BR8206463

"EXAMES DE PÓS-IRRADIAÇÃO DE VARETA COMBUSTÍVEL PARA REATORES TIPO PWR".

NESTOR FOGAÇA FILHO (1)
FRANCISCO AMBRÓZIO FILHO (2)

INIS-mf--7625

RESUMO

~~Este trabalho consiste de uma abordagem sobre~~ Abordagem de alguns aspectos envolvidos na tecnologia de irradiação de varetas combustíveis experimentais para reatores de água leve, tipo PWR.

Apresenta-se os ensaios de pós-irradiação executados com uma vareta combustível teste em um laboratório de células quentes. Os exames realizados permitem uma avaliação dos efeitos causados pela irradiação sobre as propriedades do combustível e do revestimento da vareta. (autores)

Contribuição técnica a ser apresentada ao XXXVI Congresso Anual da ABM; Recife - Julho de 1981.

(1) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista e Mestre em Engenharia Metalúrgica; Centro de Metalurgia Nuclear; Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo - S.P.

(2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista e Doutor em Engenharia Metalúrgica; Gerente da Área de Metalografia, Metalurgia Física e Ensaios - Centro de Metalurgia Nuclear do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo - S.P.

I - Introdução

A tecnologia de reatores PWR assumiu uma importância maior para o Brasil após a opção deste tipo de reator para suas centrais nucleares. Grande têm sido os esforços no sentido de adquirir e desenvolver conhecimentos nas diversas áreas que dizem respeito a sua construção e funcionamento. Uma dessas áreas se refere a fabricação do elemento combustível com características que apresente um bom desempenho durante a operação do reator.

A necessidade fundamental do combustível é que opere de acordo com as previsões dos cálculos e com nenhuma possibilidade de falhas. Para garantir isto o combustível deve obedecer as rígidas especificações existentes [1]. As especificações atuais são o resultado de muitos anos gastos em projeto, ensaios e aperfeiçoamentos, tendo em vista melhorar cada vez mais o seu desempenho [2]. A medida que o conhecimento sobre o comportamento dos combustíveis é ampliado, pode-se modificar o projeto e especificação do combustível.

A comprovação definitiva do elemento combustível é feita somente através da análise de seu desempenho em condições de operação realística e de forma estatística, ou seja, nos reatores de potência. No entanto este ideal nem sempre é possível e na maioria das vezes são realizados ensaios de irradiação em reatores de ensaios que simulem as condições de operação do reator de potência.

Nestes ensaios pode-se programar experiências com objetivos determinados que vizem o conhecimento de fenômenos específicos, por exemplo, investigar condições que limitem o desempenho do combustível. Além disso estes ensaios de irradiação são importantes para demonstrar a capacidade de qualquer novo produtor de combustíveis, situação atual para o Brasil. Desta forma o objetivo específico do ensaio de irradiação determinará o projeto e forma de execução do mesmo.

A irradiação de varetas combustíveis testes é um ensaio de irra-

diação comumente utilizado para combustíveis de reatores pressurizado à água leve (PWR). Neste caso uma vareta preparada com determinadas características é irradiada no reator de pesquisas em um circuito hidráulico, sob condições impostas dadas pela finalidade do ensaio. Vários resultados do comportamento são obtidos durante a irradiação e normalmente são realizados exames destas varetas após a irradiação, quando se verifica o seu estado atual.

II - Vareta combustível do reator PWR e ensaios de irradiação.

A vareta combustível, elemento essencial do elemento combustível, é composta de um empilhamento de pastilhas de UO_2 sinterizadas (enriquecimento de cerca de 3,0 a 3,4% em U-235 e 90 a 95% de densidade teórica), revestidas por um tubo de zircaloy-4. A vareta a ser utilizada no reator tem cerca de 4 m de comprimento e um conjunto de secção quadrada de 170 a 200 varetas é montada em grades espaçadoras para formarem o elemento combustível do reator PWR.

Além disso o elemento combustível contém 16 a 20 tubos guias para inserção de barras de controle, um tubo central para instrumentação e dois bocais inferior e superior.

Para o ensaio de irradiação geralmente, é empregada uma vareta combustível experimental semelhante àquela utilizada nos reatores de potência. Essa vareta experimental tem um empilhamento de pastilhas menor e o seu comprimento total é definido pelo projeto da cápsula de irradiação. A fig. 1 apresenta um exemplo típico desse tipo de vareta.

O ensaio de irradiação consiste em se colocar a vareta experimental dentro do núcleo de um reator de pesquisa para se avaliar o desempenho dos seus componentes, revestimento e pastilhas, sob irradiação[3]. Para este ensaio a vareta é introduzida em uma cápsula, denominada cápsula de irradiação, que é projetada e construída de tal forma a simular as condições de operação de um reator de potência PWR, ao qual a vareta se destina. Este ensaio

contém 3 fases distintas que são:

1) concepção e projeto do experimento,

2) construção e montagem da cápsula, e

3) irradiação da vareta no reator.

A vareta combustível emite, após a irradiação uma dose de radiação que não permite o seu livre manuseio. São necessárias precauções e proteções especiais que protejam o indivíduo contra esta radiação. Esta precaução deve ser tomada em todas as etapas, desde a retirada do reator, transporte, exames efetuados após a irradiação até o seu armazenamento[4].

Desta forma, os exames de pós-irradiação são efetuados em células blindadas que protegem o operador contra a radiação, denominadas células quente. Este trabalho está baseado no que foi realizado nas células quentes do KFA, que são utilizados para exames de pós-irradiação em varetas combustíveis.

III - Exames de pós-irradiação em vareta combustível

A finalidade dos exames pós-irradiação está diretamente relacionada com o ensaio de irradiação. São realizados exames que caracterizam o estado da vareta combustível após a irradiação, de tal forma que os efeitos da irradiação sejam determinados. Assim, a finalidade básica dos ensaios de pós-irradiação é verificar os efeitos causados durante a irradiação na vareta combustível.

III.1 - Ensaio visual.

O ensaio visual fornece informações sobre o aspecto superficial da vareta. É um ensaio inicial, que já pode apresentar dados importantes, quando por exemplo, o efeito da irradiação foi muito drástico e causou a ruptura do revestimento ou corrosão violenta do mesmo.

A vareta combustível é suspensa e fixa nas duas extremidades em um suporte existente na parte anterior da célula onde pode ser observada através

de um periscópio. A vareta é fotografada em diversas posições subsequentes, e posteriormente através de montagem das fotografias, obtém-se a imagem da vareta. Pode-se obter, através do periscópio, fotografias com 2 a 3 vezes de aumento. A figura 2 apresenta o aspecto superficial externo das extremidades da vareta, e onde se observa que não ocorreram falhas graves perceptíveis.

III.2 - Ensaios dimensionais.

Os ensaios dimensionais são realizados para determinar as variações dimensionais que a vareta pode ter sofrido durante a irradiação. Estes ensaios são importantes, pois as especificações dimensionais das varetas são bastante rígidas e um desvio excessivo destas especificações poderão causar efeitos indesejáveis. Por outro lado também sabemos que os cálculos dos parâmetros do reator determinam as dimensões das varetas e do combustível, e uma grande variação dimensional pode causar uma influência negativa acima da permitida em certos parâmetros.

Todos os ensaios dimensionais são efetuados normalmente antes e depois da irradiação para que ambos valores possam ser comparados.

São efetuadas determinações do comprimento e do diâmetro da vareta. Na determinação do comprimento é tomada 1 circunferência de referência em cada uma das extremidades. Tomando-se uma posição qualquer como referência nessa circunferência, são realizadas no mínimo 2 determinações: uma a 0° na posição de referência e de outra a 90° desta posição. Podem ser ainda realizadas medidas a 180° e 270°. Essas determinações, em diferentes posições, podem indicar o grau de encurvamento real da vareta.

O melhor meio de determinar o diâmetro ao longo da vareta é fazê-lo executando com a mesma um movimento de rotação, simultâneamente com um movimento translacional dos apalpadores. Tem-se assim uma caracterização completa de variações de diâmetro ao longo da vareta. A fig. 3 apresenta o resultado de um desses ensaios onde se nota uma pequena variação regular de diâ

metro proveniente, certamente, do processo de fabricação da mesma.

III.3 - Ensaio por correntes de Foucault.

Este é um ensaio não destrutivo que detecta possíveis defeitos no tubo revestimento da vareta. O ensaio é realizado com a passagem da bobina magnética pela vareta. O ensaio é comparativo, fazendo inicialmente calibração do aparelho com um tubo contendo defeitos simulados. Faz-se depois o ensaio na vareta combustível e detecta-se as posições com possíveis defeitos. Por comparação com os sinais dos defeitos do tubo de calibração, tem-se uma avaliação de sua ordem de grandeza. Os tubos ensaiados não apresentaram nenhum defeito detectável neste ensaio.

III.4 - Espectrometria gama.

Utiliza-se para o ensaio um espectrômetro de radiação gama. Com este espectrômetro são, normalmente, realizados dois tipos de ensaios em uma vareta combustível:

a) espectro gama e

b) varredura gama.

Para a obtenção de um espectro de raios gama a vareta é fixada com a posição desejada em frente ao colimador e capta-se a radiação emitida durante um determinado tempo (por exemplo 400 min.), quando se obtém o espectro característico. Tendo-se o espectro deve-se determinar qualitativamente os elementos correspondentes a cada pico do espectro obtido. Isto é feito graficamente após o conhecimento dos picos de dois elementos no espectro. Os picos correspondentes a esses dois elementos são conseguidos efetuando-se um espectro somente com padrões destes dois elementos, normalmente C_s-137 e C_o-60.

A figura 4 apresenta um espectro obtido em uma posição da vareta combustível mostrando os elementos correspondentes a cada pico. A figura 5 apresenta o resultado de um ensaio de varredura ao longo de uma vareta, com captação de toda faixa de energia emitida.

Algumas informações podem ser obtidas deste ensaio, por exemplo, a localização das pastilhas na vareta e a separação entre elas, nas regiões que apresentam uma menor atividade no gráfico, bem como a diferença, de atividade ao longo da vareta, que corresponde a uma variação de fluxo ao longo da vareta durante a irradiação.

III.5 - Punção da vareta. Determinação dos gases.

A punção da vareta é realizada no sentido de verificar se a vareta ainda é um recipiente estanque após a irradiação, determinar a quantidade de gases de fissão que a vareta contém e o volume onde este gás está contido.

A figura 6 apresenta o esquema do sistema de medidas utilizado, separando as partes contidas na célula (recipiente, válvulas, sistema equalisador de pressão) e as que estão situadas fora da célula (bombas de vácuo, sistema de retirada de amostras), no caso, na parte superior da célula.

Apresenta-se aqui o método de modo mais simplificado:

Após a colocação da vareta na posição de punção efetua-se o vácuo no sistema. Atingido o vácuo o medidor de pressões é ajustado na posição zero e os valores de pressão fornecidos posteriormente serão a diferença entre a pressão atual do sistema e a pressão correspondente a este vácuo.

Em seguida, fornece-se hélio ao volume V_1 da Fig. 6. Após o fechamento da válvula 3, mede-se a pressão no manômetro correspondente ao volume V_1. Abre-se a válvula 1 e mede-se novamente a pressão, agora correspondentes aos volumes V_1 e V_2. Tendo-se o volume V_2 conhecido pode se, admitindo-se comportamento de gás perfeito, determinar-se o volume V_1 da câmara de punção.

Efetua-se novamente vácuo no sistema e com as válvulas 1, 2 e 3 fechadas, faz-se com a broca o furo na vareta e o gás ocupa o volume V_1 (câmara de punção de vareta). Após a equalização da pressão correspondente.

Normalmente o volume do gás na vareta é fornecido a pressão e temp

raturas normais (273 °K, 760 mm Hg). Para tanto é necessário conhecer-se o volume ocupado por este gás, ou seja o volume livre da vareta mais o volume da câmara de punção (V_1').

O volume livre da vareta mais o volume da câmara de punção.(V_1') é determinado da mesma maneira como foi descrito para determinação do volume da câmara de punção (V_1) ou seja, com injeção de uma pressão de hélio no sistema. Obtém-se assim, o volume livre da vareta, por diferença deste valor agora calculado (V_1') do anterior (V_1), $V_1' - V_1$.

Para determinação do volume das câmaras de punção e do volume livre da vareta são realizados vários ensaios e tomado uma média dos resultados.Após a realização do ensaio como descrito acima obtém-se o volume de 6,37 cm^3 para os gases contidos, o que corresponde a uma pressão de 736,68 Torr. Este valor mostra que os gases exerceram uma pressão aproximadamente igual a pressão atmosférica indicando falta de estanqueidade da vareta.

Desta maneira podem ser calculados o volume dos gases existentes na vareta (condições normais de pressão e temperatura), e do volume livre da vareta onde se situava este gás. Pode-se ainda com estes valores determinar a pressão exercida pelo gás na vareta em diversas temperaturas.

III.6 - Metalografia

A vareta é contada em diversos pontos previamente escolhidos, de onde são retiradas amostras para observações metalográfica.

Foram obtidas 4 (quatro) amostras, que seriam designadas E5, E6, E7 e E8 para efeito de identificação durante o preparo metalográfico. Das 4 amostras obtidas, 2 eram secções transversais (E7 e E8) e 2 secções longitudinais (E5 e E6).

O embutimento foi conduzido empregando-se uma resina sintética de endurecimento a frio, em campanula sob vácuo, para possibilitar a penetração da mesma nas fendas e poros abertos existentes na amostra.

O procedimento adotado, na preparação foi o seguinte:

- Inicialmente a superfície da amostra é desgastada, passando por um desbaste grosseiro, empregando-se politriz mecânica dotada de um disco diamantado ou lixa número 400, de carboneto de silício.

- Em seguida a amostra é novamente impregnada à vácuo na superfície. Após o endurecimento da resina impregnante a amostra é novamente desbastada, de tal forma que somente o excesso de ARALDITE seja retirado e exatamente o mesmo nível anterior à impregnação, na superfície seja atingido. Este desbaste é realizado empregando-se a lixa número 400 de SiC, em politriz mecânica.

- Prossegue-se com a operação efetuando-se polimento mecânico das amostras, empregando-se pasta de diamante como material abrasivo, adotando-se a seqüência apresentada na tabela I.

Tabela I - Seqüência e duração do polimento.

Pasta de diamante (μm)	Tempo de polimento	
	Secção transversal	Secção longitudinal
14	10	13
6	6	8
1	5	5

Terminado o polimento a amostra é conduzida para a célula de microscopia para observação e fotografia, antes do ataque químico.

Para ser observado, o corpo de prova é colocado sobre a platina do microscópio ótico blindado, que permite o deslocamento da amostra por controle remoto. Antes do ataque químico são observados, por exemplo, os poros (tamanhos e distribuição), trincas e fissuras no combustível UO_2 e o aspecto geral do revestimento. O ataque é realizado primeiramente sobre o combustível UO_2, sendo conduzido empregando-se uma solução de H_2SO_4 concentrado, em água oxigenada (H_2O_2).

Após o ataque é possível observar, por exemplo, os contornos de grão, a existência ou não de precipitados provenientes dos produtos de fissão, medir tamanho de grão e precipitados e verificar se houve crescimento de grão e alterações na microestrutura durante a irradiação (densificação, por exemplo).

As principais micrografias obtidas com as amostras examinadas encontram-se nos quadros mostrados na fig. 7, correspondentes aos corpos de prova E6 e E7 . Para a última etapa do ensaio as amostras são reconduzidas à célula metalográfica, onde são novamente atacadas químicamente. Este ataque é conduzido empregando-se uma solução ácido láctico em ácido nítrico (HNO_3), com algumas gotas de ácido fluorídrico (HF) e destina-se a revelar a presença de hidretos no tubo-revestimento, de zircaloy.

A fig. 8 mostra uma micrografia do revestimento de zircaloy-4, podendo-se observar a presença de hidretos, precipitados em direção paralela ao eixo do tubo.

IV - Considerações Finais

Outros ensaios complementares podem ser efetuados adicionalmente aos apresentados, e a sua realização é função do programa e objetivo da irradiação. Os ensaios aqui apresentados são aqueles mais comumente utilizados no exame das propriedades que tem um efeito direto sobre o desempenho da vareta combustível e caracterizam o estado da vareta após a irradiação.

Os resultados apresentam as características de uma única vareta teste, irradiada com baixa taxa de queima, não mostrando nenhum defeito aparente . Os resultados obtidos servem para mostrar quais as propriedades, que devem ser medidas, nas quais a irradiação pode ter influência e demonstram em várias delas o efeito causado pela irradiação.

Agradecimentos

Este trabalho procura refletir a experiência obtida pelos autores durante estágio realizado nas áreas envolvendo experimentos de irradiação - (circuito LV9 do reator FRJ-2) e exames de pós-irradiação (laboratório de células quentes, conjuntos BZ I, II e III) de combustíveis nucleares do KFA-Jülich, na Rep. Fed. da Alemanha. Os autores agradecem as entidades IPEN - (São Paulo), CNEN (Rio de Janeiro) e INT /KFA- (Jülich) que possibilitaram a oportunidade de realizar este trabalho. Agradecimento especial ao Eng. H. Derz, do laboratório de células quentes (HZL) do KFA-Jülich.

Referências Bibliográficas

1) Standard Specifications for sintered uranium dioxide pellets, ASTM C776-79.

2) Gazarolli, F., von Ian, R., Stehle, H., The main causes of fuel element failure in water cooleod power reactors; Atomic Energy Review (1979)

3) Reichardt, K., Neumann, M., "Irradiation of water-cooled fuel rods in boiling water loops", Kerntechnick, 10 (1968), 331-337.

4) Stradal, K., Gross, E., Fuels and fuel elements for power reactors post-irradiation technology, KFA.

As figuras constantes deste trabalho, serão distribuídas pelos autores por ocasião da apresentação.

ABSTRACT

~~This work deals with~~ Certain aspects of irradiation technology on test fuel pins for PWR, are studied.

~~In this paper,~~ The results of post irradiation tests, performed on test fuel pins in hot cells, are presented. The results of the tests permit an evaluation of the effects of irradiation on the fuel and cladding of the pin.