моделей твэлов выдерживают испытания в течение 120 с без разрушений оболочек (наблюдалось осыпание оксидных плёнок);

– во время испытаний наполненных гелием (до 2,2 МПа) моделей твэлов наблюдались эффекты вспучивания (ballooning), изменения размеров и разрыва оболочек при температурах 820...830 °С и выше;

– изменения формы и размеров макетов объясняются повышением после нагрева давления газа внутри них из-за теплового расширения до значення, достаточного для разрыва оболочек при данной температуре испытаний.

3. Прочность оболочек перегретых макетов с оболочкой из сплава Zr1Nb, определённая при комнатной температуре механических испытаний, после выдержки в паре в течение 120 с при 660 и 770 °С, сохраняется на уровне исходных данных. При тех же условиях испытаний пластичность начинает снижаться, начиная с 770 °С, и уменьшается до величин, близких к нулю, после окисления при температуре 1020 °С и выше.

При температуре механических испытаний 350 °С прочностные свойства обоих сплавов незначительно повышаются с увеличением температуры во всём исследуемом диапазоне температур, вплоть до 1200 °С, а пластичность начинает заметно снижаться после 900 °С и постепенно уменьшается до 7, 8...8,8 % при выдержке при 1200 °С в течение 60...120 с.

4. Определение механических характеристик оболочек макетов твэлов из сплава Zr1Nb и Э110 после перегревов до температур 1020...1200 °С показало, что снижение пластичности до уровня охрупчивания может происходить при температуре 1020 °С и выше.

5. Проведенные испытания макетов твэлов показали, что в предельном случае проектной аварийной ситуации с перегревом твэлов до 830...1200 °С при гипотетическом полном обезвоживании корпуса реактора и выдержке ТВС в течение 30...120 с может произойти разгерметизация наиболее теплонапряжённых твэлов, а при нагреве 770 °С и выше возможно изменение проходных сечений в ТВС из-за «раздутия» оболочек.

6. Испытания и исследования сплава Zr1Nb в сравнении со штатным для оболочек твэлов реактора ВВЭР-1000 сплавом Э110 показали значительное сходство их характеристик, что свидетельствует о достаточно высоких показателях качества сплава Zr1Nb украинского производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.А. Петельгузов, А.Г. Родак, Н.М. Роечко, В.С. Вахрушева, Т.А. Дергач. Изучение кинетики коррозии и структуры твэльных труб из сплавов КТЦ-110 и Э110 // *Научные ведомости. Серия: «Физика»*. Изд-во Белгородского государственного университета. 2001, №1 (14), с. 145–149.

2. В.С. Красноруцкий, И.А. Петельгузов, В.К. Яковлев, Н.Н. Белаш, А.Г. Родак, Ф.А. Пасенов, В.И. Савченко, Е.А. Слабоспицкая, Н.И. Ищенко. Исследование моделей твэлов для реактора ВВЭР-1000, изготовленных из кальциетермического циркониевого сплава Zr1Nb после длительных коррозионных испытаний // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»* (83). 2003, №3, с. 101–107.

3. В.С. Красноруцкий, И.А. Петельгузов, В.М. Грицина, А.Г. Родак, Н.И. Белаш. Исследование характеристик оболочек макетов твэлов из сплава Zr1Nb после высокотемпературных испытаний в водяном паре // *Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спец. в.*

№4. Материалы конференции: «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів». Львів, 2004.

4. Н.Б. Соколов. Расчётное моделирование термомеханического и коррозионного состояния твэлов при авариях с разгерметизацией контура // Доклад на региональных курсах МАГАТЭ «Конструкция, контроль качества при промышленном производстве и перспективы дальнейшего развития топлива ВВЭР». 5-23 июня 1995 г., г. Обнинск, Россия.

5. В.П. Смирнов, А.В. Смирнов, В.А. Цыканов, В.Г. Асмолов, Л.А. Егорова, Л.Н. Андреева-Андреевская, Ю.К. Бибилашвили, Н.Б. Соколов, Е.Г. Бек, А.К. Панюшкин, В.В. Рябов. Результаты экспериментальных исследований по обоснованию поведения высоковыгоревшего топлива реакторов с водой под давлением в авариях с потерей теплоносителя // Доклад на Международной конференции «Атомная энергетика на пороге 21-го тысячелетия», 7-9 июня 2000 г., г. Электросталь, Россия. Т.6.

6. Forgeron et al. Experiment and modeling of Advanced Fuel Rod Cladding Behavior Under LOCA Con-

ditions: Alpha-Beta Phase Transformation and EDGAR Methodology // Zirconium in the Nuclear Industry: Twelfth International Symposium, ASTM STP 1354, 2000.

7. И.А. Петельгузов. Кинетика и механизм коррозии сплава Zr1Nb при нагреве в парах воды в области температур 660...1200 °С // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных поврежденных и радиационное материаловедение» (89). 2006, №1, с. 43–50.

8. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных электростанций. ПБЯ РУ АС-89 // Атомная энергия. № 12, 1990.

9. И.А. Петельгузов, А.Г. Родак, Е.А. Слабоспицкая, Н.И. Ищенко. Кинетика процесса коррозии и изменение структуры кальциетермического циркониевого сплава Zr1Nb при нагреве в парах воды в области температур 660...1200 °С // Фізико-хімічна механіка матеріалів. Спец. в. №4. Материалы конференции «Проблеми корозії та протикорозійного захисту матеріалів», Львів, 2004.

ВИПРОБУВАННЯ МАКЕТІВ ТВЕЛІВ З ОБОЛОНКОЮ ІЗ СПЛАВУ Zr1Nb У ПАРАХ ВОДИ ПРИ ТЕМПЕРАТУРАХ МОЖЛИВИХ АВАРІЙНИХ ПЕРЕГРІВІВ У РЕАКТОРІ ВВЭР-1000

В.С. Красноруцький, І.А. Петельгузов, В.М. Грицина, А.Г. Родак, М.М. Бєлаш, В.К. Яковлєв

Приведені результати іспитів макетів твелів, їхніх зварених сполук, змін механічних властивостей оболонок макетів, виготовлених з експериментальних партій труб зі сплаву Zr1Nb (Zr+1 мас. % Nb) і зі штатного сплаву E110 при витримці при температурах 660...1200 °С. Показано, що при нагріванні макетів, наповнених гелієм до тиску, що застосовуються в промислових твелах (2,2 МПа) до температури 770 °С і вище, відбувається роздуття твелів, а при температурах 820...830 °С оболонки можуть розриватися за рахунок тиску газу, що нагрівається. Відзначено зниження пластичності після нагрівання до температур вище 900...1200 °С. Характеристики сплаву Zr1Nb експериментальних плавок схожі з поведінкою сплаву E110.

THE TESTING OF FUEL ROD MODELS WITH Zr1Nb ALLOY CLADDING IN WATER VAPOUR AT TEMPERATURE OF GYPOTETICAL ACCIDENT SITUATION IN WWER – 1000 TYPE REACTORS

V.S. Krasnorutskiy, I.A. Petelguzov, V.M. Grytsyna, A.G. Rodak, N.N. Belash, V.K. Jakovlev

In the article happen to results of testing the fuel rod models, their welded joints, changing the mechanical characteristics of shells of models from experimental parties of pipes from Zr1Nb alloy (Zr+1 mas.%Nb) at heatings before temperatures 660...1200°C. It is show, that at the heating of models, pervaded helium before pressures, using in earned one's living fuel rods (2,2 MPa), before the temperature 770°C and above occurs an overblown fuels, but at temperatures 820...830°C shells can be broken at the expense of pressures of warming gas. Swept away reduction plastisity and embrittlement shells after the heating under temperature of 900...1200°C and cooling before room temperature pipes-shells from Zr1Nb alloy and from the staff alloy E110.