



**CARACTERÍSTICAS DE PLACAS DELGADAS PARA ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS CONTENDO DISPERSÕES DE  $U_3O_8$ -Al**

*THARCÍSIO D. DE SOUZA SANTOS, HELITON M. HAYDT, CLAUER TRENCH DE FREITAS, ERBERTO FRANCISCO GENTILE  
SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA*

**PUBLICAÇÃO IEA N.º 134**  
Dezembro — 1966



**INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA**  
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)  
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"  
SÃO PAULO — BRASIL

CARACTERÍSTICAS DE PLACAS DELGADAS PARA ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

CONTENDO DISPERSÕES DE  $U_3O_8$ -Al

Tharcísio D. de Souza Santos  
Heliton M. Haydt  
Clauer Trench de Freitas  
Erberto Francisco Gentile  
Sebastião Hermano Leite Cintra

Divisão de Metalurgia Nuclear  
Instituto de Energia Atômica  
São Paulo - Brasil

Publicação IEA nº 134

Dezembro - 1966

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof. Uriel da Costa Ribeiro

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof. Dr. Luis Antonio da Gama e Silva

Instituto de Energia Atômica

Diretor: Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Conselho Técnico-Científico do IEA

Prof. Dr. José Moura Gonçalves	}	pela USP
Prof. Dr. José Augusto Martins		
Prof. Dr. Rui Ribeiro Franco	}	pela CNEN
Prof. Dr. Theodoro M. I. de Arruda Souto		

Divisões Didático-Científicas

Divisão de Física Nuclear -  
Chefe: Prof. Dr. Marcello D. S. Santos

Divisão de Radioquímica -  
Chefe: Prof. Dr. Fausto Walter de Lima

Divisão de Radiobiologia -  
Chefe: Prof. Dr. Rômulo Ribeiro Pieroni

Divisão de Metalurgia Nuclear -  
Chefe: Prof. Dr. Tharcísio D. S. Santos

Divisão de Engenharia Química -  
Chefe: Lic. Alcídio Abrão

Divisão de Engenharia Nuclear -  
Chefe: Engº Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -  
Chefe: Engº Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -  
Chefe: Prof. Dr. Paulo Saraiva de Toledo

Divisão de Ensino e Formação -

# CARACTERÍSTICAS DE PLACAS DELGADAS PARA ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

## CONTENDO DISPERSÕES DE $U_{38}O_{10}$ -Al

Tharcísio D. de Souza Santos

Heliton M. Haydt

Clauer Trench de Freitas

Erberto Francisco Gentile

Sebastião Hermano Leite Cintra

### RESUMEN

En prosecución de sus trabajos referentes a la fabricación de elementos combustibles dotados de núcleo de cermet revestido totalmente de una aleación de Al, los autores presentan los resultados de exámenes y ensayos realizados con elementos constituidos por placas delgadas de espesor total de 1,25 a 1,31 mm, con núcleo constituido por una dispersión de 41,3% de  $U_{38}O_{10}$  y 58,7% de Al. Describen los ensayos de ampolladura y refieren los resultados metallográficos y radiográficos de muestras tomadas de esos elementos. Los resultados presentados atestiguan la homogeneidad de la composición del núcleo y su perfecta conducta plástica durante la laminación; verifican la conservación de las relaciones geométricas del cermet aún cuando se alcancen las dimensiones finales de las placas y también la perfecta unión entre el cermet y su revestimiento .

### SOMMAIRE

Par suite des travaux concernant la fabrication des éléments combustibles dont le noyau est constitué par "cermet" revêtu avec alliage d'aluminium, les auteurs présentent les résultats des examens et des essais sur des plaques minces de 1,25 à 1,31 mm d'épaisseur totale et avec le noyau formé par dispersion de 41,3%  $U_{38}O_{10}$  et 58,7% Al.

Les auteurs décrivent les essais de soufflure et les résultats de radiographies et d'examens métallographiques des échantillons de ces éléments. Les résultats de ces essais et les examens ont montré la régularité de la composition du noyau et son parfait comportement plastique pendant la lamination; la géométrie parfaitement définie du "cermet" dans les dimensions finales de la plaque mince et, la parfaite liaison entre le "cermet" et le revêtement sont aussi évidencées par ces essais.

ABSTRACT

The authors present the results of their research related to the fabrication of thin fuel plates having as core a cermet and being completely clad with aluminum alloy. The total thickness is of only 1.25 to 1.31 mm, with a core of a dispersion of 41.3%  $U_{38}O_8$  and 58.7% Al. They describe the blister tests and the results of X-ray and metallographic examinations of samples taken from these elements. The results of these tests and examinations show the homogeneity of the core composition and its perfect plastic behavior during rolling operations; they present also the perfectly defined geometry of the cermet in the final dimensions of the thin plates, as well as showing the perfect bonding between the cermet and its cladding.

# CARACTERÍSTICAS DE PLACAS DELGADAS PARA ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS CONTENDO DISPERSÕES DE $U_3O_8$ -Al <sup>(1)</sup>

THARCÍSIO D. DE SOUZA SANTOS <sup>(2)</sup>  
HELITON M. HAYDT <sup>(3)</sup>  
CLAUER TRENCH DE FREITAS <sup>(4)</sup>  
ERBERTO FRANCISCO GENTILE <sup>(5)</sup>  
SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA <sup>(5)</sup>

## RESUMO

*Em prosseguimento aos trabalhos referentes à fabricação de elementos combustíveis dotados de núcleo constituído por "cermet" totalmente revestido por liga de alumínio, apresentam os autores os resultados de exames e de ensaios sobre placas delgadas, tendo apenas 1,25 a 1,31 mm de espessura total e com núcleo constituído por dispersão de 41,3%  $U_3O_8$  e 58,7% Al. Descrevem os ensaios de empolamento e os resultados de radiografia e de exames metalográficos de amostras extraídas desses elementos. Os resultados desses ensaios e os exames comprovam a regularidade da composição do núcleo e seu perfeito comportamento plástico durante o processamento por laminação; evidenciam também a geometria perfeitamente definida do "cermet" nas dimensões finais da placa delgada, mostrando também a perfeita ligação entre o "cermet" e o revestimento.*

## 1. INTRODUÇÃO

A fabricação de elementos combustíveis na forma de placas delgadas e encerrando núcleo constituído por dispersão de  $U_3O_8$  com alumínio tem constituído um dos objetivos de pesquisa sistemática na Divisão de Metalurgia Nuclear, em virtude do grande interesse que tais elementos combustíveis representam para numerosos tipos de reatores de pesquisa e de ensaios.

Em um primeiro trabalho <sup>1</sup> foram apresentados os resultados iniciais dos estudos para a produção de placas totalmente revestidas de cerca de 2,40 mm de espessura, os quais foram posteriormente utilizados no desenvolvimento do programa de fabricação dos elementos combustíveis para o reator Argonauta, do Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro, GB <sup>2</sup>. À III Conferência Mundial sobre as Aplicações Pacíficas da Energia Atômica, realizada em Genebra, em 1964, apresentaram também os autores <sup>3</sup> um trabalho sobre os resultados obtidos na produção de placas muito delgadas, de até 0,7 mm de espessura.

O interesse que tem sido despertado pela produção dessas placas muito delgadas, justifica a apresentação da presente contribuição, na qual os autores descrevem com maiores detalhes as características estruturais de placas de cerca de 1,30 mm de espessura e encerrando "cermet" de 41,3%  $U_3O_8$  e 58,7% Al, o revestimento sendo constituído por liga 1100 de alumínio.

## 2. GENERALIDADES SOBRE A FABRICAÇÃO DE PLACAS DELGADAS

As placas delgadas são produzidas essencialmente por dois processos distintos, a saber: 1) co-laminação de conjunto de moldura, encerrando o "cermet", primeiramente em operação a quente para assegurar o caldeamento por difusão das superfícies em contato; e 2) co-lingotagem, seguida de laminação a quente e laminação subsequente a frio, encerrando o lingote o "cermet", o qual é posicionado por dispositivos especiais.

As placas delgadas, objeto do presente estudo, têm sido produzidas exclusivamente pelo primeiro processo, de vez que as especificações obrigam espessura relativamente reduzida do revestimento.

Os "cermets" são preparados por compactação sob prensa hidráulica de 80 t de esforço máximo em matrizes apropriadas, a partir de cargas condicionadas cuidadosamente e constituídas de mistura de 41,3% de  $U_3O_8$  e de 58,7% de Al. O  $U_3O_8$  é pó classificado na peneira de 325 malhas por polegada e é obtido por calcinação a 850-875°C durante 3 horas, de diuranato de amônio que encerra determinados teores de sulfato, provavelmente na forma de sulfato de urânio. O pó de alumínio tem grãos de diâmetro máximo de 100 malhas por polegada e foi importado da França. Os "cermets" assim obtidos são, em

- (1) Contribuição Técnica nº 653. Apresentada ao XXI Congresso Anual da ABM; julho 1966; Volta Redonda (RJ).
- (2) Membro da ABM; Chefe da Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, Professor Catedrático de Metalurgia dos Metais Não-Ferrosos e Diretor, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP).
- (3) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista e Engenheiro Nuclear; Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo (SP).
- (4) Membro da ABM; Engenheiro Civil e Engenheiro Nuclear, Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo (SP).
- (5) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista e Engenheiro Nuclear; Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica, São Paulo (SP).

seguida, sinterizados em atmosfera de argônio a 600°C durante 1 hora, e, em seguida, inseridos envoltos em papel de alumínio, na moldura obtida em liga 1100 de alumínio. A laminação a quente é realizada sob cuidadoso controle de temperaturas (590-600°C) e de reduções no laminador Stannat-Mann. Depois de cortados os excessos no comprimento e na largura da placa, são realizadas as operações subseqüentes de laminação a frio com os recozimentos intercalados necessários, até que se atinja a espessura desejada. Outros detalhes do processo adotado constam do trabalho citado<sup>3</sup>, motivo pelo qual não foram aqui repetidos.

### 3. CARACTERÍSTICAS DAS PLACAS DELGADAS COM "CERMETS" $U_3O_8$ -Al

Os estudos relatados a seguir se referem a placas delgadas produzidas nas seguintes dimensões: 620 a 640 mm de comprimento, 80 a 90 mm de largura e 1,25 a 1,31 mm de espessura; a massa total do "cermet" variou entre 63,0 e 64,0 g, com as seguintes dimensões do núcleo: comprimento 575 a 605 mm, largura 66 a 67 mm e espessura de 0,46 a 0,48 mm.

1. *Ensaio de empolamento* — Nos casos em que existam soluções de continuidade no "cermet" ou inadequada ligação na interface com o revestimento, elevações de temperatura que ocorram no reator podem causar a formação de empolamentos ("blisters"), os quais podem provocar ruptura do revestimento, inclusive por esse empolamento agravar a elevação de temperatura localizada, ao se tornar dificultada a dissipação de calor para o exterior do elemento combustível.

Os ensaios de empolamento são realizados sujeitando-se as placas durante 60 minutos a temperatura de 450°C em forno elétrico de mufla, e observando cuidadosamente ambas as faces da placa, não devendo o exame visual atento revelar zonas levantadas por bôlhas ou empolamentos.

Os resultados dos estudos continuados sobre os ensaios de empolamento revelaram que êsses defeitos não existem sempre que a montagem dos "cermets" foi feita segundo as precauções adotadas e quando a temperatura de laminação é mantida de forma rigorosa, bem como a duração do aquecimento.

Não obstante, existem empolamentos que podem ocorrer nos "cermets" por defeitos de condicionamento da carga e que assim independem das condições de montagem e de laminação a quente. Êsses defeitos são facilmente evidenciados por exames metalográficos, conforme mostrarão os autores mais adiante.

2. *Radiografias das placas delgadas* — As placas são radiografadas geralmente duas vezes

durante a fabricação: a primeira, após a laminação a quente e a realização do ensaio de empolamento, e a segunda, após a laminação a frio. As radiografias visam definir: 1) a geometria precisa do "cermet" deformado, e em particular, a posição, a forma e eventuais irregularidades da zona terminal; 2) a eventual presença de fissuras ou trincas que possam ter resultado de falta de plasticidade do núcleo no processo de deformação; e 3) a maior ou menor homogeneidade da dispersão, facilmente discernível por gradientes de enegrecimento em zonas limitadas.

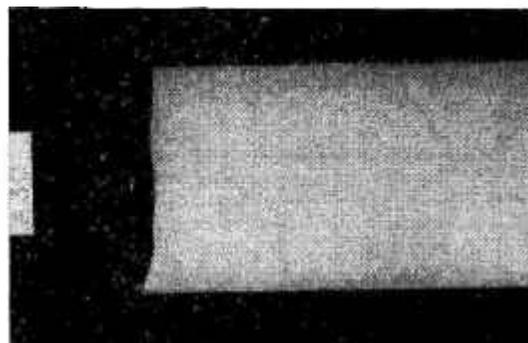


Fig. 1 — Radiografia da extremidade da placa nº 30 (reduzida aproximadamente à metade no clichê).

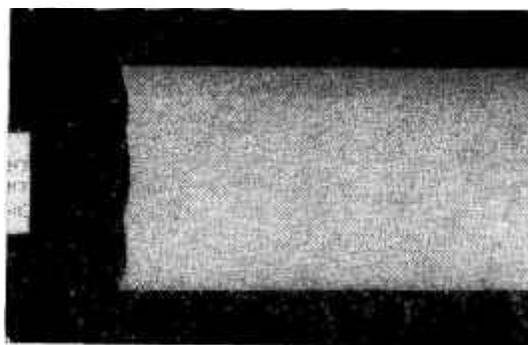


Fig. 2 — Radiografia da extremidade da placa nº 33 (reduzida aproximadamente à metade no clichê).

Para os dois primeiros objetivos, a radiografia, seja por raios X, seja por raios gama, é imprescindível e constitui um elemento essencial no controle de fabricação e para o correto ajustamento das variáveis das quais dependem os resultados. Para o último objetivo, a radiografia constitui também um elemento de grande valor, muito embora possam suas indicações ser completadas por cintilometria de raios gama. Em algumas especificações estrangeiras referentes a recebimento de elementos combustíveis na forma de placas, dá-se grande importância à constância do enegrecimento das zonas deformadas do núcleo.

As figuras 1 e 2 reproduzem radiografias de placas delgadas com as características antes

indicadas, obtidas com filme Dupont "Cronex II — Medical X Ray" sob 65 kV, corrente de 13,5 mA e 8 seg de exposição. Evidenciam a absoluta regularidade dos bordos laterais e a inexistência de soluções de continuidade no interior. Os gradientes de enegrecimento correspondem a zonas muito delgadas e dispostas paralelamente à direção de laminação. Nas extremidades relevam-se maiores heterogeneidades, muito embora não seja superior a 4 mm a largura da faixa na qual se passa do "cermet" para o revestimento, valor êsse geralmente considerado como perfeitamente satisfatório.

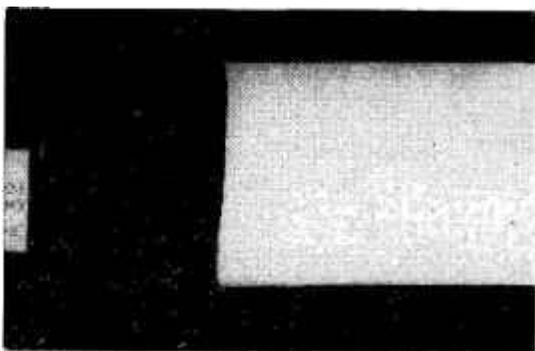


Fig. 3 — Radiografia de uma extremidade da placa nº 32 (reduzida aproximadamente à metade no clichê).

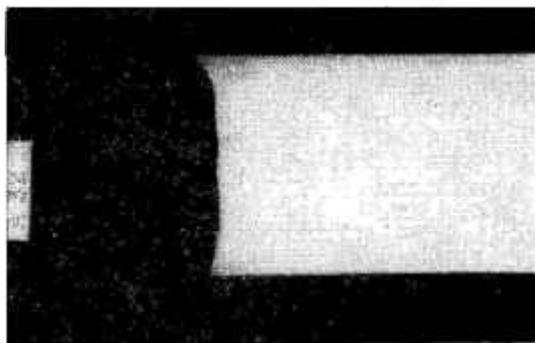


Fig. 4 — Radiografia da outra extremidade da placa nº 32 (reduzida aproximadamente à metade no clichê).

As figuras 3 e 4 se referem às duas extremidades de uma mesma placa delgada, evidenciando a grande uniformidade da distribuição do "cermet", e a inexistência de defeitos discerníveis pela radiografia. Mostram ainda zonas terminais bastante regulares.

Em alguns casos os autores têm empregado auto-radiografias. Embora seu emprêgo possa auxiliar bastante a orientação dos detalhes, a experiência obtida não recomenda seu emprêgo em substituição às radiografias por raios X.

3. *Exames por espectrometria gama para determinação da concentração do "cermet" de-*

*formado* — Graças à colaboração da Divisão de Física Nuclear, têm sido feitos ensaios de determinação de flutuações de composição do "cermet" deformado por meio de espectrometria gama, tendo sido publicadas no trabalho citado<sup>2</sup> algumas reproduções dos registros obtidos e que evidenciaram a uniformidade dos núcleos com urânio enriquecido nas placas de elementos combustíveis para o retor Argonauta.

Em um trabalho que está sendo apresentado à XVIII Reunião Anual da S.B.P.C.<sup>4</sup>, são apresentados os resultados de medidas de intensidade ao longo de linhas percorridas num sistema de varredura ("scanner") por um sistema fonte-detector solidários e que tem sensibilidade suficiente para distinguir variações de 1% na concentração, em áreas de 1 mm<sup>2</sup>. Mostram tais resultados que as placas delgadas que vêm sendo produzidas pelos autores não indicam flutuações maiores do que o limite citado, a não ser, e como se disse, nas regiões terminais, o que é permitido pelas especificações.

4. *Exames metalográficos* — Os exames metalográficos foram executados sobre amostras cortadas de chapas delgadas, previamente radiografadas, montadas em baquelita. Tomaram-se precauções especiais para evitar que o material de revestimento pudesse fluir, por defeito de montagem, sobre o "cermet", o que falsearia os resultados dos exames. Verificou-se perfeita concordância entre as espessuras medidas pelo exame metalográfico e as calculadas com base nos resultados de determinação da geometria do núcleo adensado pelo trabalho de laminação. O polimento foi feito por pó de diamante, até 1 micron, geralmente intercalado com leve ataque por HF diluído.

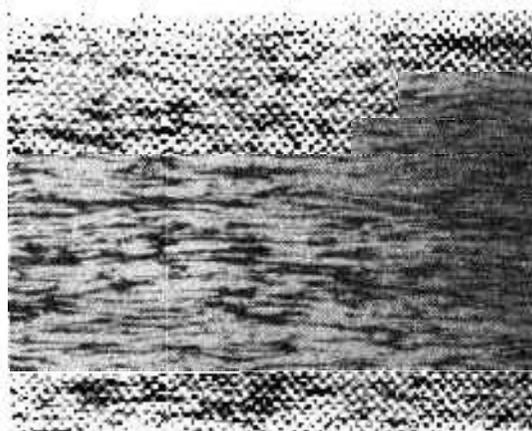


Fig. 5 — Micrografia de corte transversal à direção de laminação, sem ataque, mostrando a ligação entre o "cermet" e o revestimento, sob 200 aumentos (reduzida à metade no clichê).

A figura 5 é micrografia sem ataque de corte transversal à direção de laminação, mostrando a ligação entre o "cermet" e o revesti-

mento, com 200 aumentos. A regularidade na interface com o revestimento é nítida nessa micrografia.

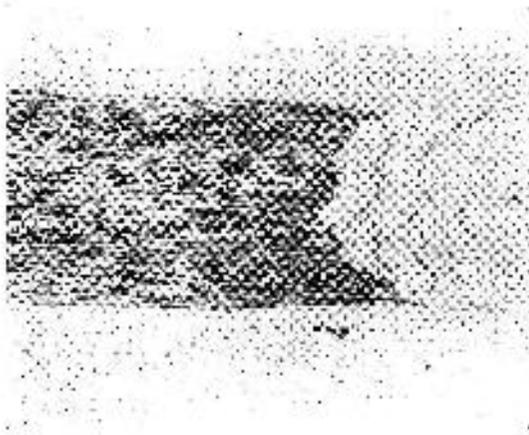


Fig. 6 — Micrografia de corte transversal à direção de laminação no bordo, mostrando haver fluído parcialmente o material do "cermet"; observar o duplo envelope de fôlha delgada de alumínio. 100x (reduzida à metade no clichê).

A figura 6 mostra igualmente secção transversal de placa delgada sob 100 aumentos e sem ataque, mostrando haver fluído ligeiramente para a região das tampas da moldura original o material do núcleo, a largura dessa zona não sendo contudo superior a 0,2 mm. Evidencia ainda nitidamente a micrografia o duplo envelope de fôlha delgada de alumínio que envolvia o núcleo, perfeitamente calçado sobre o material de revestimento lateral.

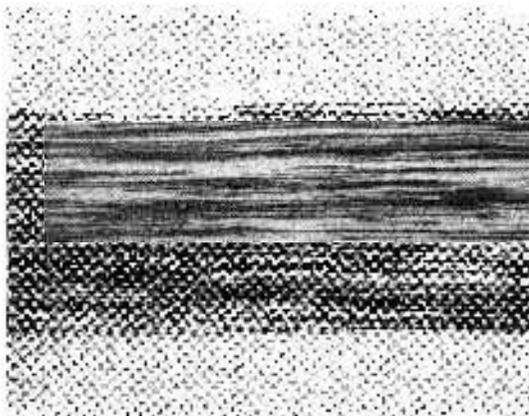


Fig. 7 — Micrografia de secção longitudinal, paralela à direção de laminação, evidenciando a regularidade da dispersão. 100x (reduzida à metade no clichê).

A figura 7 refere-se à secção longitudinal de placa em região muito próxima de uma das extremidades, evidenciando a regularidade da deformação; nota-se nitidamente maior deformação do "cermet" junto ao material de revestimento, indicada por serem mais delgadas as linhas claras (alumínio) e as escuras ( $U_3O_8$ ). Mostra a

figura 8, sob muito maior aumento, uma região próxima dessa mesma chapa.

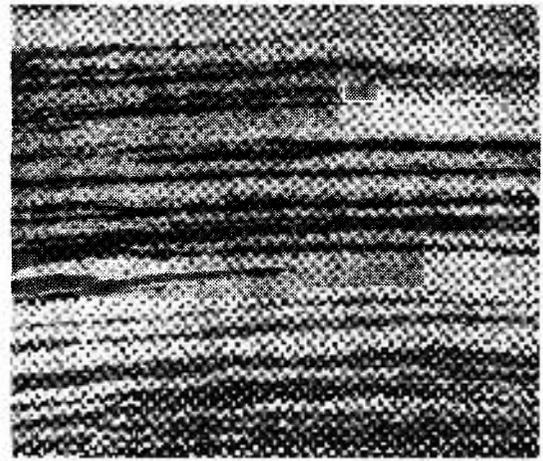


Fig. 8 — Mesma amostra da micrografia anterior, sob 500 aumentos (reduzida à metade no clichê).

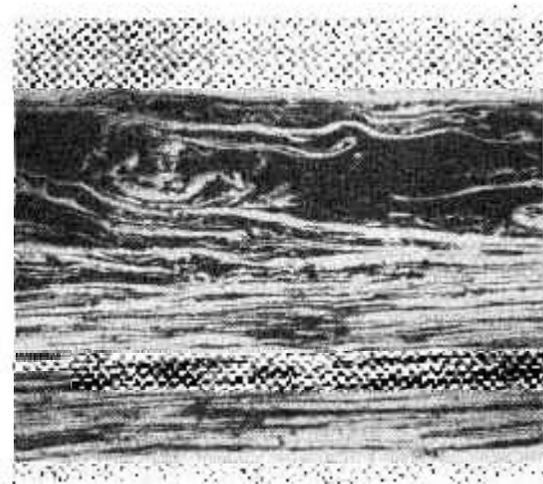


Fig. 9 — Micrografia de secção longitudinal em região que continha empoladura próxima à superfície. 200x (reduzida à metade no clichê).

A figura 9 corresponde a uma amostra retirada de zona muito próxima da que continha uma empoladura na superfície, após o ensaio realizado nas condições descritas. Em secção longitudinal observa-se perfeitamente a região de empoladura interna, provavelmente bôlha maior, provocada por heterogeneidade de mistura ou por deficiente condicionamento. Essa irregularidade traduziu-se em gradientes de escorregamento do material no decurso da laminação, responsável pelo pronunciado encurvamento das linhas de separação entre as fases presentes.

A figura 10 revela outro caso de empolamento do "cermet" deformado provocado provavelmente por deficiência de condicionamento e com zonas rompidas internas. Observa-se aqui que nesse caso a ligação entre o revestimento

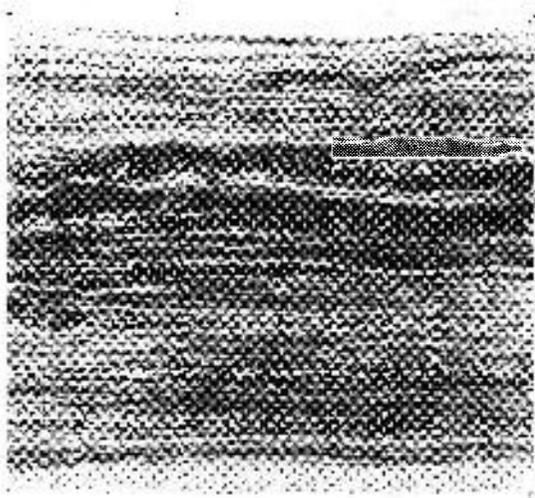


Fig. 10 — Micrografia evidenciando empoladura do "cermet" provavelmente causada por deficiência no condicionamento. 200X (reduzida à metade no clichê).

e o núcleo é mais irregular, existindo encurvamento localizado das superfícies em contato.

Os autores registram com prazer a colaboração recebida do Prof. Marcello Damy de Souza Santos, Chefe da Divisão de Física Nuclear e do Lic. Fernando G. Bianchini, no desenvolvimento do processo espectrométrico citado e do Lic. Dirceu Martins Vizeu, do Serviço de Proteção Radiológica, pela execução das radiografias.

#### 4. CONCLUSÕES

1. Em prosseguimento aos trabalhos anteriores, apresentaram os autores os resultados de ensaios e exames procedidos sobre placas delgadas revestidas por alumínio 1100 e encerrando núcleo constituído por "cermet"  $U_2O_3-Al$ . Tais elementos combustíveis têm despertado interesse pela reduzida espessura total com que têm sido produzidos (até 0,7 mm)<sup>2</sup> e pela circunstância de permitirem conteúdo de U muito maior do que o possível nos casos em que se utilize liga Al-U.

2. As condições de preparo da carga, e em particular do condicionamento e da sinterização do "cermet", permitem produção de placas delgadas que resistem muito bem ao ensaio de empolamento, realizado em forno elétrico durante 60 minutos a 450°C.

3. As radiografias obtidas evidenciam a regularidade da geometria do núcleo deformado final (mesmo com espessuras da ordem de 0,46 a 0,48 mm), a inexistência de soluções de continuidade, bem como trincas ou fissuras, e ainda a homogeneidade da composição do núcleo, pelo

enegrecimento quase uniforme da região referente ao núcleo.

4. Os estudos sobre o método de espectrometria gama desenvolvido pela Divisão de Física Nuclear do IEA<sup>1</sup>, estão sendo prosseguidos e os resultados preliminares de exames de chapas delgadas evidenciam gradientes de composição inferiores a 1% de desvio da média em regiões de 1 mm<sup>2</sup> de área.

5. Os exames metalográficos, procedidos como meio de controle de determinadas chapas, evidenciam as causas de defeitos ocasionais que têm sido constatados quando é deficiente o condicionamento ou quando as condições da carga se afastam dos limites em que deve ser mantida. Em geral a ligação "cermet"-revestimento é perfeita, não existindo solução de continuidade ou zona em que se possa distinguir maior concentração de óxido.

#### BIBLIOGRAFIA

1. SOUZA SANTOS, T. D., HAYDT, H. M. e FREITAS, C. T. — *Development Studies for Argonaut Fuel Plates Fabrication*. Transactions, Study Group Meeting on the Utilization of Research Reactors — São Paulo, 1963, vol. 1, p. 279-297, AIEA, Viena, 1965.
2. SOUZA SANTOS, T. D., HAYDT, H. M. e FREITAS, C. T. — *Principais características metalúrgicas dos elementos combustíveis produzidos para o reator "Argonauta" do Instituto de Engenharia Nuclear*. Metalurgia, vol. 21, nº 97, p. 909-921, 1965.
3. SOUZA SANTOS, T. D., HAYDT, H. M. e FREITAS, C. T. — *Experimental studies on the fabrication of thin fuel plates with  $U_2O_3-Al$  cermets*. Proceedings, Third International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, vol. 10, p. 33-37, ONU, New York, 1965.
4. BIANCHINI, F. G. — *Uso de espectrometria gama para determinação da concentração de constituintes de ligas ou misturas em elementos combustíveis para reatores*. (Trabalho a ser apresentado à XVIII Reunião Anual da SBPC, 1966).

#### DISCUSSÃO

PAULO GOMES DE PAULA LEITE (1) — Mencionou o Eng.<sup>o</sup> Cintra que o ensaio de empolamento é realizado a 450°C durante 60 minutos. Pergunto: êsse ensaio é especificado em alguma norma estrangeira?

SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA (2) — As indicações que existem na literatura se referem a temperaturas variáveis para cada caso. A fixação da temperatura, bem como do tempo de duração do ensaio, é feita em cada caso, não me parecendo existir uma especificação geral sobre o assunto.

P. PAULA LEITE — A observação do eventual empolamento é feita visualmente?

S. H. L. CINTRA — Sim.

(1) Membro da ABM; Professor. Do Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (GB).

(2) Membro da ABM; Engenheiro da Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica, São Paulo (SP).

P. PAULA LEITE — Foram feitos exames por ultrassons?

S. H. L. CINTRA — Ainda não, e pela circunstância de que ainda não dispomos de meios de ensaios por ultrassons de placas delgadas como a descrita. Desejo, entretanto, chamar a atenção para o fato de que o ensaio de empolamento permitirá, provavelmente tão bem como o ultrassom, determinar eventual falta de ligação entre o "cermet" e o material de revestimento.

HELITON MOTTA HAYDT (3) — O ultrassom constituiria o recurso melhor para ensaiar o elemento combustível se ele contivesse, em lugar de "cermet", uma liga de alumínio-urânio. No caso, nós temos um "cermet" de  $U_2O_5$  em dispersão em alumínio. Qualquer eventual falta de ligação entre o "cermet" e o revestimento será indicada pelo aparecimento de uma empoladura. Não me parece assim que esse ensaio possa ser substituído pelo de exame por ultrassons.

P. PAULA LEITE — Não estou dizendo que seja substituído, mas que esse ensaio corresponde mais a uma "prova de carga" do que propriamente a uma inspeção.

JORGE E. KITTL (4) — Com referência à observação feita pelo orientador das discussões, Prof. Paula Leite, desejo dizer que na Argentina utilizamos, para o caso de ligas Al-U, não só o ensaio por ultrassons como o de empolamento. Esse ensaio é também muito simples e indica imediatamente se há defeito no elemento combustível. Não sei o que ocorreria no ensaio de ultrassons com óxidos presentes.

H. MOTTA HAYDT — A finalidade do ensaio é verificar a existência de defeito de ligação com temperatura bastante acima daquela em que será utilizado.

D. VASSALO (5) — Desejaria saber se fazem ensaios de empolamento nas chapas de alumínio que seriam utilizadas para revestimento. Em alguns casos seria interessante esse ensaio prévio, porque seriam recusadas as chapas que apresentassem o problema de "blister".

S. H. L. CINTRA — Em tôdas as amostras de alumínio ensaiadas não houve esse problema.

J. KITTL — Devo felicitar o autor pelos resultados, porque a fabricação de chapas tão finas como as de 0,7 mm que mencionou, é realmente alguma coisa de notável. Desejo ainda lembrar que há outro pro-

cesso para fabricação de chapas finas, não tão delgadas como as descritas, mas chapas de 2 a 3 mm de espessura. Refiro-me ao processo de extrusão, que utilizamos no trabalho que foi por nós apresentado à Conferência de Genebra de 1955.

S. H. L. CINTRA — O processo de co-extrusão é conhecido pelos trabalhos publicados, inclusive nos livros especializados. Ele oferece contudo o grave defeito de expor, nas extremidades, o núcleo; isso não era possível no caso das placas estudadas — bem como nas que foram fabricadas para o reator Argonauta — uma vez que deveriam ser totalmente revestidas. Por essa razão, nunca foi por nós considerado como um meio de produzir as chapas delgadas.

J. KITTL — Outra pergunta se refere à granulometria do material. Os pós constituintes têm granulometria que passa na peneira de 325 malhas. Mas, depois do condicionamento, o material tem grânulos de menores dimensões, de maneira que creio que esta poderia ser uma das causas de blisters, como o senhor mencionou. Como se resolveu esse problema?

S. H. L. CINTRA — Não fizemos análise granulométrica, nem outras medidas de dimensões de partículas, depois da fase de condicionamento.

J. KITTL — Como é feita a carga para poder misturar diretamente no misturador?

S. H. L. CINTRA — Os constituintes em pó, e com as características indicadas, são pesados e encerrados com as bolas no misturador, girando durante o tempo necessário. Posteriormente, a mistura é carregada diretamente na matriz e produzido o "cermet" sob pressão de compactação necessária.

J. KITTL — No caso do nosso trabalho anterior já referido, o material, após o condicionamento, era peneirado a fim de se produzirem os aglomerados para menor dimensão.

D. VASSALO — Nas radiografias há pouco expostas notava-se diferença de enegrecimento entre uma extremidade e outra. Essa diferença é compatível com 1% de flutuação de concentração, ou diz respeito a um elemento com o qual se tenha tido algum problema?

S. H. L. CINTRA — Pode se tratar de elemento que tenha apresentado defeito.

P. PAULA LEITE — A pergunta do Eng. Vassalo foi muito oportuna. Pergunto-lhe também sobre se a determinação da densidade radiográfica foi feita só visualmente ou se com densitômetro?

S. H. L. CINTRA — Só visualmente. Na ocasião, por sobrecarga de trabalho na Divisão de Proteção Radiológica do IEA, houve dificuldade em se efetuar a medida das densidades radiográficas.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da Divisão de Metalurgia Nuclear do IEA; São Paulo (SP).

(4) Membro da ABM. Da Comisión Nacional de Energia Atômica; Buenos Aires, Argentina.

(5) Membro da ABM. Da Comisión Nacional de Energia Atômica; Buenos Aires, Argentina.