



NOTA PRELIMINAR SÔBRE A FABRICAÇÃO  
DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS PLANOS  
CONTENDO NÚCLEO DE LIGAS  
ALUMÍNIO-URÂNIO

*HELITON MOTTA HAYDT, SEBASTIÃO HERMANO CINTRA*

PUBLICAÇÃO IEA N.º **156**  
Fevereiro — 1968

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

NOTA PRELIMINAR SOBRE A FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

PLANOS CONTENDO NÚCLEO DE LIGAS ALUMÍNIO-URÂNIO

Heliton Motta Haydt  
Sebastião Hermano Cintra

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

Publicação IEA nº 156

Fevereiro - 1968

---

Separata de "METALURGIA - REVISTA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS", vol. 23, nº 121, dezembro, p. 955-959, 1967.

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. 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. Theodoretto H.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: Eng<sup>o</sup> Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -

Chefe: Eng<sup>o</sup> Azor Camargo Penteado Filho

Divisão de Física de Reatores -

Chefe: Prof. Paulo Saraiva de Toledo

Divisão de Ensino e Formação -

Chefe: Prof. Rui Ribeiro Franco

## NOTA PRELIMINAR SÔBRE A FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS

### PLANOS CONTENDO NÚCLEO DE LIGAS ALUMÍNIO-URÂNIO

Heliton Motta Haydt  
Sebastião Hermano Cintra

#### RESUMEN

Los elementos combustibles constituidos de núcleo de aleación aluminio-uranio revestido por aluminio está siendo muy empleado en reactores de investigaciones, en virtud de diversas características favorables. Las aleaciones hipo-eutécticas son fácilmente trabajadas por la laminación, pero las hiper-eutécticas, conteniendo más de 13% U, ya presentan mayores dificultades, en virtud de los cristales primarios de  $UAl_4$ .

Los trabajos experimentales objetivaron el estudio de las principales variables de producción de las aleaciones y de la fabricación de elementos combustibles planos con revestimientos de aluminio 1100.

Las aleaciones estudiadas fueron las de 2, 5, 10, 13, 20 y 25% de uranio y fueron preparados por incorporación de uranio metálico en aluminio líquido, en crisol de grafito. En todas las operaciones, realizadas al aire y bajo la protección de cloruro de amonio y criolita, la temperatura fue de  $800^{\circ}C$ , con excepción de las aleaciones de 20 y 25% U, en que el baño fue elevado a  $1100^{\circ}C$ . La impureza fue cuidadosamente retirada antes de la introducción del uranio metálico. El derrame fue efectuado en ligoteras de grafito para dar lingotes prismáticos; también se obtuvieron pequeños lingotes de sección circular destinados a otros estudios. Las aleaciones fueron posteriormente laminadas en caliente en el laminador Stannat-Mann, habiendo sido reducido su espesor de 12,5 a 3,2 mm en esa operación.

Los autores describen, por fin, los trabajos experimentales de las primeras series de experiencias de fabricación, por co-laminación de conjuntos de moldura, utilizando aleación de aluminio 1100 y núcleos de las aleaciones mencionadas, realizada a  $600^{\circ}C$  y hasta que el espesor final fuese reducido a valores entre 1,7 mm y 1,9 mm.

## RESUME

Les éléments combustibles constitués par un noyau d'alliage aluminium-uranium revêtu par aluminium sont largement utilisés en réacteurs de recherches. Les alliages hypo-eutectiques sont facilement travaillés par laminage mais, les hyper-eutectiques contenant plus de 13% U présentent déjà de plus grandes difficultés, à cause des cristaux primaires de  $UAl_4$ .

On a étudié les variables concernant la production des alliages et de la fabrication des éléments combustibles plats revêtus d'aluminium 1100.

Les alliages étudiés ont été celles 2, 5, 10, 13, 20 et 25% en uranium et préparés par incorporation d'uranium métallique en aluminium liquide, en creuset en graphite. En toutes les opérations, réalisées à l'air sous protection de chlorure d'ammonium et cryolithe, la température était de  $800^{\circ}C$ , exception faite aux alliages 20 et 25% en uranium où la température était de  $1000^{\circ}C$ . La crosse a été soigneusement retirée avant l'introduction d'uranium métallique.

Le versement a été effectué en lingotières de graphite pour donner de lingote prismatique, des petits lingotes de section circulaire destinés à d'autres études ont aussi été obtenus.

De suite, les alliages ont été laminés à chaud, dans un laminoir Stannat-Mann, dont l'épaisseur a été réduite de 12,5 à 3,2 mm.

Les auteurs décrivent les expériences de fabrication par co-laminage par la technique de la fenêtre, utilisant un alliage d'aluminium 1100 et noyaux des alliages mentionnés, réalisées à  $600^{\circ}C$  jusqu'au moment dans lequel l'épaisseur finale serait réduite à des valeurs entre 1,7 mm et 1,9 mm.

## ABSTRACT

The Aluminum clad fuel elements with Al-U alloy core are of great interest for use in research reactors.

The hypoeutectic alloys are rolled easily but the hypereutectic ones (more than 13% U) present more difficulties due to the formation of primary crystals of  $UAl_4$ .

The experimental studies have consisted of studying the principal variables related to the production of alloys and to the fabrication of aluminum clad fuel plates.

Alloys containing 2, 5, 10, 13, 20 and 25% of uranium were studied and prepared by the addition of metallic uranium in liquid aluminum melted in graphite crucible. In all the operations, carried out under protection of ammonium chloride and cryolite, the temperature was of 800° C with exception of the 20 and 25% U alloys, when the temperature of the bath was of 1100° C. The dross was removed carefully before the metallic uranium addition. Casting was done in graphite prismatic molds; small cylindrical ingots were also prepared for other studies. The alloys were then hot-rolled at the Stannat-Mann rolling mill from 12,5 mm to 3,2 mm.

The authors describe, finally, the experimental studies of the first series of fabrication using the picture frame technique at 600° C and until the final thickness between 1,7 mm and 1,9 mm.

\*\*\*\*\*

# NOTA PRELIMINAR SÔBRE A FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS PLANOS CONTENDO NÚCLEO DE LIGAS ALUMÍNIO-URÂNIO (1)

HELITON MOTTA HAYDT (2)  
SEBASTIÃO HERMANO CINTRA (3)

## R E S U M O

Os elementos combustíveis constituídos de núcleo de liga alumínio-urânio revestido por alumínio vêm tendo largo emprêgo em reatores de pesquisa, em virtude de diversos característicos favoráveis. As ligas hipo-eutéticas são facilmente trabalháveis por laminação, mas as hiper-eutéticas, contendo mais de 13% U, já apresentam maiores dificuldades, em virtude dos cristais primários de  $UAl_4$ .

Os trabalhos experimentais objetivaram o estudo das principais variáveis de produção das ligas e da fabricação de elementos combustíveis planos com revestimento de alumínio 1100.

As ligas estudadas foram as de 2, 5, 10, 13, 20 e 25% de urânio e foram preparadas por incorporação de urânio metálico em alumínio líquido, em cadinho de grafita. Em tôdas as operações, realizadas ao ar e sob a proteção de cloreto de amônio e criolita, a temperatura foi de 800°C, com exceção das ligas de 20 e 25% U, em que o banho foi elevado a 1100°C. A drossa foi cuidadosamente retirada antes da introdução do urânio metálico. O vazamento foi efetuado em lingoteiras de grafita para fornecer lingote prismático; foram também obtidos pequenos lingotes de secção circular destinados a outros estudos. As ligas foram posteriormente laminadas a quente no laminador Stannat-Mann, tendo sido a sua espessura reduzida de 12,5 a 3,2 mm nessa operação.

Descrevem os autores, por fim, os trabalhos experimentais das primeiras séries de experiências de fabricação, por co-laminação de conjuntos de moldura, empregando liga de alumínio 1100 e núcleos das ligas mencionadas, realizada a 600°C e até que a espessura final fôsse reduzida a valores entre 1,7 mm e 1,9 mm.

## 1. INTRODUÇÃO

Os elementos combustíveis de núcleo de liga alumínio-urânio, revestido por alumínio têm largo emprêgo em reatores de pesquisas, em virtude de diversos característicos favoráveis do alumínio, tais como: baixo custo, baixa secção de choque de absorção de neutrons térmicos e facilidade de reprocessamento. Apresentam, porém, dificuldades de utilização em altas temperaturas, face à insuficiência de suas propriedades mecânicas e resistência à corrosão<sup>1</sup>. O sistema Al-U é um sistema de pequena solubilidade sólida terminal com os compostos intermetálicos  $UAl_2$ ,  $UAl_3$  e  $UAl_4$ . O  $UAl_2$  tem as propriedades dos sistemas da fase de Laves, que ocorrem quando a relação entre os raios dos átomos fica compreendida entre os valores de 1,2 e 1,3. O  $UAl_3$  é cúbico de face centrada, com o urânio nos vértices e dotado de plasticidade. Finalmente, o  $UAl_4$  que se apresenta em matriz sob a forma de losangos ou de agulhas, é frágil. As ligas hipo-eutéticas são facilmente

trabalháveis por laminação, enquanto as hiper-eutéticas, contendo mais de 13% U, apresentam maiores dificuldades, em virtude dos cristais primários de  $UAl_4$  que tornam a matriz mais pobre em alumínio, diminuindo a sua plasticidade. Resfriamentos rápidos retêm o  $UAl_3$  e, em conseqüência, mais alumínio na matriz, o que provoca aumento de ductilidade. A adição de elementos de liga, como silício, da ordem de 0,8% para as ligas de 20% U ou de 3% para as de 45% U, altera as condições de nucleação, estabilizando os cristais de  $UAl_3$  e diminuindo os de  $UAl_4$ <sup>2</sup>. Assim, qualquer elemento que deixe o  $UAl_3$  estabilizado é interessante.

Finalmente, pode-se fundir estas ligas ao ar, sendo usada a criolita como escória protetora.

O que determina a liga necessária é o cálculo do núcleo do reator que indica, conseqüentemente, a quantidade de U-235 por chapa. Para enriquecimento do urânio da ordem de 90% em U-235, pode-se empregar menos urânio na liga, isto é, 13 a 20% de U, enquanto que enriquecimento de apenas 20% no isótopo 235 acarreta o emprêgo de ligas na faixa de 40 a 50% de urânio, modificadas por silício, como é o caso do reator de tipo-piscina do Instituto de Energia Atômica de São Paulo.

Esses elementos combustíveis planos, com ligas de U-Al, revestidos com alumínio, são conhecidos como do tipo MTR (Materials Testing Reactor), sendo normalmente fabricados pela

(1) Contribuição Técnica n.º 720. Apresentado ao XXII Congresso Anual da ABM; Vitória, ES; julho de 1967.

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

(3) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista e Nuclear; Divisão de Metalurgia Nuclear; Instituto de Energia Atômica; São Paulo, SP.

técnica de moldura que permite melhor controle de qualidade.

Os estudos experimentais relatados nesta contribuição, objetivaram determinar a influência das principais variáveis. Foram baseados, principalmente, nos trabalhos realizados anteriormente<sup>3, 4, 5, 6, 7, 8</sup>.

## 2. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA

As pesquisas experimentais objetivaram o estudo das principais variáveis de produção das ligas e da fabricação de elementos combustíveis planos com revestimento de alumínio 1100.

As ligas estudadas foram as de 2, 5, 10, 13, 20 e 25% urânio e foram preparadas por incorporação de urânio metálico em alumínio líquido, em cadinho de grafita. As ligas foram posteriormente laminadas a quente no laminador Stannat-Mann, tendo sido a sua espessura reduzida de 12,5 mm a 3,2 mm nessa operação.

Os trabalhos experimentais das primeiras séries de experiências de fabricação foram realizados por co-laminação de conjuntos de moldura, empregando liga de alumínio 1100 e núcleos das ligas mencionadas, a 600°C e até que a espessura final fôsse reduzida a  $1,8 \pm 0,1$  mm.

## 3. FABRICAÇÃO DAS LIGAS DE U-Al

O urânio metálico foi produzido na Divisão de Metalurgia Nuclear, a partir do tetra-fluoreto de urânio por redução com magnésio, em bombas, também fabricadas no próprio Instituto<sup>9</sup>.

Os botões de urânio produzidos foram, posteriormente, refundidos sob vácuo, no forno Wild-Barfield, existente na Divisão<sup>10</sup>; os lingotes obtidos foram serrados em parte da secção, numa máquina tipo "cut-off", sendo finalmente separados pela quebra da área restante, de modo a se obter pedaços pequenos de urânio de cerca de 20 g e pesados com precisão de 0,1 g.

O alumínio para a carga foi o mesmo das chapas de liga 1100, encomendado especialmente a um produtor local e utilizado na confecção das molduras e das chapas externas de revestimento dos conjuntos dos elementos combustíveis.

A carga foi calculada, prevendo-se 10% em excesso para perdas por oxidação durante a fusão.

As operações foram todas realizadas ao ar e em fornos de cadinho ou do tipo mufla, com proteção de cloreto de amônio.

As ligas estudadas foram as de 2, 5, 10, 13, 20 e 25% urânio e preparadas por incorporação do urânio metálico em alumínio líquido, utili-

zando-se cadinho de grafita de 50 mm de diâmetro interno, 13 mm de espessura de parede e 110 mm de altura útil.

A temperatura foi de 800°C para todas as operações, com exceção das de 20 e 25%, em que o banho atingiu 1100°C. A drosse foi cuidadosamente retirada antes da introdução do urânio metálico. O vazamento foi efetuado em lingoteiras de grafita para fornecer lingotes prismáticos; foram também, obtidos pequenos lingotes de secção circular em coquilha de ferro fundido, destinado a outros estudos<sup>11</sup>.

Posteriormente foram preparadas novas ligas de 20% de urânio, partindo o forno da temperatura de 800°C. Parte do urânio foi colocado, sendo a temperatura elevada para 1050°C. O urânio restante foi carregado sob a proteção, agora, de banho de criolita. A temperatura foi abaixada para 950°C, sendo o vazamento efetuado na lingoteira de grafita, resfriada por chapas de cobre na base.

O material foi refundido a 950°C; a seguir, a temperatura do forno foi elevada até 1050°C e resfriada a 950°C; temperatura em que foi, finalmente, vazado na lingoteira, da mesma maneira que anteriormente.

As primeiras ligas foram, posteriormente, laminadas a quente a 600°C no laminador Stannat-Mann, tendo sido a sua espessura reduzida de 12,5 mm a 6,4 mm nessa operação.



Fig. 1 — Lingote com as bordas trincadas.

Uma das cargas de 20% foi laminada a 600°C para redução de 12,5 a 3,2 mm, com passes intercalados de reaquecimentos de 1 minuto, a figura 1 mostra as bordas do lingote, trincadas em virtude de muitos passes sem o reaquecimento necessário.

Os outros lingotes foram laminados a 600°C, com redução a 3,2 mm, de modo a serem empregados como núcleos para conjuntos de moldura de liga de alumínio 1100, para posterior co-laminação.



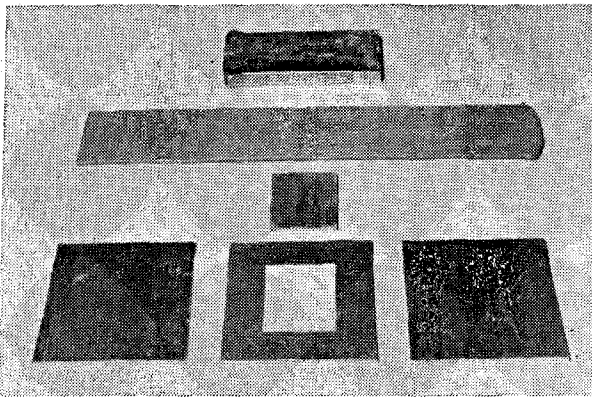


Fig. 2 — Lingote de liga de Al-U, como fundido; placa da mesma liga, laminada a 3,2 mm de espessura; núcleo ajustado e conjunto de moldura e revestimentos.

#### 4. MONTAGEM DO CONJUNTO

As peças constituintes do conjunto (fig. 2) foram decapadas em soda cáustica em solução a 10% a 80°C e depois de lavadas em água, neutralizadas em ácido nítrico, a 50%. Foram, em seguida, os conjuntos soldados a arco elétrico sob a atmosfera de argônio, sendo o eletrodo depositado nos espaços entre os revestimentos e a chapa de moldura, nos quatro lados do conjunto, com exceção dos quatro cantos que ficaram livres para escape de gás (fig 3).

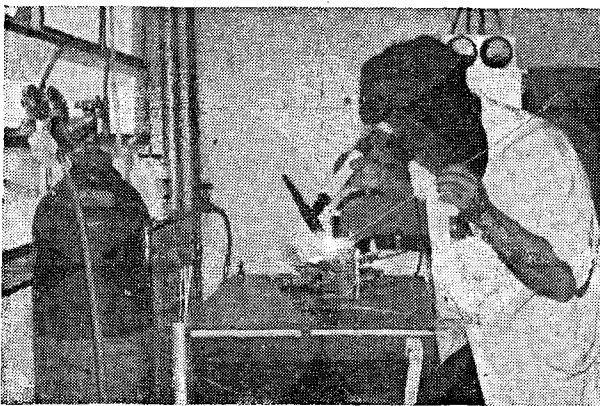


Fig. 3 — Solda do conjunto de moldura pelo processo de arco elétrico sob atmosfera de argônio.

#### 5. CALDEAMENTO POR LAMINAÇÃO E LAMINAÇÃO DO CONJUNTO

O processo de moldura se baseia essencialmente no caldeamento por difusão realizada durante a transformação plástica a quente do material destinado a constituir o revestimento ("cladding") das fases e o material que confina o núcleo de liga ou de "cermet", a ser também transformado mecânicamente até as dimensões

desejadas, primeiramente por laminação a quente e depois por laminação a frio. As operações de aquecimento e de reauecimento foram realizadas em fornos elétricos de mufla, com dispositivos especiais para a localização das placas, à temperatura de 600°C. O aquecimento inicial foi de 40 minutos e, depois de cada dois passes, foi dado um reauecimento de 10 minutos.

A laminação do conjunto foi feita no laminador de precisão Stannat-Mann, acionado por motor de 20 kW, de velocidade variável, sendo usados para laminação a quente, cilindros resfriados por circulação de água (fig. 4).

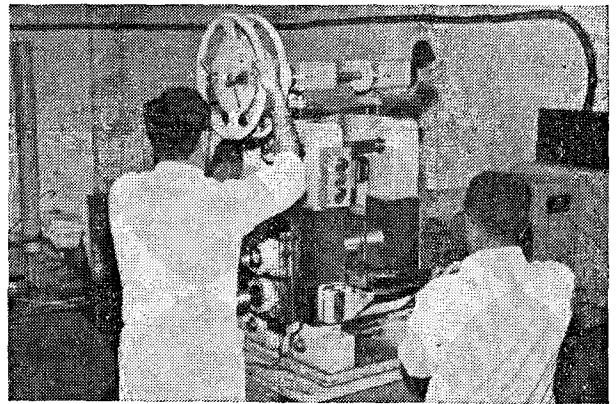


Fig. 4 — Laminação de um conjunto no laminador de precisão "Stannat-Mann".

#### 6. EXAMES E ENSAIOS DOS MATERIAIS

Foi feito ensaio de empolamento a 550°C durante uma hora nas chapas depois de laminadas a quente sem a presença de fundente do tipo utilizado para solda. A figura 5 mostra uma chapa com empolamento.

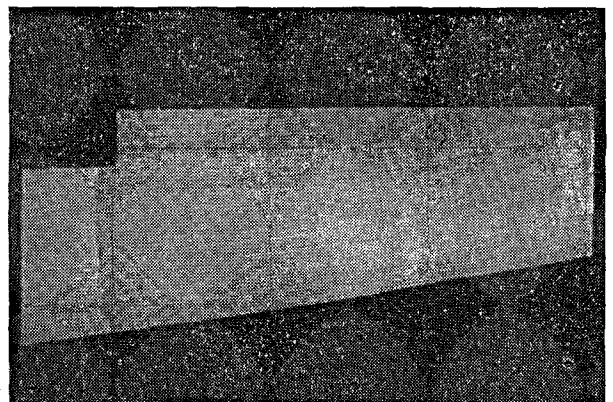


Fig. 5 — Chapa apresentando empolamento.

A verificação da homogeneidade do núcleo de liga de alumínio-urânio, foi realizada através

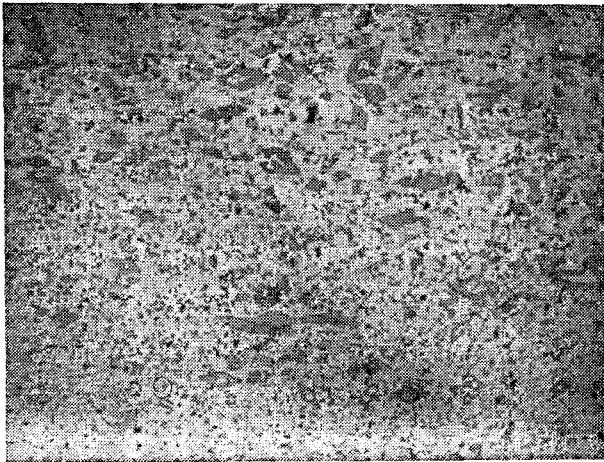


Fig. 6 — Micrografia de secção longitudinal de chapa o núcleo constituído por liga de Al-20% U. Evidencia-se a homogeneidade da liga (500 X).

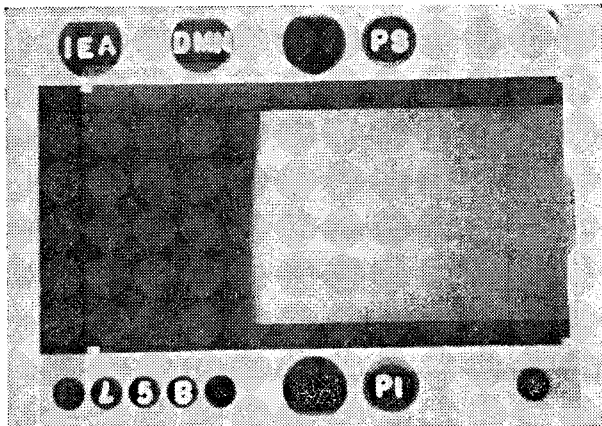


Fig. 7 — Radiografia de uma das chapas antes da operação de corte do excesso de Al do revestimento. Espessura total da chapa: 1,8 mm.

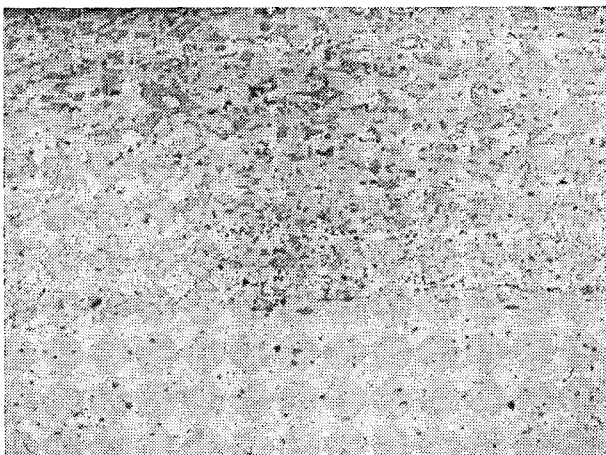


Fig. 8 — Micrografia de secção longitudinal de chapa tendo o núcleo constituído por liga de Al-20% U e mostrando a ligação entre o revestimento e as interfaces de contato (500 X).

de micrografias (fig. 6) e de radiografias obtidas com chapas radiográficas do tipo "Du Pont Cronex II II — Medical X Ray" sob 65 kV, 13,5 mA a 8 segundos (fig. 7).

A micrografia da figura 8 mostra a ligação entre o revestimento e as interfaces em contato.

Finalmente, as chapas resistiram a um dobramento de mais de 30° num raio de cerca de 3,2 mm.

## 7. CONCLUSÕES

1. A partir de urânio metálico, produzido na Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica, foram fabricadas diferentes ligas de alumínio-urânio (de 2, 5, 10, 13, 20 e 25% U), destinadas a estudos de fabricação de elementos combustíveis, bem como de outros programas.

2. Foram descritos em detalhes os trabalhos das primeiras séries de experiências de fabricação, por co-laminação de conjuntos de moldura, empregando alumínio tipo 1100 e núcleos das já citadas ligas de alumínio-urânio, a 600°C e até que a espessura final fôsse reduzida a 1,8 mm  $\pm$  0,1 mm.

3. Foram apresentados os resultados dos diferentes ensaios a que foram submetidos os referidos elementos combustíveis experimentais. Os resultados mostraram perfeita ligação entre a liga e o revestimento e inexistência de fissuras no núcleo. Entretanto, não foram ainda completamente dominadas as dificuldades decorrentes de soluções de continuidade em uma das extremidades das chapas.

## BIBLIOGRAFIA

1. Reactor Handbook, volume I — Materials, Interscience Publishers, Inc. New York, 1960.
2. CUNNINGHAM, J. E.; BEAVER, R. J.; THURBER, W. C.; WAUGH, R. C. — Fuel dispersions in aluminium-base elements for research reactors. Fuel Elements Conference — Paris, 1957 TID-7546, Book 1, p. 269-297.
3. SOUZA SANTOS, T. D.; HAYDT, H. M.; FREITAS, C. T. — Development studies for Argonaut Fuel Plates Fabrication. Study Group Meeting on the Utilization of Research Reactors. São Paulo, 1965, vol. I, p. 279-297, A.I.E.A., Viena, 1965.
4. SOUZA SANTOS, T. D.; HAYDT, H. M.; FREITAS, C. T. — Development in fuel fabrication for research reactors in Brazil. Proceedings, Third International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, vol. 10, p. 26-31, ONU, New York, 1965.
5. SOUZA SANTOS, T. D.; HAYDT, H. M.; FREITAS, C. T. — Experimental studies of the fabrication on thin fuel plates with  $U_3O_8$  — Al cermet. Proceedings, Third International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, vol. 10, p. 32-37, ONU, New York, 1965.
6. SOUZA SANTOS, T. D.; HAYDT, H. M.; FREITAS, C. T. — Fabricação de elementos combustíveis para o reator "Argonauta" do Instituto de Engenharia Nuclear. Metalurgia, vol. 21, p. 369-376, 1965.

7. SOUZA SANTOS, T. D.; HAYDT, H. M.; FREITAS, C. T. — Principais característicos metalúrgicos dos elementos combustíveis produzidos para o reator "Argonauta" do Instituto de Engenharia Nuclear. Metalurgia, vol. 21, p. 909-921, 1965.
8. SOUZA SANTOS, T. D.; HAYDT, H. M.; FREITAS, C. T.; GENTILE, E. F.; CINTRA, S. H. L. — Característicos de placas delgadas para elementos combustíveis contendo dispersões de  $U_3O_8$ . — Al Metalurgia, vol. 22, p. 935-940, 1966.
9. FREITAS, C. T. — Redução do tetra fluoreto de urânio por magnésio: estudo experimental da influência de algumas variáveis. Trabalho a ser apresentado no XXII Congresso da ABM, julho de 1967.
10. FREITAS, C. T.; CINTRA, S. H. L.; GENTILE, E. F.; CAPOCCHI, J. D. T. — Fusão e lingotagem de urânio sob vácuo em forno elétrico de laboratório. Trabalho a ser apresentado no XXII Congresso da ABM, julho, 1967.
11. GENTILE, E. F. — Metalografia das ligas alumínio-urânio. Trabalho a ser apresentado no XXII Congresso da ABM, julho, 1967.

## DISCUSSÃO

PAULO GOMES DE PAULA LEITE (1) — Mais uma vez, tivemos um excelente trabalho dos Engenheiros Heliton Motta Haydt e Sebastião Hermano Leite Cintra, do Instituto de Energia Atômica de São Paulo, aos quais agradeço em nome da ABM. Antes de abrir os debates, gostaria de perguntar aos autores se essa questão de ensaio de dobramento, num raio de 3,2 mm em 30 °C, consiste numa especificação.

HELITON MOTTA HAYDT (2) — Trata-se de uma das especificações para os elementos combustíveis do reator "Juggernaut" do Laboratório Nacional de Argonne. Por isto, usamos como um ensaio nas nossas experiências.

P. G. PAULA LEITE — E o ensaio de empolamento?

H. M. HAYDT — O ensaio de empolamento é realizado a 450°C nas chapas contendo cermet, mas seguimos as especificações das chapas contendo ligas do "Juggernaut", as quais determinam a temperatura de ensaio a 550°C.

P. G. PAULA LEITE — Estão abertos os debates.

(1) Membro da ABM e na Presidência da Sessão. Engenheiro do Arsenal de Marinha e Professor na Escola de Engenharia da UFRJ; Rio de Janeiro, GB.

(2) Membro da ABM e co-autor da CT. Engenheiro da Divisão de Metalurgia Nuclear do I.E.A.; São Paulo, SP.

JUAN NICOLAS BÁEZ (3) — Gostaria de perguntar em que etapa os senhores incluem os exames radiográficos. Os senhores mostraram uma radiografia de elemento acabado, mas acho que se trata de uma cópia negativa, se não me engano, porque a sombra estava invertida. Então pergunto: em que outra etapa dos lingotes os senhores fazem o exame radiográfico para apressar a produção?

H. M. HAYDT — De modo geral, não é feito exame radiográfico em outra etapa, porém é retirada amostra do lingote para exame metalográfico.

J. N. BÁEZ — E enquanto isto não havia a presença de chupagens ou bôlhas nos lingotes?

H. M. HAYDT — Cerca de 20% da parte superior é descartada tendo em vista a possibilidade de chupagem.

SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA (4) — O problema referente à questão levantada pelo Engenheiro Báez é que a energia do raio-X de que dispomos não é suficiente para acusar defeito da peça antes de ser laminada, face a sua espessura de 12 mm. Fizemos um ensaio que deu perfeita homogeneidade, mas não se comportava após a espessura ser reduzida a 1,80 mm. Daí, esse ensaio não ser significativo. Analisando a mesma chapa em micrografia, verificamos haver segregação, da mesma forma que a acusada pelo raio-X em placa de 1,80 mm de espessura, sendo que para nós este era um controle de qualidade mais adequado para as nossas condições. Futuramente, talvez seja possível usar esse controle não destrutivo pela radiografia do núcleo antes da peça ser laminada, porém com raios X de maior energia.

J. N. BÁEZ — Nós usamos para os lingotes muito mais energia nesse tipo de raio-X. Além disso, não nos interessa a produção em quantidade, mas é muito importante poder determinar imediatamente se um lingote tem chupagem ou não. Os que têm, voltam e os que não têm chupagem seguem sem nenhum problema de corte.

S. H. LEITE CINTRA — No problema, da forma como nos foi proposto, abandonava-se a parte superior do lingote.

OSCAR WORTMAN (5) — Quando os senhores soldam o conjunto, soldam totalmente os quatro lados?

H. M. HAYDT — A soldagem é feita obedecendo ao projeto elaborado.

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

(4) Membro da ABM e co-autor da CT. Engenheiro da Divisão de Metalurgia Nuclear do I.E.A.; São Paulo, SP.

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