

РАДИАЦИОННАЯ СТОЙКОСТЬ ТВЭЛОВ ИЗ КАРБИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕАКТОРОВ

Ланин А. Г. Федик И. И.

НИИ НПО «Луч» Агентства по атомной энергии. Подольск
lanin05@mail.ru

Важной характеристикой радиационной стойкости тепловыделяющих элементов является их размерная стабильность. Распухание ТВЭлов из материалов на основе твердых растворов карбидов урана, циркония, ниобия в реакторе нежелательно, поскольку увеличение объема топлива в условиях жесткого закрепления в технологических каналах ведет к усилению механического воздействия на ТВЭлы со стороны обоймы, что увеличивает вероятность их разрушения. К тому же, распухание топлива, как правило, сопровождается образованием пор и трещин, что снижает прочность ТВЭлов. Для ТВЭлов с защитными покрытиями из карбида и карбонитрида циркония распухание сердечника может привести к разрушению покрытия.

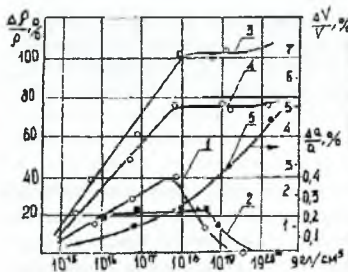


Рис.1. Изменение периода решетки (1,2), удельного электросопротивления (3,4) и объема (5) топливных материалов ZrC +8% UC ($P = 5\%$ — пористость) (1,3,5) и ZrC+8 мас.% U C +1 мас.% C (2,4) в зависимости от плотности деления при температуре облучения $T = 1100$ К.

к росту пузырьков до величины более 0,1 мкм и увеличению скоростей распухания топлива. Микроструктура облученных материалов не претерпевает видимых изменений, вплоть до выгораний $2 \cdot 10^{20}$ /см³

Увеличение скорости распухания урансодержащих карбидов по сравнению с чистыми карбидами, что выражается в смещении диапазона флюенсов нейтронов для наблюдаемых эффектов на два порядка величины, можно отнести за счет высокоэнергетических осколков деления. Прирост периода решетки Δa , электросопротивления $\Delta \rho$ замедляется после выгораний 10^{18} дел/см³, а распухание ΔV для UC-ZrC продолжает увеличиваться (рис 2).

Абсолютная величина прироста электросопротивления в результате облучения ZrC и NbC гораздо выше, чем в случае облученных металлов, что свидетельствует о значительной роли углеродной подрешетки в формировании радиационных дефектов, фиксируемых измерением электросопротивления.

При температуре 900 К до выгорания $9 \cdot 10^{17}$ дел/см³ приращение длины ТВЭлов хорошо согласуется с изменениями периода решетки, что указывает на взаимосвязь распухания на начальной стадии облучения с накоплением межузельных атомов (рис.1). Это позволяет заключить, что при плотностях выше 10^{18} дел/см³ распухание твердых растворов карбидов UC, ZrC, Nb определяется накоплением дефектов вакансионного типа. При температурах выше 0,4–0,5 Тпл (1700 К) распухание топлива определяется образованием пор, заполненных газовыми продуктами деления.

Скорость распухания зависит от температуры облучения и выгорания. При температурах ниже критической, величина которой является функцией выгорания, образуются пузырьки газа с размером менее 1000 А и скорость распухания составляет 1-2 % об. на процент выгорания. Повышение температуры приводит

Повышение температуры облучения до 2000 К при постоянной плотности деления уменьшает изменения $\Delta\rho$ и параметра решетки $\Delta a/a$ вплоть до исходного значения, но существенно увеличивает скорость распухания ΔV . Снижение модуля упругости, в основном, определяется пористостью, возникшей в результате воздействия реакторного облучения. Отмечается увеличение прочности твэла σ на основе UC-ZrC на 30-50%, и термочности R на 70-80%. с ростом энерговыделения (рис.3).

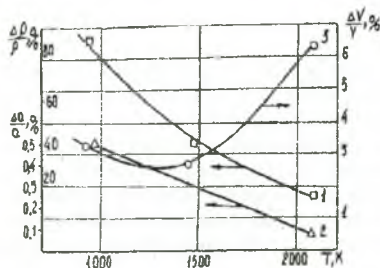


Рис. 2. Изменение удельного электросопротивления $\Delta\rho/\rho$ (1), параметра решетки $\Delta a/a$ (2) и объема $\Delta V/V$ (3) топливного материала ZrC + 8 мас.% UC ($P = 5\%$) в зависимости от температуры облучения

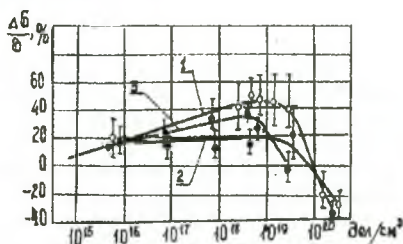


Рис. 3. Зависимость изменения прочности твэлов от плотности делений при температурах 800-1000 К. 1 - UC-ZrC-NbC, 2 - UC, 3 - UC+ZrC+C5%

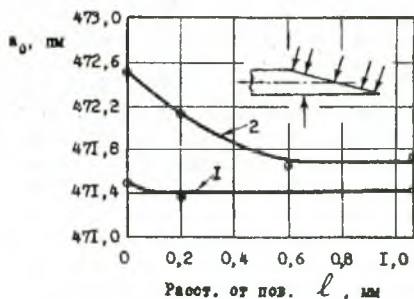


Рис.4. Изменение периода решетки твэла из ZrC+5 Масс %UC до (1) и после облучения (2)

причем интенсивный спад напряжений наблюдается только при температурах превышающих температуру облучения. В этом случае после отжига различия в периодах решетки по радиусу твэла исчезают.

При этом величина прироста прочности с ростом температуры облучения снижается. Такое повышение σ и R обусловлено возникновением в поверхностных слоях твэла остаточных сжимающих напряжений, измеренных различными рентгенографическими методами [1]. Напряжения появляются вследствие неравномерного изменения периода решетки Δa по радиусу цилиндрического твэла, что связано, в свою очередь, с меньшей скоростью изменения Δa более нагретых поверхностных слоев твэла. Изохронные отжижки облученных твэлов приводят к снятию остаточных напряжений,

1. Деряжко И.И., Егоров В.С., Ланин А.Г. и др. Рентгенографическое исследование остаточных макронапряжений в безоболочковых стержневых карбидных твэлах. Вестник НЯЦ РК, 2001, выпуск 4, с.95-99