

ESTUDO PARAMÉTRICO DA DEFORMAÇÃO DE PLACAS COMBUSTÍVEIS COM NÚCLEOS DE DISPERSÃO

E. Vieira, M. Durazzo

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN/CNEN-SP
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 – Cidade Universitária – São Paulo – SP
CEP: 05508-000 – evieira@ipen.br

RESUMO

O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN-CNEN/SP atualmente produz rotineiramente o combustível nuclear necessário para a operação de seu reator de pesquisas IEA-R1. Esse combustível é formado por placas combustíveis contendo núcleos de compósitos U_3Si_2-Al , obtidas por laminação. O processo de laminação atualmente implantado foi desenvolvido com base em informações obtidas na literatura, as quais foram usadas como premissas para a definição dos atuais procedimentos de fabricação, segundo uma metodologia de caráter essencialmente empírico. Apesar do processo de laminação atual estar perfeitamente estável e reprodutível, ele não está bem caracterizado e, portanto, não é totalmente conhecido. O objetivo deste trabalho é caracterizar o processo de laminação de placas combustíveis adotado pelo IPEN, especificamente no que se refere à evolução dos parâmetros dimensionais da placa combustível em função da sua deformação no processo de laminação, obtendo-se informações ao longo da deformação da placa combustível durante o processo de conformação mecânica.

Palavras-chave: combustível nuclear, dispersões, placas combustíveis, laminação

INTRODUÇÃO

Os reatores de pesquisa são basicamente empregados para a produção de radioisótopos e testes de materiais. O reator do IPEN/CNEN-SP, denominado IEA-R1, é utilizado para a produção de radioisótopos primários, dos quais se destaca o Iodo-131, sendo o reator responsável por atender 80 % da demanda nacional deste radioisótopo, e também de fontes radioativas seladas de aplicação industrial. Os elementos combustíveis do reator IEA-R1 são formados pela montagem de um conjunto de placas combustíveis espaçadas entre si, permitindo a passagem de um fluxo de água que serve como refrigerante e moderador. Eles são compostos de 18 placas combustíveis planas e paralelas. As placas combustíveis consistem de um

núcleo, contendo o material físsil, que é totalmente revestido com alumínio. Elas são fabricadas adotando-se a tradicional técnica de montagem núcleo, moldura e revestimentos e posterior laminação, técnica conhecida internacionalmente com o nome de “picture frame technique” ^(1,2). Técnicas de metalurgia do pó são utilizadas na fabricação dos núcleos das placas combustíveis, também denominados briquetes, os quais são compostos de cermets, compósitos cerâmico-metálicos, utilizando pó de U_3O_8 ou U_3Si_2 enriquecido a 20% no isótopo ^{235}U (material combustível nuclear), em conjunto com pó de alumínio (material estrutural da matriz do núcleo). As principais etapas de fabricação desse tipo de combustível são a fabricação de briquetes por compactação e a fabricação das placas combustíveis por laminação.

Desde 1988 o IPEN tem fabricado o combustível para o reator IEA-R1. O combustível fabricado atualmente adota a dispersão U_3Si_2-Al , com concentração de urânio de $3,0 \text{ gU/cm}^3$ ^(3,4). O processo de laminação atualmente implantado foi desenvolvido com base em informações obtidas na literatura ^(5,6,7), as quais foram usadas como premissas para a definição dos atuais procedimentos de fabricação, segundo uma metodologia de caráter essencialmente empírico. Por essa razão, apesar do processo de laminação atual estar perfeitamente estável e altamente reprodutivo, ele não está bem caracterizado e, portanto, não é totalmente conhecido.

A perfeita caracterização do processo de laminação das placas combustíveis é importante para que se possa rapidamente adequar o processo a novas especificações, no caso de combustíveis para uso em outros reatores de pesquisas, ou entender e corrigir possíveis desvios que possam eventualmente ocorrer no processo de fabricação. O objetivo deste trabalho é caracterizar o processo de laminação de placas combustíveis atualmente adotado pelo IPEN, especificamente no que se refere à evolução dos parâmetros dimensionais da placa combustível em função da sua deformação no processo de laminação.

MATERIAIS E MÉTODOS

No processo de laminação são realizados 9 passes de laminação a quente e três passes de laminação a frio. Sendo assim, foram produzidos 13 briquetes de dispersões U_3Si_2-Al , com densidade de urânio de $3,0 \text{ gU/cm}^3$, conforme as especificações vigentes. Este é o tipo de combustível fabricado na linha de produção do IPEN, para uso no reator IEA-R1. Todos os briquetes foram montados nos

conjuntos núcleo-moldura-revestimento conforme os procedimentos especificados para a produção de placas combustíveis. Uma placa foi retirada após cada passe de laminação, obtendo-se uma amostra em cada etapa da deformação do conjunto. Um briquete foi estudado após a compactação, ou seja, sem submeter-se ao processo de laminação. Esse briquete forneceu informações microestruturais do núcleo inicial, ou seja, distribuição granulométrica do material físsil e porosidade.

Como todos os briquetes atenderam à especificação vigente, sendo fabricados rigorosamente segundo procedimentos bem estabelecidos, as amostras obtidas após cada passe de laminação representam a situação de uma placa combustível naquela fase do processo de laminação. Nas amostras obtidas, foram analisados os aspectos mais relevantes dos núcleos U_3Si_2 -Al, a saber:

- 1 – comprimento do núcleo combustível;
- 2 – largura do núcleo combustível;
- 3 – espessura dos revestimentos na região do núcleo;
- 4 – espessura do núcleo combustível;
- 5 – espessamento do núcleo na sua extremidade, defeito conhecido como “osso de cachorro” ou “dogboning”;

Estes parâmetros foram determinados com auxílio de radiografias e instrumentos tradicionais de medição, como réguas e paquímetros, assim como técnicas tradicionais de metalografia e análise de imagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um núcleo combustível de dispersão é caracterizado por conter partículas físsis de um composto de urânio disperso o mais homogeneamente possível numa matriz inerte, ou não-físsil, de um metal, o qual tem a função de retirar o calor gerado na fissão, transferindo-o ao meio refrigerante do reator, e promover a rigidez mecânica da placa combustível. Numa dispersão ideal, as partículas físsis devem estar isoladas uma das outras, rodeadas pelo metal estrutural. Devido às características do processo de fabricação desse tipo de combustível, é impraticável a obtenção de uma dispersão ideal. No caso do combustível fabricado no IPEN, o material físsil utilizado é o siliceto de urânio, U_3Si_2 , e o material estrutural não-físsil é o alumínio. A Fig. 1 apresenta micrografias ópticas ilustrando a aparência típica de uma dispersão U_3Si_2 -Al fabricada no IPEN.

Durante a laminação, a placa combustível sofre alongamento, em maior grau, e

alargamento, pequeno, mas não desprezível. Como a largura e o comprimento do núcleo da placa combustível acabada devem atender às especificações vigentes, o conhecimento destes valores em função da redução em espessura é uma ferramenta importante, uma vez que são dados que podem subsidiar novos projetos de combustíveis ou alterações de projetos existentes. Os gráficos da Fig.2 apresentam os resultados obtidos.

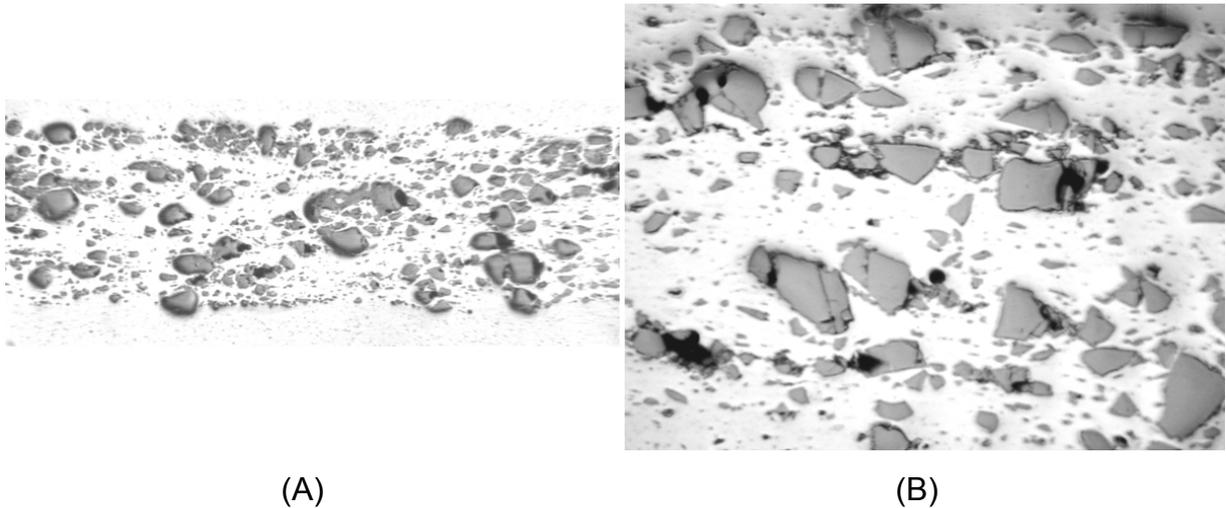


Figura 1 – Micrografias ópticas ilustrando a microestrutura do núcleo U_3Si_2-Al da placa combustível fabricada no IPEN. (A)- aumento 50 X (B)- aumento 100 X

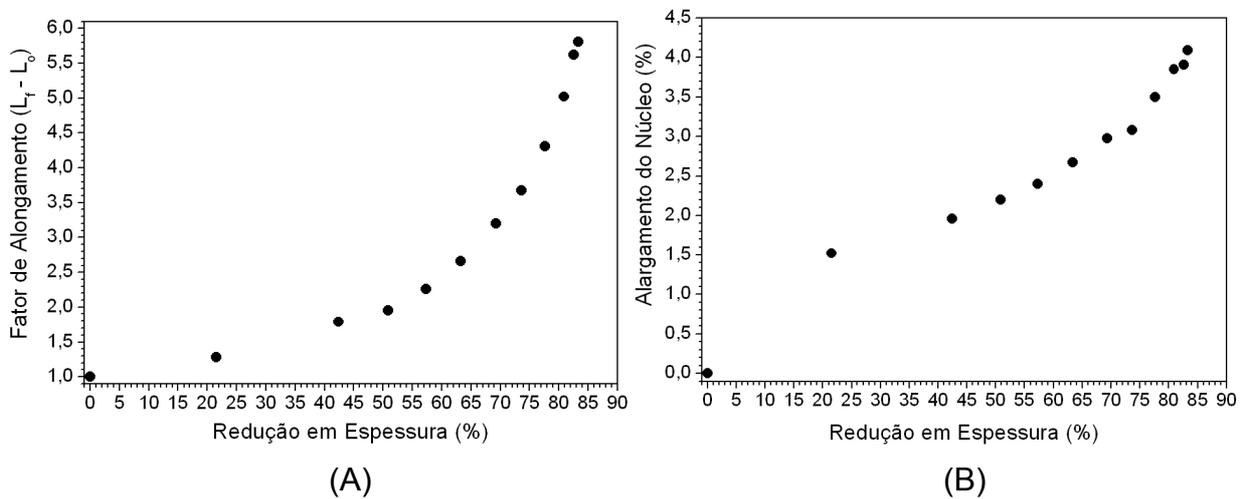


Figura 2 – Fator de alongamento (A) e alargamento percentual (B) do núcleo da placa combustível em função da deformação na laminação.

Um dos parâmetros mais importantes numa placa combustível é a espessura do revestimento, uma vez que é essa camada de alumínio que garante o isolamento do núcleo combustível do ambiente do reator. Caso haja uma falha neste

revestimento, o núcleo é exposto e ocorre a contaminação do ambiente com material radioativo de alta atividade. Por esse motivo, a espessura do revestimento na placa combustível acabada é uma das especificações mais importantes desse tipo de combustível. Dependendo da especificação de projeto para as espessuras dos revestimentos e do núcleo final da placa combustível, devem ser definidas com precisão as espessuras das placas de revestimento iniciais e a espessura do briquete, definindo-se as dimensões do conjunto inicial para a laminação. O projeto preciso dessas dimensões depende do conhecimento do comportamento da espessura de cada um dos componentes do conjunto núcleo-moldura-revestimentos em função da deformação na laminação. A Fig. 3A apresenta a relação entre as espessuras do núcleo e dos revestimentos da placa combustível em função da redução em espessura do conjunto durante a laminação. A fabricação adota 9 passes de laminação a quente e dois passes a frio.

Observa-se que a evolução da deformação não é a mesma para o núcleo e os revestimentos. A razão inicial $E_{rev}/E_{nucl}=0,6$ diminui com a evolução da deformação, demonstrando que os revestimentos deformam preferencialmente ao núcleo na laminação a quente, invertendo-se este comportamento na laminação a frio. Devido à maior resistência à deformação do núcleo, causada pela presença das partículas de U_3Si_2 , o alongamento nos revestimentos é maior, desviando-se da proporção entre as espessuras do núcleo e revestimentos no conjunto original, de 0,6, para 0,5, na placa combustível acabada. A Fig. 3B ilustra um típico defeito terminal, conhecido como “rabo de peixe” ou, em inglês, “fish-tail”, causado pela diferença de resistência mecânica entre o núcleo e os revestimentos.

Outro defeito terminal típico é o defeito conhecido como “osso de cachorro” ou “dogboning”, que é o espessamento do núcleo nas suas extremidades na direção longitudinal durante a laminação. Esse fenômeno é comum nos processos de laminação simultânea de componentes que apresentam diferentes propriedades mecânicas. No caso das placas combustíveis, o núcleo é mais resistente à deformação do que os outros componentes de alumínio do conjunto (moldura e revestimentos). Devido a isso, o processo de laminação produz extremidades do núcleo mais espessas do que a sua parte central. Uma seção longitudinal transversal do núcleo com suas extremidades mais espessas lembram um osso de cachorro, de onde se originou o nome do defeito.

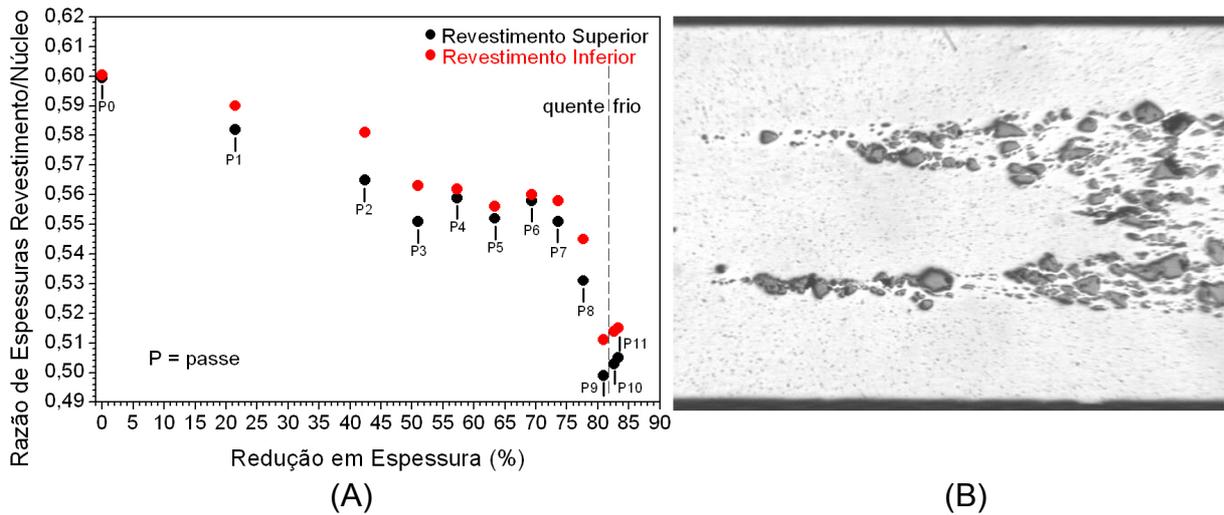


Figura 3 – (A)- evolução da espessura do núcleo e do revestimento em função da deformação na laminação, (B)- defeito típico “rabo de peixe”.

Esse tipo de defeito é preocupante por duas razões. A primeira diz respeito à diminuição da espessura do revestimento nas extremidades da placa combustível, sobre as extremidades do núcleo onde o defeito ocorreu. A segunda relaciona-se à maior quantidade de material físsil nas regiões de defeito, uma vez que nestas regiões é maior a espessura do núcleo e, conseqüentemente, é maior a quantidade de urânio por unidade de área. A segunda razão conduz a um excesso de reatividade nas regiões de defeito, conduzindo a um maior fluxo de calor e, por conseguinte, a uma maior temperatura.

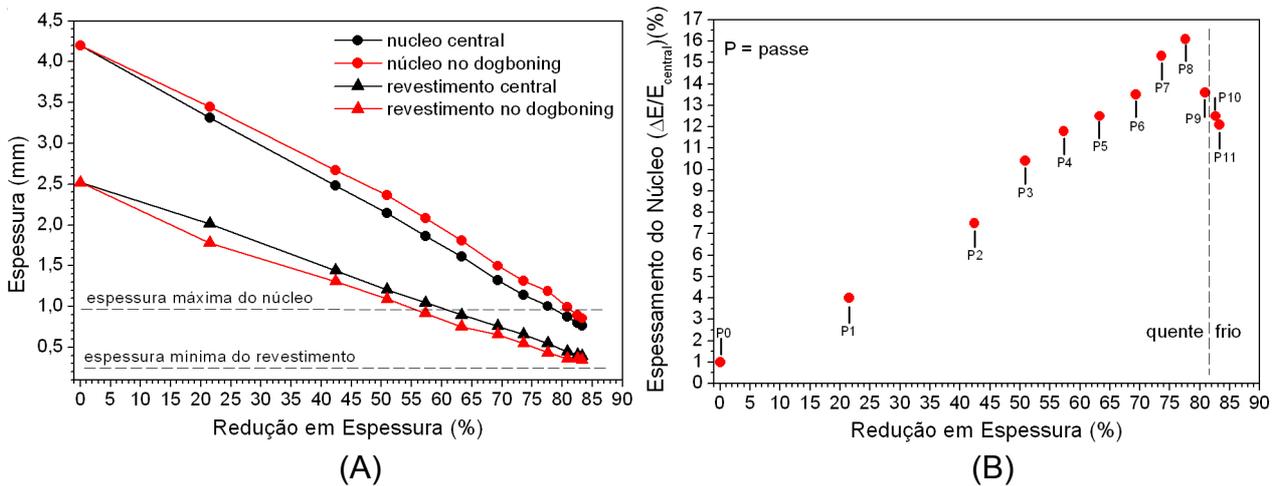


Figura 4 – (A)- evolução da espessura do núcleo e do revestimento no dog-boning e (B)- evolução do fator de espessamento, em função da deformação na laminação.

Portanto, o espessamento, definido como a diferença entre a espessura média do núcleo na zona central da placa combustível e a sua espessura máxima na zona

de defeitos terminais (em termos porcentuais), deve ser conhecido e utilizado no projeto do combustível para compensar a diminuição da espessura dos revestimentos devido a esse defeito inevitável. A Fig. 4 apresenta a evolução do fator de espessamento em função da deformação na laminação.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi caracterizada a evolução dos parâmetros dimensionais da placa combustível em função da sua deformação no processo de laminação. Além do conhecimento mais profundo do processo de fabricação de placas combustíveis, esses resultados fornecem subsídios para o projeto de novas geometrias de placas combustíveis, preparando o IPEN para desenvolver o combustível para o novo reator de pesquisas produtor de radioisótopos planejado para ser construído no Brasil, o Reator Multipropósito Brasileiro – RMB. Como continuidade deste trabalho, outros aspectos importantes da placa combustível serão estudados em função da deformação na laminação, tais como porosidade do núcleo, tamanho das partículas de U_3Si_2 e caldeamento entre o núcleo e o revestimento.

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam manifestar seu agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio na melhoria da infraestrutura do Centro do Combustível Nuclear do IPEN, por intermédio do Projeto FAPESP 2007/07769-7, sem a qual este trabalho não poderia ter sido realizado.

REFERÊNCIAS

1. CUNNINGHAM, J. E.; BOYLE, E. J. MTR-Type fuel elements. In: UNITED NATIONS. Peaceful uses of atomic energy: proceedings of the International Conference on..., Geneva, 8-20 Aug. 1955. V. 9: Reactor technology and chemical processing. New York, N.Y., 1956. p. 203-7.
2. KAUFMAN, A. R. ***Nuclear reactor fuel elements, metallurgy and fabrication.*** New York, N.Y: Interscience, 1962.
3. DURAZZO, M.; URANO DE CARVALHO, E. F.; SALIBA-SILVA, A. M.; SOUZA, J. A. B.; RIELLA, H. G. Current status of U_3Si_2 fuel elements fabrication in Brazil. In: INTERNATIONAL MEETING ON REDUCED ENRICHMENT FOR RESEARCH AND TEST REACTORS – RERTR2007, Prague, 2007. ***Anais ...*** Washington: U.S.

Department of Energy, 2007. Disponível em: http://www.rertr.anl.gov/RERTR29/Abstracts/S11-8_Durazzo.html.

4. DURAZZO, M.; URANO DE CARVALHO, E. F.; SALIBA-SILVA, A. M.; SOUZA, J. A. B.; RIELLA, H. G. Fabricação de elementos combustíveis a base de U_3Si_2 no Brasil. Rev. Bras.Pesq.Des., São Paulo, Brasil, v.9, n. 1, p. 18-26, 2007.

5 - KUCERA, W. J.; LEITTEN, C. F.; BEAVER, R. J. Specifications and procedures used in manufacturing U_3O_8 -aluminum dispersion fuel elements for core I of the Puerto Rico Research Reactor. Oak Ridge, Tn., Oak Ridge National Lab., 1963. (ORNL-3458)

6 - KNIGHT, R. W.; BINNS, J.; ADAMSON Jr, G. M. Fabrication procedures for manufacturing High Flux Isotope Reactor fuel elements. Oak Ridge, Tn., Oak Ridge National Lab., 1968. (ORNL-4242)

7 - BEAVER, R. J.; ADAMSON Jr, G. M.; PATRIARCA, P. Procedures for fabricating aluminum-base ATR fuel elements. Oak Ridge, Tn., Oak Ridge National Lab., 1964. (ORNL-3632)

PARAMETRIC STUDY OF THE DEFORMATION OF DISPERSION FUEL PLATES

The Nuclear and Energy Research Institute - IPEN-CNEN/SP produces routinely the nuclear fuel necessary for operating its research reactor, IEA-R1. This fuel consists of fuel plates containing U_3Si_2 -Al composites as the meat, which are fabricated by rolling. The rolling process currently deployed was developed with base on information obtained from literature, which were used as premises for defining the current manufacturing procedures, according to a methodology with essentially empirical character. Despite the current rolling process to be perfectly stable and highly reproducible, it is not well characterized and therefore is not fully known. The objective of this work is to characterize the rolling process for producing fuel plates, presenting results of the evolution of all parameters of technological interest, after each rolling pass, obtaining information along the fuel plate deformation during the rolling process.

Key-words: nuclear fuel, dispersions, fuel plates, rolling, fabrication