



**INFLUÊNCIA DE LIGAS Al-Mg NA OBTENÇÃO DE ELEMENTOS
COMBUSTÍVEIS COM NÚCLEO DE LIGA Al-U-Si**

*JOSÉ ROBERTO IERVOLINO e SEBASTIÃO HERMANO
LEITE CINTRA*

PUBLICAÇÃO IEA N.º 237
Maio — 1971

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

INFLUÊNCIA DE LIGAS Al-Mg NA OBTENÇÃO DE ELEMENTOS
COMBUSTÍVEIS COM NÚCLEO DE LIGA Al-U-Si*

José Roberto Iervolino
Sebastião Hermano Leite Cintra

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

Publicação IEA Nº 237
Maio - 1971

* Separata de "METALURGIA - REVISTA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS", vol. 27, nº 158, janeiro, pg. 31 - 36, 1971.

Comissão Nacional de Energia Nuclear

Presidente: Prof.Dr. Hervásio Guimarães de Carvalho

Universidade de São Paulo

Reitor: Prof.Dr. Miguel Reale

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. Theodoreto H.I. de Arruda Souto		

Divisões Didático-Científicas

Divisão de Física Nuclear -
Chefe: Prof.Dr. José Goldenberg

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^o Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -
Chefe: Eng^o Azor Camargo Penteado Filho

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

Divisão de Ensino e Formação -
Chefe: Prof.Dr. Rui Ribeiro Franco

Divisão de Física do Estado Sólido -
Chefe: Prof.Dr. Shiguelo Watanabe

INFLUÊNCIA DE LIGAS Al-Mg NA OBTENÇÃO DE ELEMENTOS COMBUSTÍVEIS COM NÚCLEO DE LIGA Al-U-Si⁽¹⁾

JOSÉ ROBERTO IERVOLINO ⁽²⁾
SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA ⁽³⁾

R E S U M O

Os autores estudam, no presente trabalho, o efeito do emprego de ligas de Al-Mg na obtenção de elementos combustíveis para reatores de pesquisa, fabricados com núcleo de liga Al-U-Si. Discutem as causas que influem sobre a forma da região terminal e admitem que o aparecimento de defeitos nessa região são conseqüentes das diferenças de propriedades mecânicas das ligas empregadas no conjunto. Através de estudo experimental comparativo, concluem que a adoção da liga Al-5052, com núcleo sem tratamento isotérmico, conduz a resultados satisfatórios.

1. INTRODUÇÃO

Elementos combustíveis à base de ligas Al-U, revestidos por ligas de alumínio, têm grandes aplicações em reatores de pesquisa, face a características como baixo custo, baixa seção de choque de absorção de neutrons térmicos pelo alumínio e facilidade de reprocessamento. É programa da Divisão de Metalurgia Nuclear o estudo continuado dos diversos problemas envolvidos na tecnologia de fabricação destes elementos. Em estudos anteriormente realizados e que foram objeto de trabalhos apresentados em Congressos da Associação Brasileira de Metais, analisaram-se aspectos metalográficos da liga Al-U ⁽¹⁾, a técnica de obtenção de elementos combustíveis deste conceito ⁽²⁾ e a adoção de um terceiro elemento de liga, a fim de melhorar as condições de plasticidade do material constituinte do núcleo ⁽³⁾.

O presente trabalho objetiva a análise de técnicas que podem conduzir à eliminação de defeitos terminais. Esses defeitos consistem numa variação da espessura do núcleo na região terminal da placa, em conseqüência dos esforços de laminação a que são sujeitos núcleo e moldura durante o processamento. Se o defeito terminal consiste num aumento de espessura do núcleo, efeito halteres (dog bone effect), ter-se-á uma diminuição da espessura do revestimento, aumentando, nessas regiões, a probabilidade de escape de produtos de fissão. Se ocorrer o caso inverso, dar-se-á um aumento da zona difusa ⁽⁴⁾, que, por problemas de neutrônica, deve ser mantida dentro de limites estreitos.

2. ANÁLISE DO DEFEITO TERMINAL

A magnitude do defeito terminal pode ser reduzida através das seguintes variáveis: temperatura de laminação; porcentagem de redução; elementos de liga e variação do perfil inicial da seção longitudinal do núcleo.

As duas primeiras variáveis dependem, em grande parte, da capacidade de caldeamento dos materiais empregados na fabricação do elemento combustível, tendo sido objeto de estudo em outra contribuição da Divisão de Metalurgia Nuclear ⁽⁵⁾. A última variável foi analisada por Bean e colaboradores ⁽⁶⁾, mostrando ser ineficiente na minimização do defeito terminal (fig. 1).

Julgam os autores que o emprego de elementos de liga, tanto no núcleo como no revestimento, pode conduzir a soluções satisfatórias. A questão que se apresenta é procurar equalizar o comportamento plástico entre os diversos materiais constituintes do elemento combustível.

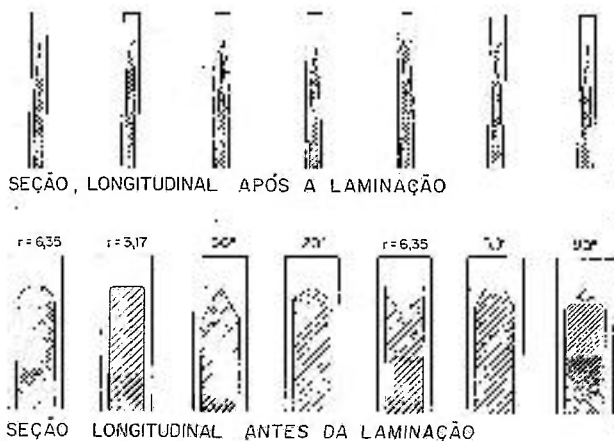


Fig. 1 — Vistas esquemáticas representando o efeito da variação do perfil inicial da seção longitudinal da região terminal do núcleo sob a sua forma após o processo de colaminação ⁽⁶⁾.

- (1) Contribuição Técnica n.º 914. Apresentada ao XXV Congresso Anual da ABM; PortoAlegre RS; junho/julho de 1970.
- (2) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista; Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica.
- (3) Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista e Nuclear; Divisão de Metalurgia Nuclear, Instituto de Energia Atômica.

Thurber e Beaver⁽⁷⁾ compararam as propriedades mecânicas, principalmente o limite de elasticidade, da liga Al-48%U com as de diversas ligas de alumínio, como sejam: 1100, 5154, 6061, 5052, 5050 e 6951. Esse estudo mostrou que a adoção de um terceiro elemento de liga, Si, no caso, diminuía em cerca de 15 a 20% o limite de elasticidade, tornando-o da mesma ordem de grandeza do limite de elasticidade da liga 5154. Tal adição de liga foi objeto de estudo na Divisão de Metalurgia Nuclear⁽⁸⁾, pois o Si impede a transformação peritética de UAl_3 para UAl_4 , obtendo-se uma melhoria de plasticidade, o que foi comprovado por medidas de dureza Knoop. O valor médio para a liga com silício foi 40% inferior ao obtido para a liga sem silício. Com a

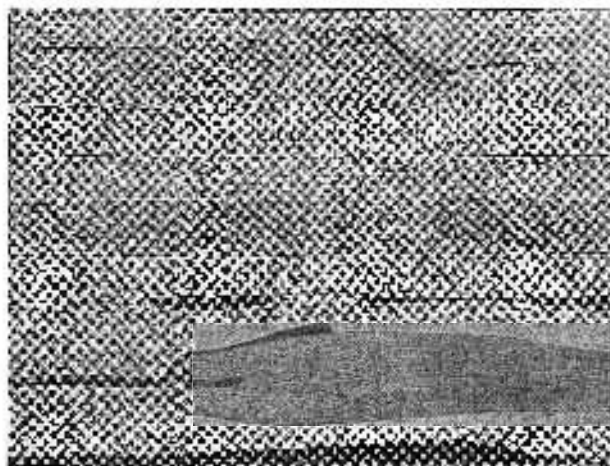


Fig. 2 — Micrografia de cortes longitudinais de chapa combustível, com núcleo constituído de liga Al-20% U, sem tratamento isotérmico e revestimento de liga Al-1100. Observa-se o efeito halteres nas regiões terminais. Ataque: HF. Aumento: 10 ×, (*) reduzido à metade no clichê.

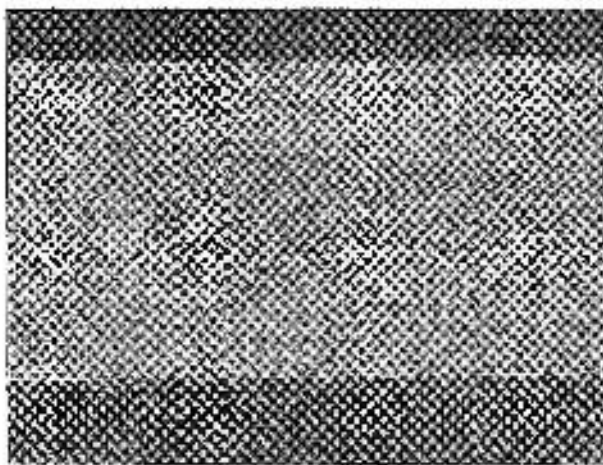


Fig. 3 — Micrografia de corte longitudinal de extremidade de chapa combustível, com núcleo de liga Al-20%U-0,8%Si, com tratamento isotérmico e revestimento de liga Al-1100. Temperatura de laminação: 600°C. Ataque: HF. Aumento: 25 ×, reduzido à metade no clichê.

realização de um tratamento isotérmico a 600°C, por 26 h, conseguiu-se diminuir a dureza Knoop de 47 a 38. Com esse procedimento, minimizou-se o efeito terminal, conforme é demonstrado pelas figuras 2 e 3.

Admitem os autores que a formação do defeito terminal prende-se às diferenças do comportamento plástico entre os diversos materiais constituintes do conjunto núcleo-moldura-revestimento. Se o núcleo é mais resistente que a moldura, ou vice-versa, ocorrerá a formação de um vazio entre esses dois componentes na interface perpendicular à direção de laminação. Em consequência, o material de revestimento é extrudado para a região do vazio, tendendo a preenchê-lo, diminuindo, assim, a quantidade de material de revestimento na região correspondente à liga de menor plasticidade relativa (fig. 4).

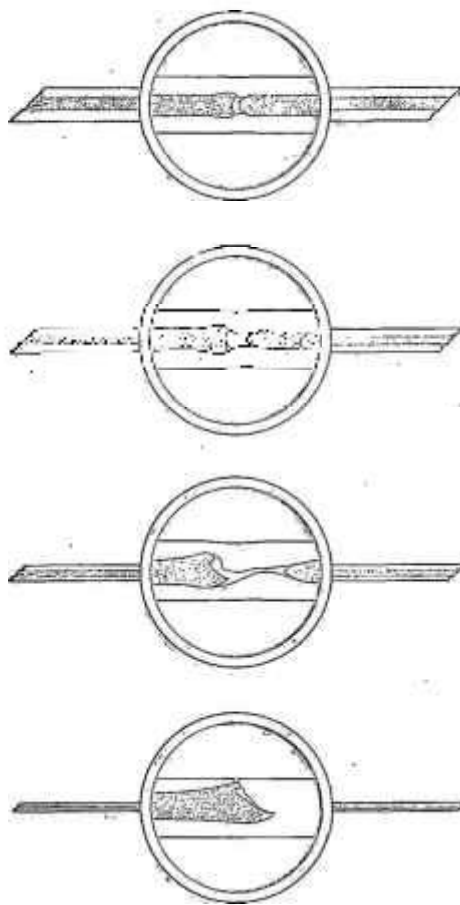


Fig. 4 — Vistas esquemáticas da evolução da região da interface núcleo-revestimento, quando analisadas por um corte longitudinal. Observa-se a formação do efeito halteres na região do material de menor plasticidade.

No presente trabalho, os autores, lançando mão da variável adição de elementos de liga, procuram estudar a influência, sobre o defeito terminal, de ligas de alumínio de maior resistência, de forma a encontrar as condições que o eliminem.

TABELA I — Principais elementos de liga e propriedades mecânicas das ligas de alumínio 1100, 5052 e 5083 (8).

	teores limites				propriedades mecânicas *			
	(%)				(kg/cm ²)		(%)	
	Mn	Mg	Cr	Si + Fe	LR	LE	A	
1100				1,0	910	350	45	
5052		2,2 a 2,8	0,15 a 0,35	0,45	1960	910	30	
5083	0,30 a 1,00	4,0 a 4,9	0,05 a 0,25	Si 0,40	Fe 0,40	2940	1470	22

* condição recozida, medidas efetuadas a 24°C.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a análise do problema acima exposto, os autores utilizaram os seguintes materiais:

- núcleo: Al-20%U-0,8%Si com ou sem tratamento isotérmico;
- moldura e revestimento: Al-1100; Al-5052 (Alcan — Alumínio do Brasil — 57S); e Al-5083 (Alcan — Alumínio do Brasil — D54S).

A tabela I apresenta os principais característicos das ligas de Al empregadas (9).

Foram realizadas as seguintes séries de experiências, quanto ao material empregado nas diversas partes do conjunto:

- A — núcleo com tratamento isotérmico revestimento: 1100 — moldura: 1100
- B — núcleo com tratamento isotérmico revestimento: 1100 — moldura: 5052
- C — núcleo com tratamento isotérmico revestimento: 1100 — moldura: 5083
- D — núcleo sem tratamento isotérmico revestimento: 1100 — moldura: 5052
- E — núcleo sem tratamento isotérmico revestimento: 1100 — moldura: 5083
- F — núcleo com tratamento isotérmico revestimento e moldura: 5052
- G — núcleo com tratamento isotérmico revestimento e moldura: 5083
- H — núcleo sem tratamento isotérmico revestimento e moldura: 5052
- I — núcleo sem tratamento isotérmico revestimento e moldura: 5083
- J — núcleo sem tratamento isotérmico revestimento: 5052 — moldura: 1100

A tabela II apresenta as dimensões iniciais do núcleo, da moldura, do alojamento do núcleo e do revestimento.

TABELA II — Dimensões iniciais do núcleo, moldura, alojamento do núcleo e revestimento.

partes do conjunto	espessura (mm)	largura (mm)	comprimento (mm)
núcleo	3,2	60,4	97,7
moldura	3,2	115	150
alojamento-núcleo	—	60,1	97,3
revestimento	3,2	115	150

Para a inserção do núcleo no alojamento da moldura, esta foi aquecida à temperatura compatível com o material empregado. Com essa técnica, conforme já observado em trabalho anterior (10), obtem-se uma perfeita ajustagem entre núcleo e moldura.

Para efeito comparativo, a programação de laminação foi mantida constante durante todas as experiências. A programação adotada para a laminação a quente foi a que se tinha mostrado a mais adequada em estudos anteriores, cujas porcentagens nominais de redução por passe são indicadas na tabela III, com todos os passes no

TABELA III — Porcentagens nominais de redução por passe da programação de laminação a quente.

número do passe	% de redução por passe
1	10
2	10
3	20
4	20
5	40
6	40
7	10
8	10

sentido longitudinal. Devido às características diferentes dos diversos componentes utilizados no conjunto núcleo-moldura-revestimento, não se obtém características finais iguais, face não terem sido realizadas as respectivas compensações.

A temperatura anteriormente adotada de 600°C para a laminação a quente não pode ser usada, pois o sistema Al-Mg apresenta região ($\alpha+L$) a essa temperatura, para teores de Mg maiores do que 4%. Desde que a temperatura exerce grande influência sobre a resistência do caldeamento, foram realizados ensaios para a determinação da temperatura ótima de operação. Conforme dados bibliográficos⁽¹¹⁾, a operação de caldeamento apresenta resultados mais satisfatórios, seja no que se refere à resistência de caldeamento, bem como quanto à porcentagem mínima de deformação necessária para o início do processo, quando realizada entre 500 a 570°C.

Os ensaios mostraram que a temperatura de 570°C dá melhores resultados, sendo, portanto, adotada essa temperatura para tôdas as experiências, a fim de se obter resultados comparativos quanto ao efeito terminal, sendo realizado re-aquecimento à temperatura de operação, após cada dois passes. Ainda no que se refere ao caldeamento, houve necessidade de alteração das condições de limpeza das partes constituintes do conjunto, adotando-se uma decapagem mecânica anterior à química, no caso das ligas de Al-U-Si e Al-Mg. A técnica adotada na fabricação dos elementos combustíveis foi a de colaminação do conjunto núcleo, moldura e revestimento, já detalhada nos trabalhos dessa Divisão, citados anteriormente.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Por ensaios metalográficos e de empolamento, observou-se que a operação de colaminação de Al-Mg e Al-1100, realizada a 500°C, não possibilitou o caldeamento dos componentes nas condições de deformação adotadas na experiência, enquanto que a mesma operação, realizada a 570°C, conduziu a resultados satisfatórios.

Experiências de caldeamento com moldura e revestimento da mesma liga Al-Mg indicaram, também, ser essa temperatura a que permite obter melhores resultados nas condições de redução ensaiadas.

A fig. 5 mostra resultado obtido com chapa conforme a condição indicada por (A). Observa-se uma pequena alteração na espessura do núcleo, confirmando resultados anteriores e indicando que a alteração da temperatura de laminação não exerceu influência.

A fig. 6 — apresenta resultado obtido nas condições (B) e (D). Pode-se observar que o efeito de variação de espessura de revestimento ocorreu

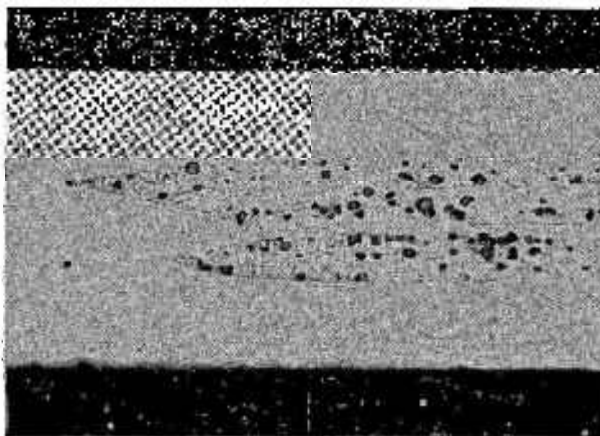


Fig. 5 — Micrografia de corte longitudinal de extremidade de chapa combustível com núcleo de liga Al-20%U-0,8%Si, com tratamento isotérmico e revestimento de liga Al-1100. Temperatura de laminação 570°C. Ataque: HF a 1%. Aumento: 20 x.

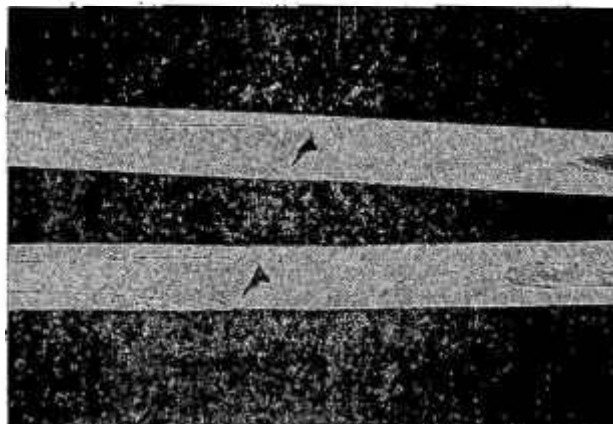


Fig. 6 — Micrografia de corte longitudinal de extremidade de chapas combustíveis com núcleo de liga Al-20%U-0,8%Si, com ou sem tratamento isotérmico e revestimento de liga Al-5052. Ataque: HF a 1%. Aumento: 5 x.

na região correspondente à moldura, face à menor plasticidade da liga adotada, confirmando o mecanismo proposto. A influência do tratamento isotérmico do núcleo não foi marcante nestas experiências, acreditando os autores que a presença da liga Al-Mg mascarou a diferenciação que poderia existir.

Os resultados obtidos nas séries (C) e (E) foram semelhantes aos obtidos nas séries (B) e (D), como pode ser previsto pelas características mecânicas das ligas usadas, 1100 e 5083.

As séries de experiências nas condições (F), (G), (H) e (I), onde moldura e revestimento foram feitos com mesmo material, revelaram que, com essa técnica, suprime-se a formação de efeito halteres na região terminal, pois os materiais usados são mais resistentes, ou da mesma ordem de resistência da do núcleo. Porém, a região ter-

minal passou a apresentar uma diminuição de espessura. Esse fato causa o aparecimento de uma zona difusa, cujo comprimento não pode ser superior aos valores normalmente especificados. Nesse caso, passou a ser de grande influência a análise do tratamento isotérmico da liga do núcleo. Com esse tratamento, aumenta-se a plasticidade do núcleo e, em consequência, o defeito terminal (zona difusa) torna-se mais pronunciado. Tal análise é corroborada pelas micrografias das figuras 7 e 8, onde são apresentados cortes longitudinais de chapas com moldura e revestimento na liga 5052 e núcleo com e sem tratamento isotérmico, respectivamente. As experiências conduzidas com a liga 5083 foram insatisfatórias, julgando os autores ser consequência de que sua plasticidade é bem menor que a da liga Al-20% U-0,8% Si em ambas as condições, tratada e não tratada isotermicamente.

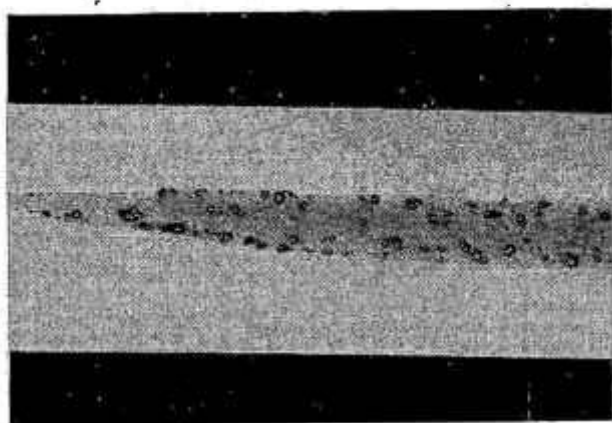


Fig. 7 — Micrografia de corte longitudinal de extremidade de chapa combustível com núcleo de liga Al-20%U-0,8%Si, tratado isotermicamente, com revestimento e moldura na liga Al-5052. Ataque: HF a 1%. Aumento: 20 x.

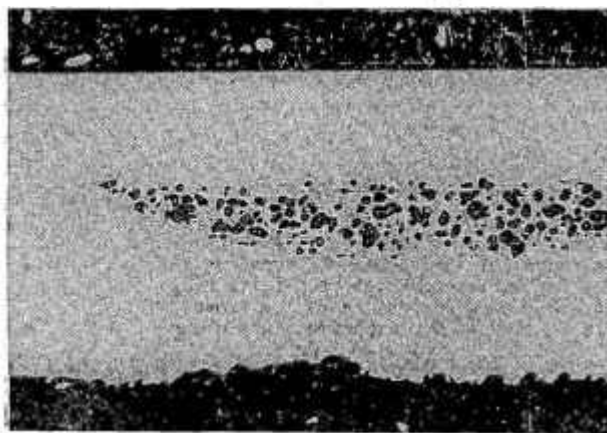


Fig. 8 — Micrografia de corte longitudinal de extremidade de chapa combustível com núcleo de liga Al-20%U-0,8%Si, sem tratamento isotérmico, com revestimento e moldura na liga Al-5052. Observa-se a diminuição da zona difusa em relação à micrografia da fig. 7. Ataque: HF a 1%. Aumento: 20 x.

A condição (J) mostrou-se impossível para a obtenção de corpos caldeados nas condições de redução e temperatura dos ensaios, pois o escoamento diferencial dos componentes de moldura e revestimento rompe a ligação incipiente obtida em passe anterior.

Da análise dos resultados obtidos nas nove condições aonde se estudou o efeito do emprêgo de ligas de Al-Mg na obtenção de elementos combustíveis com núcleo de liga Al-20%U-0,80% Si, os autores julgam que a condição (H) foi a mais satisfatória. A não realização do tratamento isotérmico da liga do núcleo possivelmente permitiu que a liga Al-20%U-0,8%Si ficasse com as mesmas propriedades mecânicas da liga Al-5052, minimizando, assim, o defeito terminal, a níveis superiores a das outras condições. Tal resultado é de grande significado, pois possibilita a eliminação da operação de tratamento isotérmico, o que implica em grande economia para o processo. Há de se considerar, afinal, que a liga 5052 apresenta ótima resistência à corrosão, condição de fundamental importância para a sua relação como elemento de revestimento de elementos combustíveis.

5. CONCLUSÕES

1 — As experiências de caldeamento efetuadas indicaram ser possível obter, por laminação a quente, placas caldeadas compostas de ligas de Alumínio 1100, 5052 e 5083, desde que a temperatura de operação seja de 570°C, para a porcentagem de redução e programação de passes utilizadas.

2 — À temperatura de 570°C, o caldeamento entre as ligas de Alumínio 5052 e 5083 com a liga Al-20%U-0,8%Si foi considerado satisfatório.

3 — Pelas experiências realizadas, os autores confirmaram a hipótese da formação do defeito terminal.

4 — Os melhores resultados foram obtidos com revestimento e moldura na liga Al-5052 e com núcleo de liga Al-20%U-0,8%Si, sem tratamento isotérmico. A supressão do referido tratamento é vantajosa, pois implica em economia do processo.

AGRADECIMENTOS

Os autores, em nome da Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica de São Paulo, apresentam seus agradecimentos aos responsáveis pela Alcan — Alumínio do Brasil S/A, que forneceram graciosamente as ligas de Al-Mg utilizadas nas experiências relatadas no presente trabalho, sem o que não se poderia realizá-lo.

BIBLIOGRAFIA

1. GENTILE, E. F. — "Metalografia de Ligas Alumínio-Urânio". Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 24, n.º 124, p. 187-192, mar., 1968.
2. HAYDT, H. M. & CINTRA, S. H. L. — "Nota Preliminar sobre a Fabricação de Elementos Combustíveis Planos Contendo Núcleo de Ligas Alumínio-Urânio". Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 23, n.º 121, p. 955-959, dez., 1967.
3. CINTRA, S. H. L.; GENTILE, E. F.; HAYDT, H. M. & CAPOCCHI, J. D. T. — "Desenvolvimento de Placas Combustíveis Contendo Núcleo de Ligas Al-20%U e Al-02%U-0,8%Si". Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 24, n.º 131, p. 781-787, out., 1968.
4. CINTRA, S. H. L.; GENTILE, E. F.; NISHIOKA, I.; ABRAO, M. A. S. & AMBROSIO, F. — "Análise de Variáveis do Processo de Fabricação de Placas com Núcleos de Dispersões Al-U-O₂". Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 26, n.º 146, p. 31-43, jan. 1970.
5. Ref. (4), p. 36 a 37.
6. YANS, F. M.; LOEWENSTEIN, P. & GREENSPAN, J. — "Cladding and Bonding Techniques". Em "KAUFMANN, A. R. — Nuclear reactor fuel elements. Metallurgy and Fabrication", p. 450, 1962.
7. THURBER, W. C. & BEAVER, R. J. — "Development of Silicon — Modified 48 wt%U-Al Alloys for Aluminium Plate-Type Fuel Elements". Oak Ridge National Laboratory, Metallurgy Division, ORNL-2602, 1959.
8. Ref. (7), p. 782 a 784.
9. METALS HANDBOOK — Properties and Selection of Metals, v. 1, p. 936, 943 a 945, American Society for Metals, 8.ª ed. 1961.
10. Ref. (3), p. 785.
11. TYLECOTE, R. F. — "The Solid Phase Welding of Metals", p. 132 a 148, Edward Arnold (Publishers) Ltd., 1968.

DISCUSSÃO

JUAREZ TÁVORA VEADO (1) — Como se faz a seleção das ligas? Com base na curva tensão-deformação, ou em outros dados?

SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA (2) — Primeiramente, partimos de um trabalho americano onde tínhamos uma curva, à temperatura de laminação, onde eram comparadas uma série de ligas. Dentre elas, havia a 5052, 5154, 6061 e outras. Comparadas com uma liga Al-U, onde o autor observava o efeito da adição de silício, até o teor de 3%, sobre o comportamento plástico da liga, notou ele que, com a adição de 3% de silício, a mesma liga 5154, mostrava-se a mais adequada ao elemento combustível — 45% U e 3% Si, sem tratamento térmico. Com base nesses resultados, então, procuramos a liga. Mas o mercado brasileiro mostrou-se pouco variado, tendo a Alcan — Alumínio do Brasil S/A, nos fornecido o que ela tinha para oferecer: as ligas 5052 e 5083.

(1) Membro da ABM e na Presidência da sessão. Engenheiro Civil e Nuclear; Chefe da Seção de Metalurgia Física do IPR, Belo Horizonte MG.

(2) Co-autor da CT.

ABSTRACT

In this paper the authors study the effect of the use of Al-Mg alloys in obtaining fuel elements for research reactors with a core of Al-U-Si alloy. They discuss the factors which affect the form of the end zone and recognize that the appearance of defects in this zone is a consequence of the difference in mechanical properties of the alloys used in the assembly. By means of a comparative experimental study, they conclude that the adoption of 5052 Al Alloy, with a core not treated isothermally, leads to satisfactory results.

RESUMÉ

Les auteurs étudient l'effects de l'utilisation des alliages Al-Mg destinés à l'obtention d'éléments combustibles pour un réacteur de recherche fabriqués avec un noyau d'alliage Al-U-Si. Les auteurs discutent aussi les facteurs qui influencent la forme de la région terminale et supposent que les défauts sont dus aux différences des propriétés mécaniques des alliages employés. L'emploi de l'alliage Al-5052 avec un noyau sans traitement isothermie donne de bons résultats. Cela a été vérifié par des études expérimentales comparatives.

RESUMEN

Los autores estudian, en el presente trabajo, el efecto del empleo de ligas de Al-Mg en la obtención de elementos combustibles para reactores de investigación, fabricados con núcleo de liga Al-U-Si. Discuten las causas que influyen sobre la forma de la región terminal e admiten que la aparición de defectos en esa región son consecuencias de las diferencias de propiedades mecánicas de las ligas empleadas en el conjunto. A través de estudio experimental comparativo, concluyen que la adopción de la liga Al-5052, con núcleo sin tratamiento isotérmico, conduce a resultados satisfactorios.