



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA POROSIDADE DE UMA ESTRUTURA CAPILAR DE PÓ DE COBRE SINTERIZADO PARA APLICAÇÃO EM TUBOS DE CALOR

Guilherme Antonio Bartmeyer

Acadêmico do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa
gabartmeyer@hotmail.com

Larissa Krambeck

Mestranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica
da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa
larikrambeck@hotmail.com

Davi Fusão

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa
davi@utfpr.edu.br

Thiago Antonini Alves

Professor/Pesquisador do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica
e do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa
thiagoaalves@utfpr.edu.br

Resumo. Neste trabalho foi realizada a determinação experimental da porosidade de uma estrutura sinterizada de pó metálico de cobre para utilização como estrutura porosa em tubos de calor. Para tal, a Técnica de Imersão em Água Destilada, uma adaptação da Norma Metal Powder Industries Federation (MPFI) Standard 42, foi utilizada para determinação da porosidade da amostra sinterizada. Após os testes experimentais, a porosidade média obtida foi de 58,6%. Este resultado é compatível com a aplicação para estrutura capilar em tubos de calor.

Palavras-chave: Pó metálico sinterizado. Porosidade. Tubos de calor.

1. INTRODUÇÃO

Tubos de calor são dispositivos passivos de transferência de calor que operam como supercondutores de calor, aproveitando a mudança de fase de um fluido. Um tubo de calor é constituído por um invólucro revestido internamente por uma estrutura capilar e por um fluido de trabalho (Peterson [1]).

As estruturas capilares mais comuns são telas metálicas, metais sinterizados e ranhuras axiais (Nishida [2]). As estruturas capilares de metais sinterizados são fabricadas a partir do empacotamento de pó metálico entre a parede interna do tubo de calor e um mandril (Li *et al.* [3]).

As estruturas capilares devem conter caminhos estreitos para que a força capilar do fluido permita agir molhando a estrutura e transportando o fluido do condensador até o evaporador. Em uma estrutura capilar sinterizada o transporte do fluido se dá pelos poros e a pressão de bombeamento se eleva com a redução do tamanho dos poros. Uma vez que uma elevada força de bombeamento capilar de fluido de trabalho é desejada, os poros de uma estrutura sinterizada devem ser reduzidos (Souza [4]).

2. MATERIAIS

Neste trabalho foi realizada experimentalmente a determinação da porosidade de uma estrutura capilar de pó de cobre sinterizado para aplicação em tubos de calor – Fig. 1.



Figura 1. Estrutura capilar de pó de cobre sinterizado

O aparato experimental utilizado no processo de sinterização desta estrutura capilar foi composto por um forno tubular horizontal *Inti™* FT-1200 com atmosfera controlada e um suporte em alumínio. O gás utilizado no controle de atmosfera foi uma mistura de 95% de Argônio e de 5% de Hidrogênio. Para avaliação da temperatura no interior do forno foi utilizado um termopar do tipo K.



Figura 2. Aparato experimental utilizado no processo de sinterização de pó metálico

O pó metálico de cobre foi sinterizado em um tubo de cobre ASTM B-75 com diâmetro externo de 9,45 mm e diâmetro interno de 7,75 mm. As estruturas capilares foram fabricadas com o auxílio de mandris de barras de aço inoxidável AISI 304 com um diâmetro de 4,50 mm e, para manutenção da concentricidade, foram utilizados suportes em aço carbono SAE 1020.

O procedimento de sinterização incidiu em uma taxa de aquecimento de 20°C/min, com permanência de 15 minutos em uma temperatura de 800°C e posterior resfriamento por convecção forçada de ar. Maiores informações sobre este procedimento podem ser encontradas em Bartemeyer *et al.* [5].

Após a sinterização da estrutura porosa nos tubos de cobre, foram confeccionadas cinco amostras seccionando o tubo de calor. Na Figura 3 é mostrada uma imagem microscópica (MEV) da amostra sinterizada obtida.

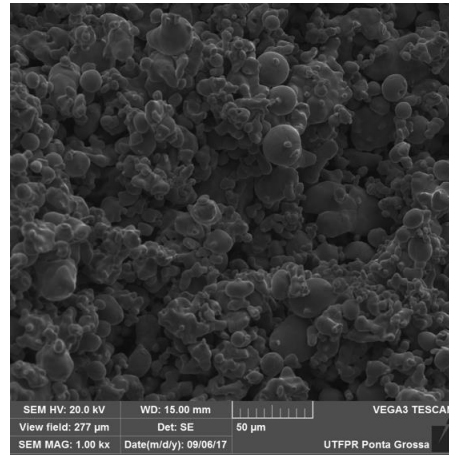


Figura 3. Imagem microscópica (MEV) da amostra sinterizada

3. MÉTODO

Para a determinação da porosidade das amostras sinterizadas, a Técnica da Imersão em Água Destilada, uma adaptação da Norma *Metal Powder Industries Federation (MPFI) Standard 42* [6], foi empregada. Na pesagem das amostras para obtenção das massas seca e molhada uma balança eletrônica *Shimadzu™* AUW220D com 0,00001 g de sensibilidade foi utilizada – Fig. 4.

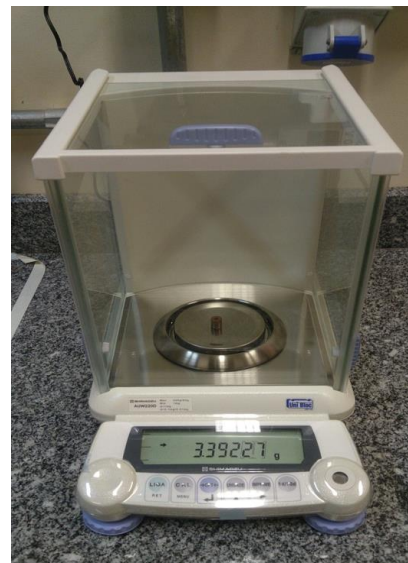


Figura 4. Balança eletrônica utilizada na pesagem das amostras

Primeiramente as amostras permaneceram em uma estufa por uma hora para perda de qualquer umidade presente na estrutura e, após este período, elas foram pesadas na balança eletrônica para obtenção da massa seca de cada uma das amostras.

Feito isso, as amostras foram imersas em água destilada fervente (~100°C) por uma hora para que todos os seus interstícios fossem preenchidos pela água. A Figura 5 mostra o procedimento de fervura em placa de aquecimento em cerâmica.



Figura 5. Fervura das amostras

Após a fervura das amostras, esperou-se a temperatura da água chegar à temperatura ambiente, removeu-se o excesso de água da amostra e pesou-se as amostras novamente para determinação da massa total ou massa molhada (massa da amostra seca somada a massa de água destilada retida na estrutura porosa). A temperatura ambiente foi medida para que a massa específica da água fosse adequadamente determinada de acordo com a Norma MPFI *Standard 42* [6] utilizando os dados encontrados em Fox *et al.* [7].

O volume de água, $V_{\text{água}}$, contida na amostra é calculada subtraindo a massa molhada, m_{molhada} , da massa seca, m_{seca} , e utilizando a massa específica da água, $\rho_{\text{água}}$:

$$V_{\text{água}} = (m_{\text{molhada}} - m_{\text{seca}}) \rho_{\text{água}} \cdot (1)$$

O volume do meio poroso, V_{mp} , pode ser expresso por:

$$V_{\text{mp}} = \frac{\pi (D_{\text{int,tubo}}^2 - D_{\text{mandril}}^2)}{4} H, (2)$$

sendo que, $D_{\text{int,tubo}}$ é o diâmetro interno do tubo de cobre, D_{mandril} é o diâmetro externo do mandril e H é a altura da amostra sinterizada.

A porosidade da amostra pode ser calculada como

$$\text{Porosidade} = \frac{V_{\text{água}}}{V_{\text{mp}}}. (3)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As dimensões e massas das amostras sinterizadas são apresentadas na Tabela 1. Para as medições da altura das amostras sinterizadas foi utilizado um paquímetro mecânico *Mitutoyo*TM de 300 mm com resolução de 0,05 mm.

Tabela 1. Dimensões e massas das amostras

#	H [m]	m_{seca} [g]	m_{molhada} [g]
1	0,0095	2,97452	3,14034
2	0,0104	3,22801	3,40686
3	0,0100	3,06370	3,23648
4	0,0102	3,15438	3,32639
5	0,0109	3,39195	3,57985

Os resultados encontrados experimentalmente para a porosidade das diferentes amostras sinterizadas são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Porosidade das Amostras

#	Porosidade [%]
1	59,42
2	58,55
3	58,82
4	57,41
5	58,69
Média	58,58

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado a determinação experimental da porosidade de uma estrutura sinterizada de pó metálico de cobre utilizada na fabricação de estrutura capilar em tubos de calor. Para tal, a Técnica da Imersão em Água Destilada, uma adaptação da Norma *Metal Powder Industries Federation (MPFI) Standard 42*, foi empregada. A porosidade média obtida foi de 58,6%.

Agradecimentos

Agradecimentos são prestados à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPPG), à Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação (DIRPPG), ao Programa de Pós-Graduação (Mestrado) em Engenharia Mecânica (PPGEM) e ao Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC) da UTFPR/Câmpus Ponta Grossa.

6. REFERÊNCIAS

- [1] G.P. Peterson, *An Introduction to Heat Pipes: Modeling, Testing and Applications*, Thermal Management of Microelectronic and Electronic System Series, Wiley-Interscience, NY: 1994, 368 p.
- [2] F.B. Nishida, *Desenvolvimento de Tubos de Calor com Microranhuras Fabricadas por Eletroerosão a Fio*, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil, 2016.
- [3] Y. Li, H. Xiao, B. Lian & Z.X. Zeng, “Forming method of axial grooves inside copper heat pipe,” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 18, 2008, pp. 1229–1233.
- [4] W. Souza, *Estudo da Porosidade Ideal de uma Estrutura Sinterizada de Cobre Puro para Aplicação em uma câmara de vapor*, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil, 2006.
- [5] G.A. Bartmeyer, L. Krambeck, D. Fusão & T. Antonini Alves, “Aplicação da sinterização de pó de cobre para estrutura capilar em tubos de calor,” *Boletim Técnico da Faculdade de Tecnologia de São Paulo*, vol. 43, 2017.
- [6] *Metal Powder Industries Federation, Standard 42: Determination of Density of Compacte dor Sintered Powder Metallurgy Products*, New Jersey, 1997.
- [7] R.W. Fox, A.T. McDonald, P. Pritchard & J.C. Leylegian, *Introdução à Mecânica dos Fluidos*, Livros Técnicos e Científicos, RJ: 2014, 871 p.