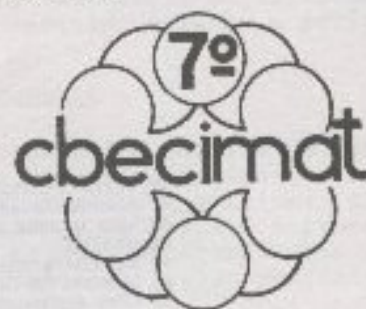




FABRICAÇÃO DE REVESTIMENTOS DOS ELEMENTOS PARA O REATOR NUCLEAR A LEITO FLUIDIZADO

LÍRIO SCHAEFFER & FARHANG SEFIDVASH
PPGEMM - UFRGS



SUMÁRIO

É apresentado um método que está sendo desenvolvido para fabricar os revestimentos dos elementos combustíveis para uso em um reator nuclear a leito fluidizado. Alguns ensaios preliminares foram realizados para testar o método que mais se apropria para a produção em grande quantidade mantendo uma alta qualidade exigida. São indicados ainda outros métodos possíveis de serem empregados para a fabricação do revestimento.

INTRODUÇÃO

O reator a leito fluidizado cuja concepção está sendo desenvolvida no Depto de Engenharia Nuclear e no Programa de Pós-Graduação em Metalurgia tem como característica particular o uso de esferas de dióxido de urânio revestidas para utilização como combustível.

Em sua etapa final de construção o revestimento das esferas de combustível deverá ser feito com zircaloy. Os primeiros testes estão sendo realizados com revestimento de alumínio. O presente estudo descreve os primeiros resultados obtidos e sobre eventuais alternativas. O procedimento adotado foi a conformação pelo processo de embutimento com posterior soldagem por resistência elétrica.

DESCRIÇÃO DO REATOR

O reator nuclear a leito fluidizado que está se propondo, é composto de um módulo básico a partir do qual pode-se construir reatores de várias potências [1]. Este módulo pode ser dividido em um núcleo na sua parte superior e uma câmara de combustível na parte inferior (fig. 1). O núcleo é formado por um tubo de fluidização cilíndrico de 25 cm de diâmetro interno, circundado por uma carcaça de forma hexagonal. A câmara de combustível é composta de um tubo de 10 cm de diâmetro interno, o qual está no prolongamento do tubo de fluidização. Entre o tubo de fluidização e a carcaça hexagonal e por conseguinte, entre a câmara de combustível e a carcaça circular, que está no prolongamento da carcaça hexagonal, forma-se um anel no qual a água entra pela parte superior, penetrando após na câmara de combustível por perfurações na sua extremidade inferior. Na parte superior do reator existe uma tela que assegura o limite máximo da altura do leito fluidizado. Um anel de controle cilíndrico, absorvedor de nêutrons, está conectado a esta tela. Dentro da câmara de combustível existe combustível na forma de esferas de dióxido de urânio (UO₂) levemente enriquecido revestido com zircaloy, com diâmetro aproximado de 3,8 cm.

A alimentação do combustível será feita através do centro do eixo ou do acionamento da tela limitadora. Na base inferior da câmara de combustível existe uma válvula acionada através de um sistema hidráulico que permite

a retirada de combustível do interior da câmara para um reservatório onde ficará permanentemente esfriado. A parte inferior do reator, ou seja, a carcaça circular, é aterrada numa camada de grafite. Na parte superior do tubo de fluidização existe um gerador de vapor do tipo "shell and tube". O fluxo de refrigerante é feito através de uma bomba em circuito fechado.

A água fria entra na parte inferior, vai ao distribuidor, passa pelas perfurações, entra na câmara de combustível, sobe para o núcleo do reator absorvendo calor. Imediatamente, entra no gerador de vapor e transfere este calor. Após, retorna para a bomba descendo pelos anéis entre os tubos de fluidização e a carcaça do módulo.

No módulo existe um pressurizador a pressão e uma válvula de despressurização, que injeta vapor no condensador, quando é necessário diminuir a pressão para permitir a abertura da válvula de descarga do combustível.

Em torno do reator existe um refletor de grafite e blindagem biológica.

FUNCIONAMENTO DO REATOR

Conforme cálculos preliminares [1], a variação na razão entre a quantidade de moderador e combustível resulta numa faixa de reatividade crescente num certo intervalo de porosidade, atingindo um valor máximo, e decrescendo posteriormente com ulterior aumento na porosidade (Fig. 2).

Baseado neste fato, o reator compensará a diminuição de reatividade, devido à queima de combustível e à produção de venenos, através de um aumento de porosidade. A porosidade é controlada através do fluxo de refrigerante.

Como segurança adicional existe uma tela que serve como limitante ao aumento de porosidade acima do valor desejado, ou seja, o máximo permitido.

No caso de um acidente de perda de refrigerante, ou qualquer outro tipo de acidente, ocorrerá um desligamento automático da bomba, com conseqüente precipitação do combustível do núcleo para a câmara de combustível, onde devido à configuração geométrica o sistema se torna altamente subcrítico.

- 01 SUPORTE ESTRUTURAL
- 02 ACONDICIONADOR HIDRÁULICO
- 03 VÁLV. DE DESC. DE COMBUSTÍVEL
- 04 GRAFITE
- 05 NÚCLEO DO REATOR
- 06 MANÔMETRO DE LEITURA
- 07 CONJ. ACONDICIONADOR DA TELA
- 08 DESPRESURIZADOR
- 09 ALIMENTAÇÃO DE COMBUSTÍVEL
- 10 PRESSURIZADOR
- 11 GERADOR DE CALOR
- 12 TELA
- 13 ANEL
- 14 CASCAÇA HEXAGONAL
- 15 TUBO FLUIDIZAÇÃO
- 16 CASCAÇA CIRCULAR
- 17 TUBO CONDUTOR
- 18 CÂMARA DE COMBUSTÍVEL
- 19 PERFURAÇÕES DE ENTRADA
- 20 ENTRADA DE REFRIGERANTE
- 21 SAÍDA DE REFRIGERANTE
- 22 BOMBA CIRCUITO PRIMÁRIO
- 23 ENTRADA DE VAPOR
- 24 SAÍDA DE VAPOR
- 25 GRAFITE
- 26 BLINDAGEM BIOLÓGICA

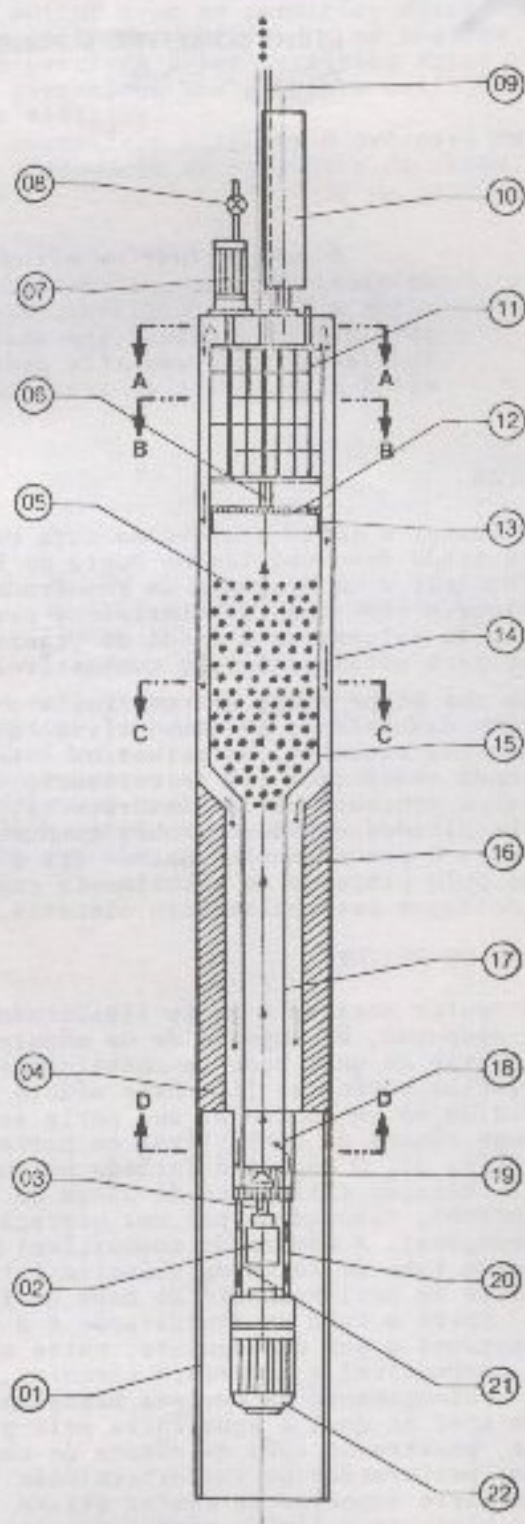
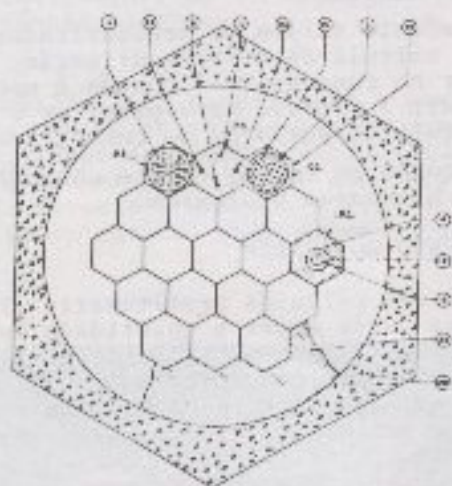


Figura 1. Esquema do Reator de 19 módulos.

terminar a espessura necessária de revestimen-
to para um serviço adequado durante o período
operacional.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Estão sendo realizados ensaios de estan-
tagem e soldagem de calotas esféricas, atra-
vés dos quais verifica-se qual a melhor liga
de alumínio, a espessura da chapa e o proces-
so de soldagem das calotas esféricas, que se-
rão utilizadas no reator de testes prelimina-
res.

O material utilizado para o revestimen-
to das esferas combustíveis deve possuir as
seguintes características:

- condutibilidade térmica elevada
- boa resistência à abrasão
- resistência à corrosão
- baixa seção de choque de absorção pa-
ra neutrons térmicos
- baixo custo e fácil trabalhabilidade

Entre os materiais mais utilizados (aço,
inox, Zircaloy-4 e alumínio) escolheu-se o alu-
mínio devido ao seu baixo custo, menor seção
de absorção de choque para neutrons térmicos
e maior condutibilidade térmica. Além disso
o alumínio forma uma camada de óxido na super-
fície, que lhe confere uma resistência à cor-
rosão e à abrasão. A liga inicialmente empre-
gada foi Al Mg Si 1 que apresenta uma boa es-
tampabilidade.

Utilizando-se dispositivos de equipamen-
to para embutimento (fig. 2) foi possível con-
feccionar os hemisférios empregando-se chapa
com 1 mm de espessura.

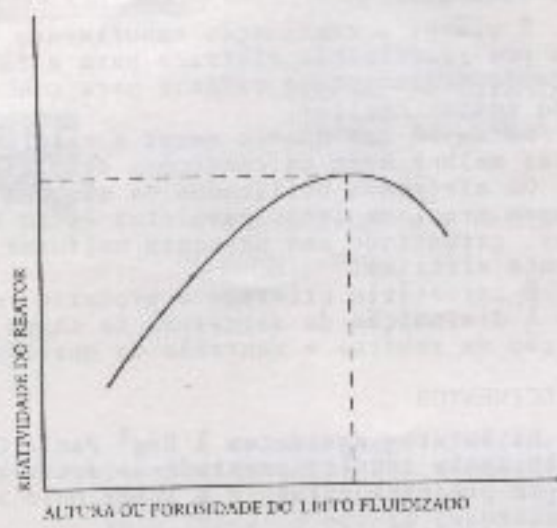


Figura 2. Relação entre a reatividade e poro-
sidade

Se desejado, o combustível pode ser re-
tirado através da válvula de descarga de com-
bustível para um reservatório onde ficará per-
manentemente armazenado.

Outra alternativa seria, com injeção de
água, alterar o nível do reservatório até co-
brir a base do reator, fazendo com que o mes-
mo fique permanentemente esfriado.

FABRICAÇÃO DO COMBUSTÍVEL

Em relação à fabricação das esferas de
dióxido de Urânio pode-se adotar um procedi-
mento semelhante à técnica de preparo das par-
tilhas cilíndricas para os PWRs. A fim de se
evitar o desenvolvimento de um novo processo
é proposto a utilização dessa técnica já co-
nhecida. As esferas deverão ser produzidas man-
tendo-se um diâmetro constante. O equipamento
deve permitir a fabricação em grande quantida-
de.

No que se refere ao revestimento das es-
feras de combustível, o material a ser utili-
zado, na concepção final do reator, é o Zircaloy.
A idéia inicial é a construção de dois
hemisférios a partir de chapas. Após, os dois
hemisférios contendo a esfera de combustível,
são colocados em contato sob pressão e ao mes-
mo tempo em que passa uma corrente elétrica a-
través dos mesmos. Desta forma é efetuada a
soldagem destes dois hemisférios contendo no
seu interior a esfera de combustível. Após
são ainda realizados passos de acabamento, co-
mo o esmerilhamento, a fim de deixar as super-
fícies lisas e limpas. O material inicialmen-
te empregado para a fabricação dos hemisfé-
rios é alumínio.

Outra técnica em estudo é a utilização
de um tubo (revestimento). As esferas de com-
bustível são colocadas no interior do tubo for-
mando algo semelhante a um rosário. Posteri-
ormente processa-se o corte do tubo formando no-
dos. Esse procedimento é similar à oclusão de
um diafragma de uma câmara fotográfica. Após
o corte obtêm-se dois pontos que podem ser fe-
chados pelo processo de soldagem. Esse método
serve como processo contínuo de produção em
massa, usando-se tubos de zircaloy disponí-
veis no mercado.

Um estudo experimental corrosão-erosão
e abrasão das esferas de combustível na flui-
dização está sendo desenvolvido [2] para de-

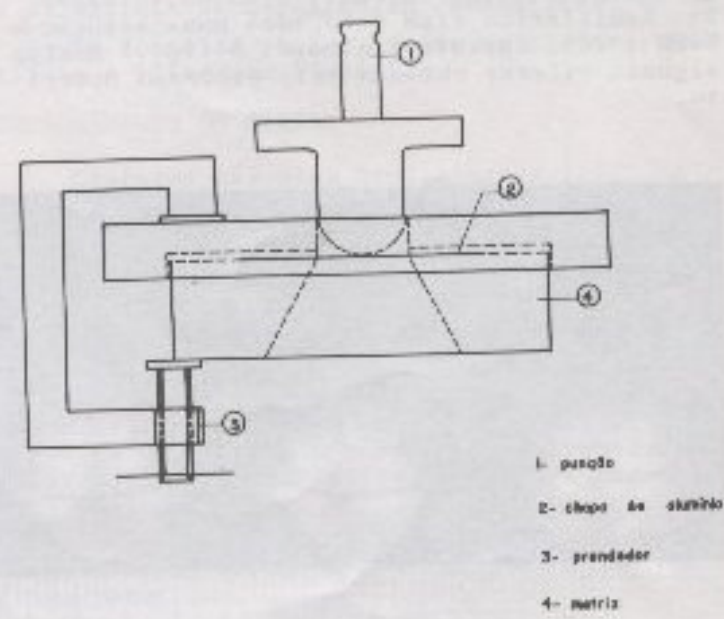


Figura 3. Dispositivo para confecção de hemis-
férios.

A geratriz tinha o formato de discos. Foi utilizado Molykote como lubrificante. Antes do embutimento os discos de $AlMgSi_1$ foram recozidos num forno mufla na temperatura de $450^{\circ}C$ por 30 minutos. O resfriamento foi realizado ao ar. Após o embutimento obteve-se hemisférios com um raio interno de 7 mm.

Para o processo de solda foi utilizado a soldagem por resistência elétrica (ficando ainda como alternativa a soldagem por feixe de elétrons ou soldagem T.I.G). Empregou-se uma máquina existente no Laboratório de Conformação Mecânica/Depto de Metalurgia marca TERMAG com capacidade de 17 KVA (fig. 4) união das

CONCLUSÕES

É viável a combinação embutimento - soldagem por resistência elétrica para a fabricação de revestimento de esferas para combustível do reator nuclear.

Notou-se que quanto menor a rebarba das calotas melhor eram as condições desoldagem.

Os eletrodos utilizados na máquina de soldagem precisam estar paralelos entre si e planos, garantindo uma passagem uniforme da corrente elétrica.

É necessário otimizar o processo referente à diminuição da espessura da chapa, diminuição da rebarba e controle da qualidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Eng^a Paola Capelli pelo apoio técnico prestado ao desenvolvimento do presente estudo e à FINEP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] Sefidvash, F., "A Fluidized Bed Nuclear Reactor Concept" Nuclear Technology, vol.71, Dec.1985 Nº 3, pp 527-534
- [2] Müller, I.L., "Projeto CNPq - Relatório Interno". PPGEMM/UFRGS, 1986

SUMMARY

A method for the fabrication of cladding of the spherical fuel elements for the utilization in the fluidized bed nuclear reactor is presented. Some preliminary experiments were performed to adopt a method which adapt itself to mass production with the desired high quality. Still other methods for cladding fabrication are under study.

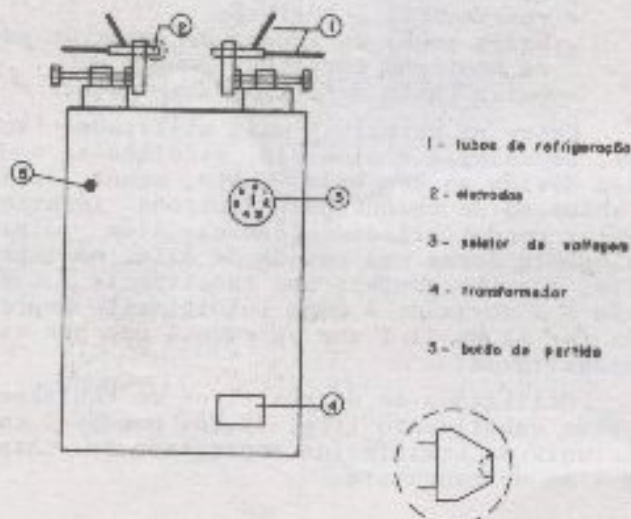


Figura 4. Equipamento de soldagem por resistência elétrica.

peças era obtida pelo aquecimento e pressão propiciando uma perfeita difusão na zona de contato. Antes da realização da soldagem os hemisférios eram decapados numa solução de NaOH a 20%, durante 1 minuto. A fig. 5 mostra algumas esferas obtidas pelo processo descrito.

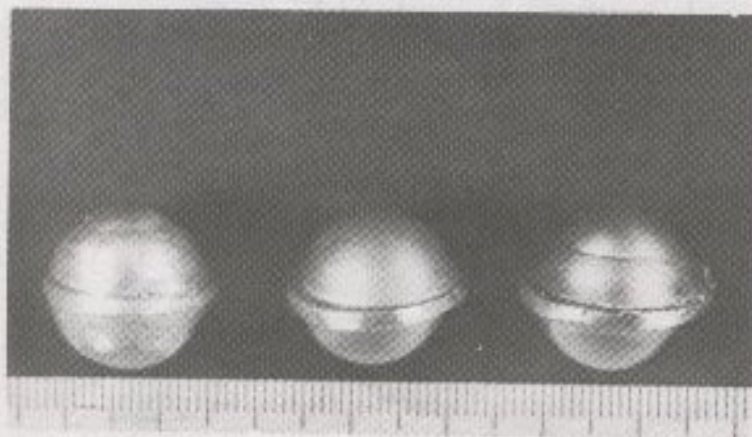


Figura 5. Esferas de alumínio