



**ESTUDO SÔBRE PROPRIEDADES E ESTRUTURAS DE
DISPERSÕES À BASE DE TÓRIA**

*HELITON MOTTA HAYDT, SEBASTIÃO H. LEITE CINTRA, JOSÉ
DEODORO T. CAPOCCHI, MARCO A. DE SOUZA ABRÃO e
RICARDO P. DE ANTUNES BUENO*

PUBLICAÇÃO IEA N.º 224
Outubro — 1970

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

ESTUDO SÔBRE PROPRIEDADES E ESTRUTURAS DE
DISPERSÕES A BASE DE TÓRIA*

Heliton Motta Haydt
Sebastião H. Leite Cintra
José Deodoro T. Capocchi
Marco A. de Souza Abrão
Ricardo P. de Antunes Bueno

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

Publicação IEA Nº 224
Outubro - 1970

* Separata de "METALURGIA - REVISTA DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS", vol. 26, nº 147, fevereiro, p. 121-126, 1970.

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		
Prof.Dr. Theodoretto H.I. de Arruda Souto	}	pela CNEN

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: Engº Pedro Bento de Camargo

Divisão de Operação e Manutenção de Reatores -

Chefe: Engº Azor Camargo Penteadado Filho

Divisão de Física de Reatores -

Chefe: Prof.Dr. Paulo Saraiva de Toledo

Divisão de Ensino e Formação -

Chefe: Prof.Dr. Rui Ribeiro Franco

ESTUDO SÓBRE PROPRIEDADES E ESTRUTURAS DE DISPERSÕES À BASE DE TÓRIA ⁽¹⁾

HELITON MOTTA HAYDT ⁽²⁾
SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA ⁽³⁾
JOSÉ DEODORO TRANI CAPOCCHI ⁽³⁾
MARCO ANTÔNIO DE SOUZA ABRÃO ⁽²⁾
RICARDO PEDRO DE ANTUNES BUENO ⁽²⁾

RESUMO

Este estudo condensa o progresso obtido no programa referente ao comportamento de cermetts contendo dispersões à base de tória, iniciado em 1968. Os resultados obtidos anteriormente indicaram a conveniência de se utilizar apenas oxalato de tório como matéria prima para a mistura de $\text{ThO}_2\text{-U}_3\text{O}_8\text{-Al}$, em três composições diferentes. Um exame do pó de ThO_2 , passado na peneira de 200 malhas por polegada, mostrou que os grânulos eram consideravelmente mais finos do que os correspondentes à fração granulométrica acima indicada, tendo as partículas tamanho inferior a 11 microns.

O objetivo final da pesquisa é a obtenção de placas com núcleo homogêneo, resultante de continuidade da matriz metálica, e que possam assim vir a ser empregadas como elementos combustíveis de reatores. Foi estudada a produção de pós com partículas de maiores dimensões, os quais foram utilizados na produção de cermetts, posteriormente trabalhados em elementos combustíveis planos.

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa do comportamento de cermetts contendo dispersões de $\text{ThO}_2\text{-Al}$, $\text{ThO}_2\text{-UO}_2\text{-Al}$ e $\text{ThO}_2\text{-U}_3\text{O}_8\text{-Al}$ iniciada em 1968 ⁽¹⁾ continuou dentro do programa anual da Divisão de Metalurgia Nuclear do Instituto de Energia Atômica de São Paulo. Como primeiros resultados das experiências iniciadas em 1968, quando foi utilizada tória obtida por calcinação, tanto do sulfato como do oxalato de tório, concluiu-se que:

- 1) o comportamento quebradiço dos cermetts é mais acentuado nos oriundos de material obtido a partir da calcinação do sulfato de tório.
- 2) o ensaio de empolamento com o objetivo de verificar o caldeamento núcleo-revestimento acusou defeito em várias chapas, principalmente, nas provenientes de calcinação do sulfato de tório, ao mesmo tempo em que indicou melhores condições de laminação quando o cermett continha U_3O_8 .
- 3) os briquetes fabricados com ThO_2 oriundo do oxalato, particularmente na porcentagem de 70% de alumínio, apresentaram maior porcentagem da densidade teórica do que os de procedência do sulfato.

Em virtude destas primeiras conclusões, o programa foi alterado, de modo que:

- 1) passou a ser usado apenas o oxalato de tório como matéria prima para o óxido de tório, deixando de ser usado o sulfato de tório.
- 2) apenas a mistura $\text{ThO}_2\text{-U}_3\text{O}_8\text{-Al}$ foi considerada para a produção de briquetes das experiências a serem levadas a efeito.
- 3) em princípio, a porcentagem da matriz metálica de alumínio foi fixada em 70%, sendo variadas as composições da fase cerâmica de 27% $\text{ThO}_2\text{-3% U}_3\text{O}_8$ para, também, 24% $\text{ThO}_2\text{-6% U}_3\text{O}_8$ e 21% $\text{ThO}_2\text{-9% U}_3\text{O}_8$.

Duas outras variáveis foram ainda consideradas: a pressão de compactação e os passes de laminação. A pressão de compactação variou de 0,6 t/cm² até 3,7 t/cm². Os passes de laminação foram considerados tendo em vista o comportamento altamente quebradiço dos cermetts.

Finalmente, foram usadas placas contendo cermetts duplos, com as quais foram verificados e analisados os resultados obtidos.

2. GENERALIDADES

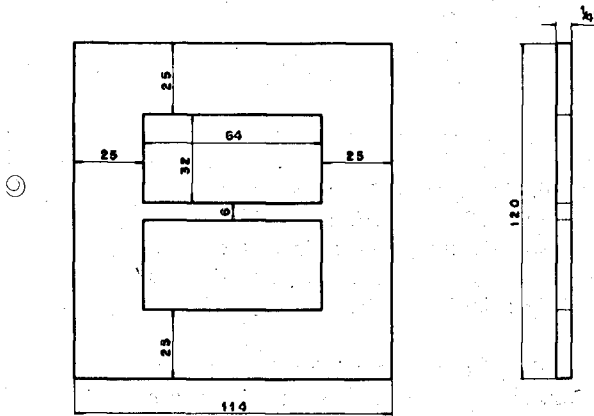
Já tinha sido organizado anteriormente pela Divisão de Metalurgia Nuclear um outro programa visando a utilização, em condições mais severas do que as habituais em reatores de pesquisa, de um tipo mais aperfeiçoado de elementos combustíveis que fôsem placas planas contendo

(1) Contribuição Técnica n.º 854. Apresentada ao XXIV Congresso Anual da ABM; São Paulo, SP; Julho de 1969.

(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; Instituto de Energia Atômica; São Paulo, SP.

vários cermets⁽²⁾. Aplicando este mesmo conceito no programa de placas contendo dispersões à base de tória, foram utilizadas molduras para dois briquetes, conforme o desenho da figura 1, sendo a laminação feita paralelamente à maior dimensão dos briquetes.



MATERIAL: ALUMÍNIO 25

Fig. 1 — Desenho do projeto da moldura utilizada para a inserção de dois briquetes.

Conforme as conclusões do trabalho referente à fabricação de elementos combustíveis planos dotados de múltiplos cermets, resulta que há:

- 1) considerável enrijecimento estrutural;
- 2) possibilidade de aumento considerável da resistência às deformações que resultem de alternância térmica.
- 3) retenção de produtos de fissão bastante facilitada, ao mesmo tempo que se reduz, correspondentemente à massa de cada cermet elementar, a possibilidade de contaminação, na eventualidade de uma anormalidade que cause a perfuração do revestimento.

Quanto à terceira conclusão acima, no que diz respeito às placas planas contendo dispersões à base de tória, poderia ser ampliada ou desdobrada quanto ao problema de reprocessamento, já que esta é a sua principal finalidade. Pela irradiação do Th^{232} no núcleo, elemento fértil colocado na fase cerâmica como ThO_2 , após a emissão de partículas beta, é produzido o U^{233} , fissil. O reprocessamento de combustíveis irradiados à base de tória apresenta a dificuldade inerente ao alto nível de atividade, de modo que a fabricação por métodos diretos só é permitida numa base programada da dose de irradiação.

Daí se pode esperar para estas placas dotadas de cermets duplos ou, de um modo geral múltiplos que, além de facilitarem a retenção de produtos de fissão e de reduzirem correspondentemente a massa de cada cermet elementar quanto à possibilidade de contaminação, existe também a grande vantagem de poder ser cada placa, após a irradiação, cortada em chapas menores, correspondendo ao número de briquetes inseridos ori-

ginalmente. Cada uma destas pequeninas chapas continuará completamente revestida de maneira a permanecerem os núcleos devidamente encapsulados, ao mesmo tempo em que as massas, por serem menores, poderão ser mais facilmente manuseadas durante a operação de reprocessamento.

3. ANÁLISE DO PÓ

O ThO_2 utilizado, de pureza nuclear, foi obtido por calcinação a 800°C , por 4 horas, do oxalato de tório, precipitado à temperatura ambiente, ao redor de 25°C , e proveniente da Divisão de Engenharia Química do IEA. A calcinação, foi realizada em fornos elétricos de mufla. O pó utilizado foi a fração que passou na peneira de 200 malhas por polegada; foi misturado com pó de alumínio de — 100 malhas e com pó de U_3O_8 de — 325 malhas por polegada.

Um exame do pó de ThO_2 em laminula especialmente preparada para observação por microscopia ótica mostrou que os grânulos eram consideravelmente mais finos do que os correspondentes à fração granulométrica acima indicada. O exame das preparações sobre as laminulas, usando-se ultra-sons para facilitar a não aglomeração dos fragmentos de pó, mostrou que o diâmetro médio das partículas era de cerca de 10 microns. Dessa forma, as indicações de granulometria por peneiramento não correspondem à realidade, em virtude da tendência de aglomeração de grânulos, uns com os outros, formando grumos. A figura 2 mostra uma fotografia do pó de óxido de tório, preparado na laminula, como calcinado a 800°C , com 160 aumentos, da fração que passou na peneira de 200 malhas por polegada.

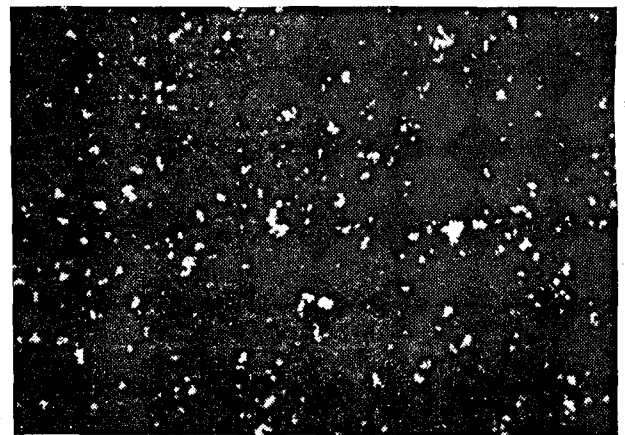


Fig. 2 — Aspecto do pó de óxido de tório como calcinado a 800°C . Fração classificada na peneira de 200 malhas por polegada e preparada em laminula. Aumento: 160 x

Uma amostra submetida a ensaio de sedimentação, realizado no Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica, confirmou serem os diâmetros máximos das partículas da

ordem de 11 microns. A medida da superfície específica do pó realizada nos laboratórios da Refinaria de Petróleo União S/A, em Capuava, por uma variante do processo BET, acusou para este pó 6,4 m²/g. A medida foi feita com temperatura de ativação de 150°C, durante 30 minutos, com limpeza por arrastamento de gás (hélio e nitrogênio) e pressão de 2%.

Em virtude deste fato, foi tentado o uso de pós de granulometria maior. A primeira providência foi aproveitar a mesma partida do óxido de tório que estava sendo usada sendo porém, feita uma recalcação a 1400°C por duas horas, tendo em vista resultados apresentados por Kinoshita e outros⁽³⁾. Conforme os referidos autores, o tamanho das partículas de tório aumenta com a temperatura de precipitação do oxalato de tório. Para um dado oxalato, o diâmetro da partícula de ThO₂ varia com a temperatura de calcinação. Os pós que apresentam de 1 a 2 m²/g de superfície específica, quando calcinados a 1400°C, apresentam mau comportamento na sinterização.

Os resultados experimentais obtidos em outro trabalho⁽⁴⁾ mostraram que o mau comportamento de pós para fins cerâmicos corresponde a resultados favoráveis para placas contendo núcleos de cermets e obtidas por co-laminação. Por isto, foi escolhida a temperatura de 1.400°C por 2 horas para a operação de recalcação. Realmente, o tamanho das partículas de pó classificado em -200 malhas por pOLEDa se mostrou maior do que o anteriormente usado. Mesmo assim, a fração retirada apresentou grande facilidade de o pó se aglomerar já que 200 malhas por pOLEDa correspondem a 76 microns. A figura 3 é uma fotografia do pó como calcinado a 1.400°C e montado da mesma maneira que o pó da figura 2 e com o mesmo aumento. Assim, embora tenha havido crescimento de grão ainda foi utilizado nos briquetes material aglomerado e classificado como -200 malhas por pOLEDa.

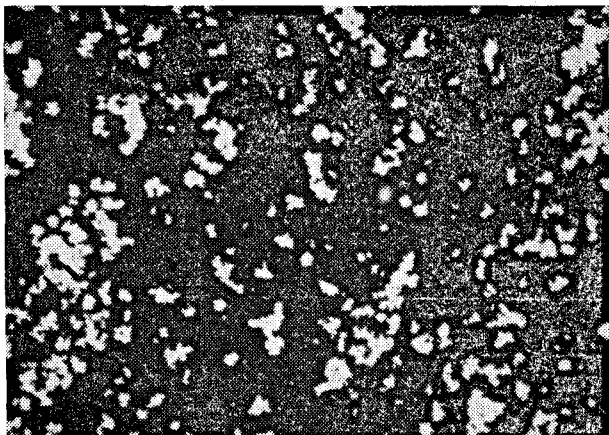


Fig. 3 — Aspecto do pó de óxido de tório como calcinado a 1.400°C. Demais condições análogas às da figura 2. Aumento: 160 ×

Finalmente, outro processo tentado para provocar maior tamanho das partículas de óxido de tório foi por meio de desintegração de pastilhas de óxido de tório, sinterizadas a vácuo, à temperatura de 1.500°C durante 4 horas. A fração -200 malhas por pOLEDa foi aproveitada para as placas que utilizaram briquetes com ThO₂ aqui chamado "sinterizado". A figura 4 mostra o pó nestas condições, com a lamínula preparada da forma já anteriormente descrita e com o mesmo aumento.

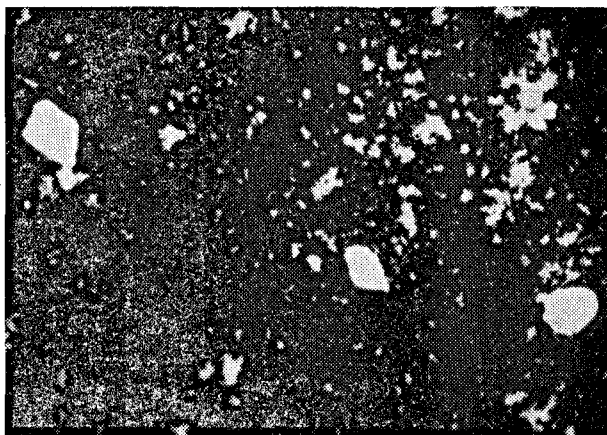


Fig. 4 — Aspecto do pó de óxido de tório «sinterizado». Condições de preparo análogas às da figura 2. Aumento: 160 ×

4. PREPARAÇÃO DOS BRIQUETES E FABRICAÇÃO DE PLACAS

A homogeneização das dispersões de ThO₂-U₃O₈-Al, tendo a porcentagem fixa da matriz metálica de alumínio de 70%, com a mistura na fase cerâmica de ThO₂-U₃O₈ nas proporções de 27-3, 24-6 e 21-9 foi feita segundo o mesmo procedimento descrito no trabalho referido⁽¹⁾, utilizando-se cargas de 600 e de 500 g, sendo mantido em 0,5 o valor da relação carga de rólhas/carga de mistura ThO₂-U₃O₈-Al.

A compactação das misturas condicionadas e pesadas, bem como a pré-sinterização dos briquetes, foi feita de modo idêntico ao já descrito anteriormente para o caso de múltiplos cermets⁽²⁾.

Além da variação na proporção de mistura ThO₂-U₃O₈, conforme dito anteriormente nas proporções de 27-3, 24-6 e 21-9, foi também estudada a influência da pressão de compactação, entre 0,6 e 3,7 t/cm². O estudo desta variável foi feito, como das demais, levando em consideração as principais exigências de que:

- 1) a fase cerâmica ficasse uniformemente dispersa no núcleo;
- 2) este fosse ligado metalúrgicamente ao revestimento; e

- 3) as peças compactadas não se desagregassem durante à operação de transformação mecânica, face a sua natureza quebradiça.

Porosidades e empolamentos também são causas de defeitos nas placas ^(5, 6 e 7).

A tabela I reúne os valores da densidade e da porcentagem da densidade teórica da dispersão de 70% Al-21% ThO₂-9% U₃O₈ para diferentes pressões de compactação.

TABELA I — Características de densidade dos cermets de Al 70%-ThO₂ 21%-U₃O₈ 9%

História do ThO ₂	Características	Pressões (t. cm ⁻²)		
		1,0	1,5	2,0
Calcinado a 800°C	densidade (g. cm ⁻³)	2,78	2,96	3,04
	% densidade teórica	81,0	86,3	88,6
Calcinado a 1.400°C	densidade (g. cm ⁻³)	2,78	2,97	3,06
	% densidade teórica	81,0	86,6	89,2
Sinterizado	densidade (g. cm ⁻³)	2,75	2,95	3,07
	% densidade teórica	80,2	86,0	89,5

Os cermets das diversas composições e nas diferentes pressões de compactação foram co-laminados, empregando-se a técnica de moldura-revestimento, sendo a moldura do tipo de abertura dupla, conforme a figura 1, obtendo-se placas com dimensões finais de 2,45 mm de espessura, partindo-se de espessura total do conjunto moldura-chapas de revestimento de 16 mm. O programa de laminação é mostrado na tabela II.

TABELA II — Porcentagens de redução por passe e total de três programações de laminação

N.º de passes	% red. por passe	% red. por passe	% red. por passe
1	5,0	5,0	10,0
2	5,0	5,0	10,0
3	5,0	5,0	10,0
4	5,0	5,0	10,0
5	10,0	10,0	10,0
6	10,0	10,0	10,0
7	15,0	15,0	20,0
8	15,0	15,0	20,0
9	15,0	25,0	20,0
10	15,0	25,0	20,0
11	15,0	20,0	25,0
12	15,0	20,0	25,0
13	15,0		
14	10,0		
15	10,0		
% red.	84,0	84,0	88,0

5. ENSAIOS

Ensaio de empolamento — O ensaio de empolamento tem por finalidade caracterizar a resistência do material à formação de bôlhas provocadas por aquecimento prolongado e em temperatura relativamente bastante elevada, em face das condições de operação previstas para o elemento combustível ⁽²⁾. Assim, por meio deste ensaio é examinada a ligação metalúrgica entre o núcleo e o material de revestimento de placa, já que quaisquer soluções de continuidade, acaso existentes, ficam logo evidenciadas pelo aparecimento de empolamentos na região onde existam tais defeitos ⁽²⁾.

As chapas produzidas foram submetidas a este ensaio, sendo aquecidas em forno de mufla a 450°C durante uma hora. Foi observado que, quando conduzida a laminação de forma a obter núcleos mais homogêneos, isto é, com menor grau de trincas e fraturas longitudinais, maior era a incidência de empolamentos. Procurando-se eliminar os empolamentos com a alteração da programação de laminação, acentua-se a heterogeneidade do núcleo deformado. Conforme será mostrado mais adiante, esse comportamento está intimamente ligado às características dos pós de ThO₂ empregados nas experiências.

Ensaio radiográfico — Os ensaios radiográficos tiveram como objetivo, além da verificação da homogeneidade da dispersão que constitui o briquete deformado, determinar a presença de trincas ou fissuras resultantes da co-laminação dos conjuntos. As radiografias foram executadas sob raios-X de 65 kV e 13,5 mA, com 8 s de tempo de exposição, com filme radiográfico tipo AA.

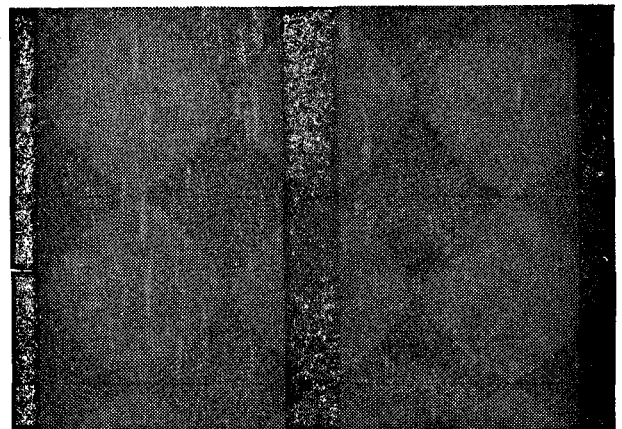


Fig. 5 — Radiografia de uma região do núcleo de placa contendo cermets de Al-ThO₂,29% — U₃O₈,3%, mostrando a melhor homogeneidade relativa do núcleo com densidade de 85,2% da teórica.

Como já observado no ensaio de empolamento, ocorreram dificuldades na obtenção de núcleos uniformemente deformados no processo de

conformação por co-laminação. As placas laminadas, nas quais só se variou a densidade do briquete, mostraram que os melhores resultados foram obtidos a partir de cermets compactados entre 1,0 e 1,5 t/cm², dando valores da ordem de 85% da densidade teórica (fig. 5).

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Analisando-se as figuras 2, 3 e 4, podem ser feitas as observações que se seguem.

O pó calcinado a 800°C, cuja dimensão de partícula e forma é apresentada na figura 2, revela-se constituído de partículas de pequenas dimensões, em alguns casos aglomeradas umas às outras. Os cermets produzidos com pós com estas características comportam-se de forma defeituosa, existindo trincas reveladas pelas radiografias. As partículas de alumínio são totalmente envolvidas pela fase cerâmica. Tais condições são prejudiciais à deformação por laminação por impedir a constituição de uma matriz metálica contínua, capaz de se deformar sem ruptura. A explicação para estas rupturas observadas através de radiografias se baseia, assim, na morfologia do pó utilizado. Esta análise é, em parte, corroborada pelos resultados obtidos quando foram laminados cermets contendo teores mais elevados de U₃O₈. O pó de U₃O₈ utilizado nas experiências era o mesmo empregado para o estudo sobre o comportamento de dispersões de U₃O₈-Al⁽⁴⁾. Nesse trabalho, observou-se que as dimensões dos grãos de U₃O₈ eram bem maiores do que as dos grãos de ThO₂. Como a porcentagem total da fase cerâmica foi mantida constante, a melhoria da homogeneidade do núcleo está possivelmente ligada ao aumento da continuidade da matriz metálica, quando utilizada a composição de 21% ThO₂-9% U₃O₈-70% Al, em relação às duas outras composições.

Com a calcinação a 1.400°C, pode-se observar pela figura 3 que ocorreu, em virtude de uma sinterização incipiente, a constituição de grãos irregulares. A morfologia revela que como os grãos são constituídos de partículas menores sinterizadas incipientemente, a resistência de contato entre elas é baixa e facilmente o grão se rompe durante a laminação, apresentando um comportamento semelhante ao comentado anteriormente.

O pó obtido pela trituração de pastilhas de tória sinterizadas apresenta, como mostrado na figura 4, partículas bem maiores que as dos outros dois pós, partículas essas formadas durante a sinterização. Grande porcentagem das partículas, todavia, foi triturada excessivamente dando origem a partículas equivalentes àquelas calcinadas a baixa temperatura. Como na laminação de cermets com este material foi utilizada a fração —200 malhas por plegada, as partículas pequenas não rejeitadas por uma classificação inferior devem ter contribuído negativamente.

7. CONCLUSÕES

1. Atribuem os autores que a baixa homogeneidade obtida nas placas contendo núcleos de dispersões de ThO₂-U₃O₈ em matriz metálica de Al é devida às características dos pós de ThO₂ empregados.

2. A calcinação à temperatura de 1.400°C, durante 2 horas, revelou-se insuficiente para a obtenção de pó constituído de partículas resistentes aos esforços a que são sujeitas no processo de conformação por laminação.

3. A utilização de pó sinterizado na fração classificada de —200 malhas por plegada apresentou resultados não totalmente satisfatórios, face à excessiva quantidade de partículas de diâmetro relativamente pequeno, geradas pela trituração, e não rejeitadas por uma classificação inferior.

4. No que se refere às características dos briquetes utilizados, melhores resultados foram obtidos com as misturas de 21% ThO₂-9% U₃O₈-70% Al, possivelmente devido ao melhor comportamento, durante a laminação, das partículas de U₃O₈.

5. Os estudos realizados sobre a influência da densidade do briquete mostraram resultados mais satisfatórios quando o cermet foi compactado a pressões de 1,0 e 1,5 t/cm², correspondendo a porcentagens da densidade teórica da ordem de 85%.

AGRADECIMENTOS

Para o desenvolvimento deste trabalho receberam os autores a valiosa colaboração dos Engenheiros Erberto Francisco Gentile e Roberto B. Tracanella da Divisão de Metalurgia Nuclear do IEA, que se incumbiram da preparação dos pós em laminulas para a observação por microscopia ótica. São também gratos ao Eng.º Wildo Theodoro Hennies do Departamento de Engenharia de Minas da Escola Politécnica da USP, pela classificação feita do pó de ThO₂, bem como ao Dr. Rômulo Ciolla e ao licenciado e bacharel Joaquim Gonçalves da Silva Filho, pela medida da superfície específica do pó nos laboratórios do Centro de Pesquisas da Refinaria de Petróleo União S/A, em Capuava.

BIBLIOGRAFIA

- HAYDT, H. M.; CAPOCCHI, J. D. T.; CINTRA, S. H. L. & GENTILE, E. F. — Nota preliminar sobre as propriedades e estruturas de dispersões a base de tória. Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 25, n.º 135, p. 111-119, fevereiro, 1969.
- SOUZA SANTOS, T. D.; CAPOCCHI, J. D. T. & CINTRA, S. H. L. — Estudo experimental de fabricação de elementos combustíveis planos dotados de múltiplos "cermets". Metalurgia — Rev. Ass. Bras. Met., v. 24, n.º 125, p. 295-299, abril, 1968.

3. KINOSHITA, H.; AOKI, S.; TAKAGI, A. & KOBAYASHI, Y. — *Fabrication of thorium oxide fuel element (II). Effect of the powder property and sintering condition on the fuel density.* NSJ — Tr — 51, JAERI, dezembro, 1965.
4. CINTRA, S. H. L.; GENTILE, E. F.; NISHIOKA, I.; ABRÃO, M. A. S. & AMBROZIO FILHO, F. — *Análise das variáveis do processo de fabricação de placas com núcleos de dispersões Al-U₃O₈.* Apresentado no XXIV Congresso da ABM, SP, julho, 1969.
5. MARSH, H. G. — *Coextrusion of powder compact slugs.* DP — 443, abril, 1960.
6. FRANCIS, W. C. & CRAIGS, S. E. — *Progress report on fuel element development and associate projects.* Phillips Petroleum Comp. IDO — 16574, agosto, 1960.
7. GIBSON, G. W. & FRANCIS, W. C. — *Annual progress report on fuel element development for F Y-1962.* Phillips Petroleum Comp. IDO — 16799, agosto, 1962.

DISCUSSÃO

CLAUER TRENCH DE FREITAS (1) — Qual foi o critério adotado para determinar os níveis de U₃O₈ na composição do cermet? Porque foi escolhida essa faixa inferior a 10%? Algum fato ligado à física de reatores? Eu me permitiria observar que realmente o que facilita a laminação do cermet é o elevado teor de U₃O₈. O U₃O₈ apresenta plasticidade grande, facilitando a laminação. Há alguma razão para o senhor ter adotado esse nível, essa concentração de U₃O₈?

HELITON MOTTA HAYDT (2) — Eu responderia que o U₃O₈ empregado foi mais de acordo com as referências bibliográficas. O Argonne National Laboratory e o Oak National Laboratory realizaram inicialmente, como uma pequena experiência, irradiações a baixa temperatura de ligas de tório-urânio, revestidas por alumínio, contendo até 5% U altamente enriquecido. Ainda o Argonne National Laboratory realizou irradiações de combustíveis de ThO₂-UO₂ com amostras com teores de até 10% de UO₂. Finalmente a Phillips Petroleum Company se encarregou de um programa de fabricação de elementos combustíveis que incluía cermets de UO₂-Al, ThO₂-Al e ThO₂-UO₂-Al para posterior irradiação. No caso das dispersões de ThO₂-UO₂-Al, a porcentagem de UO₂ era de 2%.

SEBASTIÃO HERMANO LEITE CINTRA (3) — Gostaria de acrescentar que no caso presente o efeito do U₃O₈ na melhoria das condições se deve principalmente à forma do pó. A do ThO₂ era desfavorável. Portanto a contribuição do U₃O₈ se prende mais ao fato de sua granulometria ser mais adequada. Nos estudos finais, quando se alteraram as condições de pó de tória, observou uma mudança da textura do cermet. Estudos metalográficos revelaram que as partículas de tória, eram circundadas por uma matriz de alumínio, que é o desejado, isto é, constituição de uma célula combustível to-

talmente isolada. Observe-se que os pós estavam na condição de calcinado, a baixas temperaturas apresentavam alto grau de fragmentação, e conseqüente alinhamento de partículas. A conclusão de que o U₃O₈ melhora o comportamento está ligada ao aspecto dos pós antes de sofrerem calcinação a alta temperatura. Com essa calcinação, alterou-se a forma, a densidade e a superfície específica; e conseguiu-se melhorar substancialmente tanto o comportamento observado por gamagrafia como o observado por metalografia. Em conseqüência dessa alteração na seqüência de operações, deve-se repetir novamente o estudo da variação de teor do U₃O₈ e de UO₂ para se comprovar realmente se há efeito de U₃O₈ ou UO₂ na melhoria de comportamento das dispersões.

H. MOTTA HAYDT — Inclusive, antes desse estudo e dessa análise, os ensaios indicaram melhores condições de laminação quando o cermet continha U₃O₈ na dispersão de ThO₂-Al. A Phillips Petroleum Company não considerou a laminação como uma técnica de fabricação plausível, face à natureza quebradiça dos briquetes contendo ThO₂.

C. TRENCH DE FREITAS — Faria ainda outra observação que talvez fôsse útil. O ThO₂ apresenta plasticidade extremamente baixa. A minha observação foi no sentido de diminuir o teor de ThO₂ e perguntaria se haveria razão de ordem nucleônica, da ordem de física dos reatores que impeça isso. Parece que realmente é necessário ter elevada concentração de tória, mas eu diria, como sugestão, que talvez fôsse possível utilizar o pó de uma liga de alumínio-tório em lugar de utilizar ThO₂, que apresenta baixíssima plasticidade. Seria uma sugestão apenas, porque o senhor está com um caso bastante desfavorável.

H. MOTTA HAYDT — Poderia ser utilizado num outro programa, porque este realmente já está bem encaminhado. Poderíamos manter a dispersão, independentemente de um outro programa que aproveitasse essa sua sugestão.

S. H. LEITE CINTRA — Queremos aqui novamente destacar a importância que tem para a formação de uma tecnologia nacional a análise dos parâmetros que influenciam determinados processos. Só com uma análise qualitativa aliada à quantitativa se possível, é que se poderá determinar qual é o processamento que deve ser seguido face as condições que temos no Brasil. Aqui valeria a pena destacar todo o trabalho que o Professor Tharcisio Damy de Souza Santos fez no campo do chumbo, onde praticamente desenvolveu, com base em estudos científicos anteriores, toda uma tecnologia nacional. Devemos trilhar o caminho que ele nos apresentou durante todo o seu trabalho sobre metalurgia dos não ferrosos, procurando sempre seguir não as linhas de trabalhos que foram realizados em outros países, que dispõem de outros recursos de que não dispomos, mas procurando sempre determinar quais as variáveis que influenciam os processos, para que possamos adaptar nossas condições a fim de obtermos os produtos que desejamos.

(1) Membro da ABM. Engenheiro Metalurgista; da Divisão de Metalurgia Nuclear do IEA; Resident Associate Engineer do Argonne National Laboratory; Argonne, EE.UU.

(2) Co-autor da CT.

(3) Co-autor da CT.

S U M M A R Y

This paper condenses the progress in the program concerning the behavior of the cermets containing thoria-base dispersion, which has been started in 1968. The previous results have demonstrated the advantage of utilizing only the thorium oxalate as raw material for the $\text{ThO}_2\text{-U}_3\text{O}_8\text{-Al}$ dispersion, in three different mixture compositions. An examination of the ThO_2 powder, classified at the 200 mesh screen, showed that the grains were considerably smaller than the screen size, with particle sizes less than 11μ .

The final objective of this research is the fabrication of plates with a homogeneous core, due to the continuity of the metallic matrix, which could be used as reactor fuel elements. The production of powders with particles of larger sizes was studied aiming its uses in cermet fabrication, to be later on worked out in plate fuel elements.

R E S U M É

Ce travail groupe le progrès obtenu par le programme commencé en 1968 concernant le comportement des "cermets" contenant les dispersions à base de thoria.

Les résultats obtenus ont démontré qu'il est convenable d'utiliser seulement l'oxalate de thorium comme matière première pour le mélange $\text{ThO}_2\text{-U}_3\text{O}_8\text{-Al}$ de trois compositions différents.

L'examen de la poudre de ThO_2 qui est passé par un tamis de 200 mesh a montré que les grains sont considérablement plus fins que les correspondents à la fraction citée ci-dessus, ayant les particules une dimension inférieure à 11 microns.

Le but de la recherche est l'obtention des plaques avec un noyau homogène, résultant de la continuité de la "matrix" métallique qui peuvent être utilisées comme éléments combustibles. On a étudié la production de poudres aux particules de plus grandes dimensions, qui ont été utilisées pour la production de "cermets" postérieurement transformées en éléments combustibles plats.

R E S U M E N

Este estudio condensa el progreso obtenido en el programa referente al comportamiento de los cermetals conteniendo dispersiones a base de torio, iniciado en 1968. Los resultados obtenidos anteriormente indicaron la conveniencia de utilizar solamente el oxalato de torio como materia prima para la mezcla de $\text{ThO}_2\text{-U}_3\text{O}_8\text{-Al}$ en tres composiciones diferentes. Un examen del polvo de ThO_2 , pasado en el cedazo de 200 mallas por pulgada, mostró que los granulos eran considerablemente mas finos que los correspondientes a la fracción granulométrica indicada encima, teniendo las particulas tamaño inferior a 11 micrones.

El objetivo final de la investigación es la obtención de placa con núcleo homogéneo, resultante de la continuidad de matriz metálica, y que puedan así llegar a ser empleadas como elementos combustibles de reactores. Fue estudiada la producción de polvos con partículas de mayores dimensiones, los cuales fueron utilizados en la producción de cermetals, posteriormente trabajados en elementos combustibles planos.