



FABRICAÇÃO DE ELEMENTOS POROSOS DE NÍQUEL VIA METALURGIA DO PÓ

Marcelo Augusto Milan da Silva

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica
marcelo@pg.materiais.ufsc.br – Florianópolis, SC, Brasil

Eduardo Gonçalves Reimbrecht¹, Edson Bazzo²

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica

(1) edurg@pg.materiais.ufsc.br, (2) ebazzo@emc.ufsc.br – Florianópolis, SC, Brasil

Resumo. *No presente trabalho são apresentados resultados relativos a duas técnicas de sinterização utilizadas para a fabricação de elementos porosos destinados à montagem de bombas capilares. Uma nova rota de sinterização é apresentada como alternativa viável para a produção dos elementos com a porosidade desejada e com a qualidade requerida para permitir o funcionamento da bomba capilar.*

Palavras-chave: *Metalurgia do Pó, Elementos Porosos, CPL, Bombas Capilares*

1. INTRODUÇÃO

Elementos porosos de níquel sinterizado vêm sendo produzidos e aplicados na montagem de bombas capilares, para uso em aplicações espaciais. O objetivo das bombas capilares é remover o calor gerado no interior de satélites, sondas, etc.

As bombas capilares são dispositivos utilizados em circuitos de transferência de calor de dupla-fase, em substituição a bombas mecânicas, para circulação de fluidos térmicos. Em geral as bombas capilares dispõem de superfícies internas ranhuradas e de elementos porosos capazes de proporcionar o trabalho requerido para bombeamento do líquido ao longo do circuito. Elementos de níquel sinterizado têm sido propostos como estrutura capilar, apresentando porosidade da ordem de 60%, com tamanho de poros na faixa de 1 a 12 mm.

A capacidade de bombeamento varia na faixa de 3 a 40 kPa, segundo Maidanik et al (1991), de acordo com o tamanho efetivo de poro apresentado pelo elemento obtido. Dessa forma, líquido pode ser circulado ao longo do circuito sem a necessidade de bomba mecânica. Líquido se desloca unicamente por efeito de capilaridade do condensador para a bomba capilar. O calor aplicado na bomba capilar provoca a evaporação do líquido, que se desloca de volta para o condensador. O ciclo se completa com a rejeição de calor para o espaço e o retorno do fluido térmico de vapor para o estado líquido.

Diversos estudos vêm sendo sistematicamente realizados na expectativa de se resolver problemas pendentes relacionados com a operação dos circuitos de transferência de calor de dupla-fase adaptados com bombas capilares (CPL – Capillary Pumped Loop) e de se buscar alternativas de projeto ou tipos de materiais, que ampliem a capacidade de bombeamento

capilar segundo Maidanik et al (1991). Também na UFSC são produzidos trabalhos no âmbito de projeto e construção de um CPL de pequena escala, com a proposta de ser testado em condições de microgravidade, a bordo do satélite científico franco-brasileiro, previsto para ser lançado no ano 2001.

O processo de fabricação usual envolve técnicas de sinterização de pó solto, extrusão e colagem de barbotina. A sinterização de pó densificado por vibração é uma das técnicas descritas por Fedorchenko (1980) e permite controlar a forma e o volume de poros. Através desta técnica, o desvio de circularidade para um elemento poroso tubular é da ordem de 5%, de acordo com Reimbrecht, et Al (1999), considerado alto, visto que é necessário um ajuste perfeito entre o elemento poroso e a parede interna do tubo ranhurado, segundo Ku (1993). Tubos ranhurados são utilizados para viabilizar o transporte do vapor para fora da bomba capilar, segundo Ku (1993). Para que fosse corrigido o desvio de circularidade as bombas capilares foram usinadas e atacadas quimicamente, o que as oxidou, necessitando-se assim de uma etapa de redução, o que provocou novas distorções nas peças devido ao tensionamento provocado pela usinagem, resultando em peças imperfeitas, de acordo com Reimbrecht (1999).

Tendo em vista a solução dos problemas encontrados em trabalhos anteriores, pensou-se em uma rota alternativa para o processo de vibração de pó solto. Então foi estudada a oxidação do pó de níquel ainda dentro da matriz, por aquecimento em atmosfera aberta. A expectativa assim era de se proporcionar resistência mecânica suficiente para que o elemento poroso pudesse ser sinterizado na posição horizontal e fora da matriz, na busca de se reduzir o desvio de circularidade nos mesmos. No presente trabalho foi utilizado o pó de níquel carbonila 123, sendo variada a temperatura de sinterização entre 600°C e 750°C. Para a avaliação das peças foi feito o levantamento do desvio de circularidade nos componentes. O desvio de circularidade (I) representa o valor da variação percentual do diâmetro medido (ϕ_j) em relação ao valor médio.

Os resultados obtidos demonstraram que o desvio de circularidade foi reduzido sensivelmente, em um comparativo entre as duas técnicas. As diferentes temperaturas utilizadas são justificadas, uma vez que o elemento poroso deve apresentar cerca de 50% de porosidade, pela nova técnica pesquisada, a porosidade é mais facilmente reduzida, uma vez que o óxido de Níquel aumenta a energia superficial do pó, melhorando assim sua sinterabilidade causando o fechamento dos poros com temperaturas mais baixas. A porosidade obtida em ambos os casos apresentou valores na faixa de 45% a 55%.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho foi selecionado como matéria prima o níquel carbonila 123 (Inco Co.) com tamanho de partícula entre 3 e 7 μ m e área superficial entre 0,3 e 0,4 m²/g. A forma e a estrutura da superfície do pó utilizado podem ser observadas na Figura 1, obtida por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Observa-se na figura o formato irregular da superfície do pó, sendo este aspecto importante para se obter a porosidade adequada do elemento poroso ao final do processo de fabricação.

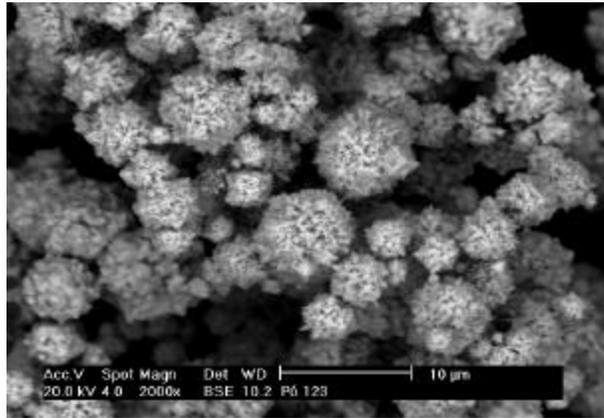


Figura 1: Micrografia do pó de Níquel 123, obtida por microscopia eletrônica de varredura

A matriz utilizada para a conformação do pó é mostrada na Figura 2. Fabricada em grafite, esta matriz permite que se processe o níquel a altas temperaturas, sem que haja difusão entre os dois materiais. Como pode ser visto na Figura 2, o formato a ser obtido para a peça é tul

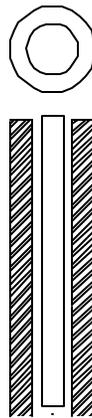


Figura 2: Desenho da matriz utilizada

Tradicionalmente, a fabricação de bombas capilares via metalurgia do pó convencional envolve duas etapas. Na primeira etapa, o pó é vibrado no interior da matriz para que se acomode de forma homogênea, evitando maiores gradientes de densidade, o que reduz o gradiente de poros no elemento poroso. Na segunda etapa a matriz já preenchida é levada ao forno de sinterização para que se obtenha a resistência mecânica do componente. A Figura 3 apresenta um fluxograma do processo de fabricação de elementos porosos via metalurgia do pó.

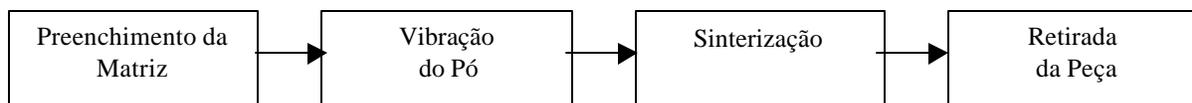


Figura 3: Fluxograma do processo de fabricação de bombas capilares

No presente trabalho buscou-se o aprimoramento do processo de fabricação, objetivando melhorar a circularidade das peças para que estas se encaixassem de forma perfeita no invólucro de alumínio, sem a necessidade de operações de usinagem ao final do processo de fabricação.

O que se fez então foi, após o preenchimento da matriz, leva-la a um forno com atmosfera aberta para que se pudesse fazer a oxidação do pó de níquel que estava em seu

interior, desta forma, a sinterabilidade do pó de Níquel aumenta de forma considerável. Como consequência a temperatura ideal de sinterização se torna mais baixa do que a temperatura ideal de sinterização para o processo convencional de fabricação. Um outro aspecto importante é que através da oxidação do pó metálico, a peça verde pode ser manuseada, uma vez que os óxidos presentes na superfície dos pó provocam um travamento de toda a estrutura da peça. Portanto, o elemento poroso agora pode ser sinterizado fora da matriz, em contato direto com a atmosfera redutora. O próximo passo do novo processo é a sinterização do elemento poroso, em atmosfera de hidrogênio, por uma hora mas este agora se encontrando sem a matriz. A Figura 4 mostra o fluxograma do novo processo de fabricação.

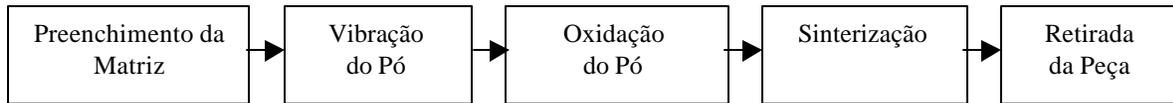


Figura 4: Fluxograma do novo processo de fabricação de estruturas porosas

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os elementos porosos fabricados têm sua qualidade avaliada quantitativamente através da medição de sua porosidade e do seu desvio de circularidade. O acabamento superficial da peça também é uma variável importante no funcionamento da bomba capilar, mas é avaliado de forma qualitativa. A porosidade foi medida pelo princípio de Arquimedes e pelo método geométrico uma vez que a densidade teórica do níquel é conhecida. O desvio de circularidade (λ) representa o valor da variação percentual do diâmetro medido na posição indicada pela Figura 5 (f_j) em relação ao valor médio, sendo determinado a partir da Eq. 1.

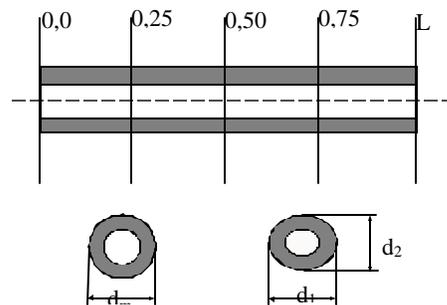


Figura 5: Localização das medições para a determinação do desvio de circularidade

$$I = \left(\frac{|f_j - f_m|}{f_m} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Os primeiros trabalhos foram conduzidos na UFSC envolvendo a fabricação de elementos porosos via metalurgia do pó convencional. Por esse caminho a porosidade obtida ficou em torno de 60%, mesmo sendo alterada a temperatura.

Utilizando a nova técnica de fabricação, com a oxidação do pó de níquel, a porosidade obtida variou em torno de 50%, mas para valores menores de temperatura. Isto pode ser explicado pelo fato do níquel oxidado apresentar sinterabilidade maior do que o níquel em seu estado elementar, utilizado nos trabalhos desenvolvidos anteriormente pela UFSC. A validação dos resultados apresentados é garantida pelas quatro repetições feitas para cada ciclo de sinterização. Os valores de porosidade obtidos com a nova técnica de fabricação são apresentados na Figura 6.

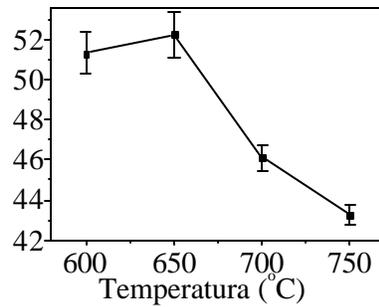


Figura 6: Porosidade medida na peça obtida pela técnica nova

Os resultados obtidos para o desvio de circularidade são mostrados na Figura 7, para a técnica convencional de fabricação. As peças obtidas apresentaram desvio de circularidade na faixa de 5%, tornando-os inadequados para montagem da bomba capilar, necessitando conseqüentemente de usinagem para ajuste no formato requerido. A usinagem não é recomendada neste caso porque há o risco dos poros externos se fecharem devido à elevada ductilidade do níquel.

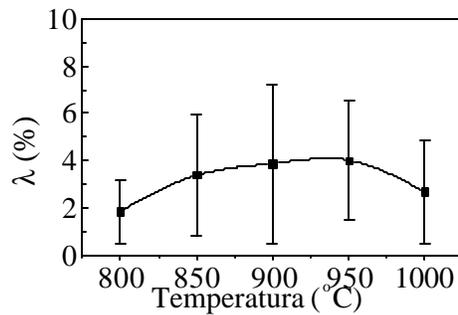


Figura 7: Desvio de circularidade medido na peça obtida pela técnica convencional

Para a nova técnica de fabricação os valores do desvio de circularidade apresentaram uma pequena flutuação em torno de 0.5%, portanto cerca de 10 vezes menores do que os valores obtidos pela técnica anterior. Os valores obtidos são apresentados na Figura 8. O desvio de circularidade é um parâmetro importante a ser considerado no processo de fabricação, pois pode interferir negativamente na capacidade de bombeamento do elemento poroso.

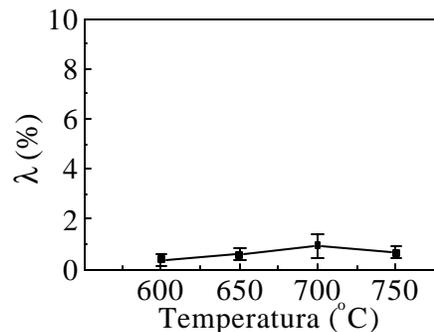


Figura 8: Desvio de circularidade obtido pela nova técnica

O acabamento superficial dos elementos porosos é mostrado na Figura 9. A peça produzida pela nova técnica apresenta superfície mais regular do que a peça fabricada pela técnica antiga.

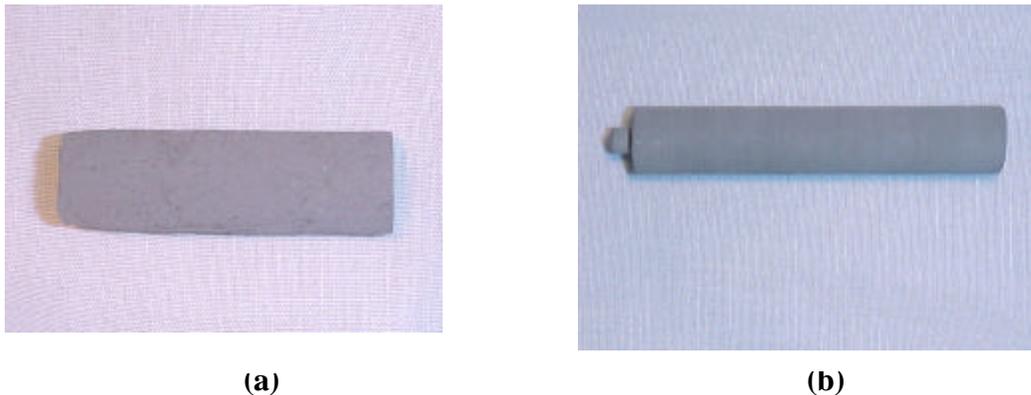


Figura 5: Em (a) Elemento poroso fabricado pela metalurgia do pó convencional; em (b) elemento poroso fabricado pela nova técnica

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a nova técnica de sinterização envolvendo a oxidação do pó de níquel, confirmam as características de porosidade e de qualidade desejada dos elementos porosos como estrutura capilar. Como considerações principais, cabe destacar:

- A prévia oxidação do níquel aumenta sua sinterabilidade;
- Para mesmos valores de porosidade da bomba capilar, a temperatura de sinterização baixou em torno de 300 °C;
- O desvio de circularidade obtido pela nova técnica de fabricação ficou cerca de 10 vezes mais baixo que o desvio de circularidade obtido pela técnica de fabricação.

REFERÊNCIAS

- Maidanik, YU. F.; Fershtater, YU. G.; Goncharov, K. A., 1991, Capillary pump Loop for Systems of Thermal Regulation of Spacecraft. 4th European Symposium on Space Environmental and Control Systems, Florence, Italy, October 21-24,.
- Goncharov, K. et. Al., 1995, Loop Heat Pipes in Thermal Control System for Spacecraft. 28th International Conference on Environmental Systems, San Diego, United States of America, July 10-13,.
- Fedorchenko, I.M., 1980, Progress in Work in the Field of High-Porosity Materials From Metal Powders and Fibers. Plenum Publishing Corporation, pp. 615-622,.
- Reimbrecht, E.G.; Fredel, M.C.; Bazzo, E., 1999. Fabricação de Elementos Porosos para Utilização em Bombas Capilares: Um Estudo Preliminar, Anais do VI SEMEL, Curitiba, Brasil, pp 1194-1204,
- Ku, Jentung. 1993, Overview of capillary pumped loop technology. The 29th National Heat Transfer Conference, Atlanta, Georgia, August 8-11.

MANUFACTURING OF NICKEL POROUS ELEMENTS BY POWDER METALLURGY

***Abstract.** This work shows the comparison into two sintering techniques to make porous parts to make capillary pumps. A new technique of sintering is purposed to produce porous elements with adequate porosity to adequate the functioning of the capillary pumped loop, a spacial eperiment to be launch in the Franco-Brasileiro Satellite.*

***Keywords:** Powder Metallurgy, Porous Elements, CPL, Capillary Pump*