Análise do Dano Causado por Fretting entre Vareta de Combustível Nuclear e Grade espaçadora

Daniele Baêta[1], Filipi Cardoso[1], Dionísio Costa[1] e Neil de Medeiros[1]

[1] Escola de Engenharia Metalúrgica de Volta Redonda – Universidade Federal Fluminense, Avenida dos Trabalhadores, 420, Vila Santa Cecília, CE: 27255-125, Volta Redonda, RJ, Brasil .

Área: Metal

Resumo

Neste estudo, foi simulado em um segmento da grade espaçadora o comportamento de desgaste pontual e superficial da vareta de elemento combustível quando submetida à oscilação contínua e constante. A área de desgaste, obtida de forma experimental, apresentaram maior dano superficial na sua parte central evoluindo em menor intensidade para as extremidades, compatível com o descrito na literatura. As imagens obtidas pelo método do confocal sugerem que os resíduos de desgaste na condição seca permaneceram aderidos à superfície desgastada.

Palavras-Chave: Fretting, Vareta de Elementos Combustíveis, Grade Espaçadora

Introdução e objetivos do trabalho

Um dos fenômenos de falha mais comum encontrado em elementos combustíveis de reatores PWR é o chamado fretting. Este pode ser clarificado como sendo o desgaste que ocorre entre duas superfícies em contato, com movimento relativo oscilatório de pequena amplitude[1].

Há anos, o desgaste por fretting é reconhecido como uma deficiência significativa em várias aplicações industriais. O desgaste por fretting está associado ao serviço de longo prazo de operação de componentes mecânicos e de engenharia, incluindo acoplamentos de motores aeronáuticos[2], eixos de locomotivas[3] e combustível nuclear[4]. Uma visão geral de falhas por fretting ocorridas em estruturas reais são apresentadas por Hoeppner[5]. Este tipo de dano vem apresentando elevado impacto econômico e de segurança nas plantas nucleares, visto que estudos mostram ser o principal agente de falha das varetas combustíveis[6].

Os danos por fretting entre a vareta e as molas da grade espaçadora dos elementos combustíveis podem ocorrer por diversos fatores, dentre eles podemos citar: instabilidade da rigidez estrutural, vibração induzida pelo fluxo do refrigerante primário ou desalinhamento longitudinal da vareta em relação a grade espaçadora.

Afim de reproduzir o fenômeno de fretting um dispositivo foi projetado para produzir desgaste, devido ao atrito por deslizamento, entre duas superfícies submetidas a um pequeno movimento cíclico. O dispositivo é formado por um conjunto de elementos mecânicos e produz movimento oscilatório, na direção do eixo x de coordenadas, utilizando um conversor de frequência. Permite regulagem fina de ajuste de posição vertical e horizontal da vareta de combustível nuclear, para alinhamento, nas direções dos eixos coordenados y e z. Sua amplitude de oscilação, produzida por excêntrico é constante e igual a 0,07mm. Experimentos de fadiga por fretting podem ser feitos diretamente em amostras de varetas utilizando a grade espaçadora do conjunto de elementos combustíveis nucleares. A Figura 1 é a representação esquemática do dispositivo de teste

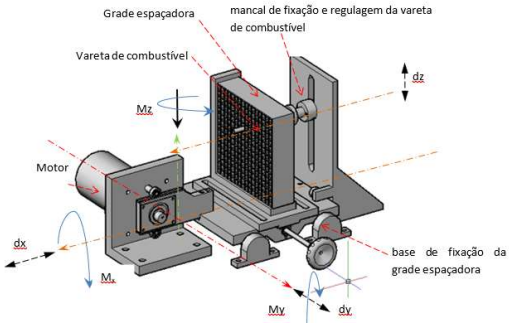


Figura 1. Representação Esquemática do Dispositivo de Teste de Fretting [7]

O objetivo desse trabalho é demonstrar o uso do dispositivo projetato para reproduzir o fenômeno de fretting que ocorre entre varetas de elementos combustíveis e grades espaçadores.

Materiais e Métodos

O material que utilizado no desenvolvimento do trabalho foram varetas de elementos combustíveis e grade espaçadora. Ambos fabricados da liga Zr-1Nb-1Sn-0,1Fe. Para esse estudo, foi mantido o alinhamento na posição vertical e horizontal da vareta de elemento combustível nuclear.

A grade espaçadora manteve processo de movimento oscilatório com uma frequência de 30 Hz e 10^6 ciclos. Os testes de desgaste foram realizados sem fluido refrigerante e em temperatura ambiente seca (umidade relativa de 50-60%). Após o ensaio de fretting, a vareta combustível foi limpa por ultrassom, em acetona, por 5 min e seca em ar comprimido para realização das análises de microscopia confocal e microscopia eletrônica de varredura.

Resultados e Discussão

O resultado obtido permitiu verificar a deformação do corpo de prova (vareta de lemento combustível) produzido devido ao desgaste por fretting entre as superfícies de contato vareta de elemento combustível/grade espaçadora, conforme demonstado na Figura 2.

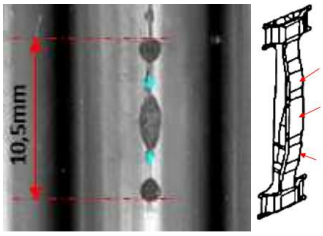


Figura 2. Imagem das marcas de fretting

Observase-se ocorrência de deformação plástica de formato elíptico localizadas na superfície de contato da vareta de combustível nuclear com a mola da grade espaçadora. Verifica-se uma perda de massa da ordem de 0,09%.

A análise da Microscopia Eletrônica de Varredura (Figura 3) demonstra que a região de desgate por fretting apresenta diferentes caracteristicas.

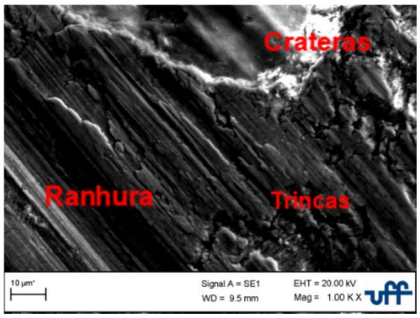
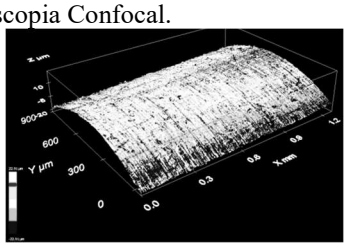


Figura 3. MEV da região de ocorrência de fretting

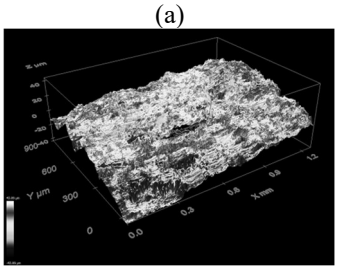
É possível verificar regiões onde o desgaste se caracteriza pela forma de ranhuras e regiões onde o desgaste se caracteriza pelo arrancamento de patículas. Essa natureza origina zonas com crateras e picos, o que por consequência aumenta a rugosidade do material.

Nas regiões de desgaste com características de ranhuras há a gerações de trincas e, com a continuidade do desgaste, ocorre o arrancamento de material, gerando as crateras.

A figura 4 (a) mostra a topografia original da amostra e a Figura 4 (b) mostra a natureza do desgaste da amostra após ensaio de fretting via microscopia Confocal.



(a)



(b)

Figura 4. Topografia superficial da região de contato da vareta de elemento combustível – (a) sem efeito de fretting e (b) sob efeito do fretting

O método permitiu identificar as transformações físicas da área superficial da amostra.

Conclusões ou Considerações finais

Pode-se afirmar que o dispositivo desenvolvido reproduziu o desgate ocassionado pelo fenômeno de fretting entre varetas combustíveis e a grade espaçadora, conforme relatado na liteeratura [8, 9].

Agradecimentos

À Indústrias Nucleares do Brasil - INB, CAPES, CNPq e FAPERJ.

[1] Attia, M. H. On the fretting wear machenism of Zr Alloys, Tribology International 39, p. 1320-1326, 2006.
[2] Leen S, Hyde T, Ratsimba C, Williams E, McColl I. An investigation of the fatigue and fretting performance of a representative aero-engine spline coupling. J Strain Anal Eng Des 2002;37:565–83.
[3] Zheng JF, Luo J, Mo JL, Peng JF, Jin XS, Zhu MH. Fretting wear behaviors of a railway axle steel. Tribol Int 2010;43:906–11.
[4] Lee YH, Kim HK. Fretting wear behavior of a nuclear fuel rod under a simulated primary coolant condition. Wear 2013;301:569–74.
[5] Hoeppner DW. Fretting fatigue case studies of engineering components. Tribol Int 2006;39:1271–6.
[6] Kim, K. T. The study on grid-to-rod fretting wear models
[7] Patente BR102019001885-2.
[8] Kim KT; Suh JM. Impact of Nuclear Fuel Assembly Design on Gridto-Rod Fretting Wear. J. Nuclear Science and Technology 2009; 46:2, 149-157.
[9] Kim KT. The study on grid-to-rod fretting wear models for PWR fuel. Nuclear Engineering and Design 2009. 239, 2820–2824.