

CARACTERIZAÇÃO DE FILTROS METÁLICOS
POR ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS⁽¹⁾

IVONE DE CAMARGO LAVOS (2)
FRANCISCO AMBROZIO FILHO (3)

RESUMO

Foram preparados em laboratório filtros metálicos em forma de discos com 40 mm de diâmetro. Utilizaram-se pós metálicos de monel (70%Ni-30%Cu) atomizados a água e a ar em três faixas granulométricas. Os filtros foram conformados por vibração e compactados (200 a 400 MPa) e sinterizados em atmosfera redutora de H₂ a 1050°C.

Os filtros obtidos foram caracterizados e determinados os seguintes parâmetros: densidade, porosidade e permeabilidade. Os resultados são discutidos e analisados com relação ao processamento.

-
- (1) Trabalho apresentado no Seminário de Metalurgia do Pó da Associação Brasileira de Metais - ABM, 23 a 25 de outubro/1991, São Paulo.
- (2) Engenheira Química e Mestranda - IPEN/CNEN.
- (3) Membro da ABM, Engenheiro Metalurgista, M.E., Doutor em Engenharia Metalúrgica, Pesquisador IPEN/CNEN, Professor do Curso de Pós Graduação da EPUSP, Professor da FEI.

1- INTRODUÇÃO

Pela técnica de metalurgia do pó obtém-se vários produtos cujas propriedades e materiais empregados encontram-se numa ampla faixa. Nestes produtos estão incluídos os filtros feitos com pós metálicos e, entre eles, os fabricados com pós de monel. As ligas de níquel e cobre, com mais de 50% de níquel, como é o caso do monel, apresentam maior resistência à corrosão que o níquel puro e cobre puro sob condições redutoras e oxidantes, respectivamente, além da resistência mecânica até 550°C.

Os filtros de monel são utilizados nos mais diversos campos tecnológicos, tais como a separação de partículas sólidas dos fluidos líquidos e/ou gases corrosivos em temperaturas elevadas, nos setores químico, farmacêutico, nuclear e outros. O presente trabalho tenta analisar o comportamento de três tipos de pós de monel (70%Ni-30%Cu) para a fabricação de filtros metálicos.

Para filtros a porosidade total é menos importante que a quantidade de poros abertos. A porosidade fechada é indesejável, pois não contribui efetivamente para a filtração e com a sua existência faz-se necessário aumentar a área do filtro para uma mesma eficiência de filtração. Uma forma para evitar a porosidade fechada é que as partículas tenham o formato esférico e tamanho uniforme. As partículas do pó de formato irregular, também, tem vantagens de

processamento, mas possuem um efeito forte sobre a permeabilidade do filtro devido a :

- grande proporção de poros internos e fechados;
- o percurso através dos poros é bastante ramificado;
- rugosidade da superfície das partículas⁽¹⁾.

Estes três efeitos diminuem a permeabilidade e aumentam a perda de pressão.

Dentre as características de um filtro podem-se citar a capacidade de filtração, tamanho de poro e permeabilidade.

2- MATERIAIS E METODOS

Os três pós foram obtidos por atomização a água e a ar, no laboratório de metalurgia do pó da divisão de metalurgia do IPT (Instituto de Pesquisa Tecnológica). Eles são designados por A, B, e C. Estes pós de monel apresentam uma forma esférica, conforme mostra a Figura 1. Para a fabricação dos filtros metálicos, separaram-se os pós metálicos em faixas granulométricas apresentadas na Tabela I. Os pós A e B foram atomizados a água e o pó C a ar.

Fez-se a conformação dos pós sem pressão de compactação, em cadinho de grafita, e com pressão de compactação de 2, 3 e 4 ton/cm² (zero a 400 MPa). Utilizou-se aglomerante (etileno glicol), na proporção de 1% em peso. Sinterizou-se em atmosfera redutora de hidrogênio a temperatura de 1050°C. As dimensões dos filtros sinterizados

são 40,0 mm de diâmetro e cerca de 4,0 mm de espessura. Após a sinterização foram determinadas as densidades geométricas (d_g) apresentadas na Tabela II.

A fração volumétrica total da porosidade⁽²⁾ (E) é apresentada na Tabela III e foi determinada por:

$$E = 1 - (d_g/d_t) \quad (1)$$

onde:

d_t é a densidade teórica (g/cm^3), sendo que para o monel o valor é de 8,906 g/cm^3 .

A fração volumétrica de porosidade interconectada (E_i) foi determinada, através de:

$$E_i = E \times F_i \quad (2)$$

$$F_i = ((d_g - d_h)/(d_t - d_h)) \times (d_t/d_g) \quad (3)$$

onde:

F_i é a fração da porosidade total que é interconectada;

d_h é a densidade hidrostática do filtro.

Os resultados de E_i e F_i são apresentados na Tabela IV.

A permeabilidade dos filtros está associada à facilidade que um fluido apresenta na passagem através de uma camada porosa⁽³⁾. Para meios compressíveis, baixas vazões, em condições onde o número de Reynolds é pequeno (escoamento laminar)⁽⁴⁾, pode-se utilizar a equação da lei de D'ARCY⁽⁵⁾ dada por:

$$P/e = Q \times u/A \times K \quad (4)$$

onde:

P é a queda de pressão através da parede porosa ($dina/cm^2$);

e é a espessura da amostra (cm);

A é a área do filtro (cm^2);

Q é a vazão do fluido (cm^3/s);

μ é a viscosidade do fluido (Poise);

K é o coeficiente viscoso de permeabilidade (cm^2);

Esta equação permite, a determinação da queda de pressão (P) e da vazão de um fluido (Q) através do filtro, o cálculo do coeficiente viscoso de permeabilidade (K). Este coeficiente (K) é que fornece as características de permeabilidade do filtro⁽⁴⁾.

A permeabilidade das amostras foi determinada com fluxo de ar, cujos resultados estão apresentados na Tabela V. O valor de K é dependente dos poros interconectados, sendo o valor numérico de K dependente da estrutura permeável, isto é, quanto maior K mais permeável é a estrutura.

As amostras foram ensaiadas em aparelho especialmente construído para medir a perda de carga de um fluxo de ar sob pressão, o qual passa através do sinterizado, com vazão controlada. A Figura 2 mostra um esquema desse aparelho.

3- RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabelas II e III mostram que as densidades dependem do tamanho de partícula e da pressão de compactação. O aumento de pressão de compactação densifica o material, sendo grande a diferença entre os valores obtidos com

compactação e sem pressão. As porosidades para as mesmas condições são aproximadamente iguais para os pós B e C que tem distribuições granulométricas próximas, sendo maior para o pó A que é mais grosseiro.

A Tabela IV mostra que as frações da porosidade total interconectada (F_1) são diferentes para as três granulometrias estudadas e nas mesmas condições de pressão de compactação. No entanto, as frações volumétricas das porosidades interconectadas (E_1) são aproximadamente iguais e independentes do tamanho de partícula. A fração da porosidade total que é interconectada (F_1), foi previamente definida na equação 3. Valores de F_1 são traçados versus a fração volumétrica total da porosidade (E) na Figura 3.

Sinterização sem compactação fornece altos valores de F_1 como era de se esperar. A compactação aumenta a porosidade fechada mas mantém ainda um alto nível de porosidade aberta, desejável para os filtros.

Observou-se que a permeabilidade está relacionada com o tamanho de partícula, isto é, quanto maior a faixa granulométrica maior é a permeabilidade, e também, com a pressão de compactação, por exemplo, menor a pressão de compactação maior a permeabilidade. Assim, o pó A apresenta os maiores coeficientes de permeabilidade e o pó C apresenta valores menores do que o pó B, provavelmente devidos aos menores tamanhos de partículas.

Conforme apresentado na Figura 4 existe uma relação entre a fração volumétrica de porosidade interconectada (E_1)

e o coeficiente de permeabilidade (K). Fazendo-se um ajuste de curva para os pontos da figura chegou-se à relação como mostrado na equação:

$$E_1 = b \times K^{0,2} \quad (5)$$

Os valores da constante b são, respectivamente, 6,5, 20,5 e 28,9, para os pós A, B e C.

Estas curvas não coincidem devido aos outros parâmetros já citados, que influenciam tanto o coeficiente de permeabilidade como a fração volumétrica de porosidade interconectada.

4- CONCLUSÕES

1. A porosidade interconectada, que é importante para filtração apresentou altos valores em relação a porosidade total, ou seja acima de 82% (valor médio de 89,1%).
2. A permeabilidade é função da fração volumétrica de porosidade interconectada, do tamanho de partícula de pó utilizado e da pressão de compactação.
3. O coeficiente de permeabilidade (K) varia com a fração volumétrica de porosidade interconectada (E_1), segundo a seguinte equação $E_1 = b \times K^{0,2}$, sendo b uma constante que depende das outras variáveis.

5- BIBLIOGRAFIA

1. MULLER, L.A. - Powder Metallurgy International; vol. 14; No. 2; pp. 73-79; 1982.
2. SMITH, D.W.; BROWN, E.A. - "Characterization of controlled density P/M structures for filtration applications" - Progress in Powder Metallurgy, 1985, vol. 41, S. Francisco (California, USA), 14-17 jul, 1985.
3. GENTILE, E.F.; RAMOS JR.; J. DE OLIVEIRA; KANADA, K. e TAKANO, C. - "Permeabilidade de bronzes sinterizados para filtros". - Metalurgia (ABM), vol. 36, No 273, Ago. 1980, pp. 501-505.
4. Foust; Wenzel; Clump; Maus; Anderson. - "Princípios das Operações Unitárias" - pp. 562-566.
5. GEIGER, G.H. e POIRET, D.R. - "Transport phenomena in metallurgy" - pp 91-92; Addison - Wesley, Publ. Co., 1973.
6. Norma ISO - 4022 - 1987.

6- AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof. Dr. José Deodoro Trani Capocchi da EPUSP por suas críticas e sugestões que muito ajudaram no desenvolvimento deste.

Tabela I- Caracterização dos pós de monel.

	Tipo de pó					
	A		B		C	
Granulometria (μm)	-250	+105	-105	+74	-105	+62
Densidade aparente (g/cm^3)	3,70		3,74		3,73	

Tabela II- Densidade geométrica do sinterizado (d_g , g/cm^3).

Pressão de compactação (MPa)	Tipo de pó					
	A		B		C	
zero	4,26		4,49		4,31	
200	6,15		6,30		6,38	
300	6,51		6,62		6,77	
400	6,59		6,91		6,88	

Tabela III- Fração volumétrica total da porosidade (E).

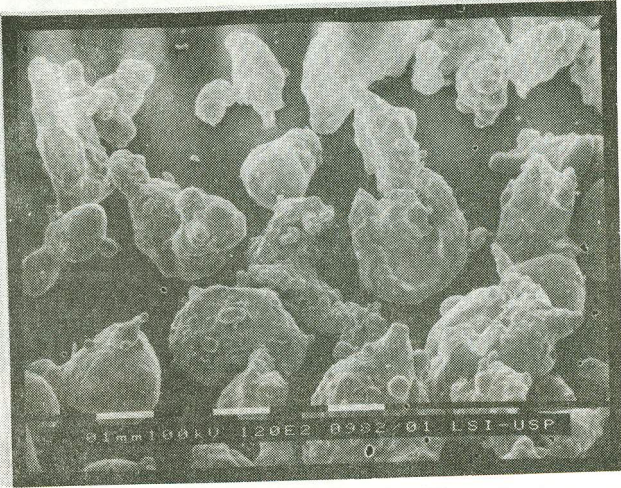
Pressão de compactação (MPa)	Tipo de pó					
	A		B		C	
zero	0,52		0,49		0,51	
200	0,31		0,27		0,28	
300	0,27		0,25		0,24	
400	0,26		0,22		0,23	

Tabela IV- Fração da porosidade total que é interconectada (F_1) e fração volumétrica de porosidade interconectada (E_1) respectivamente.

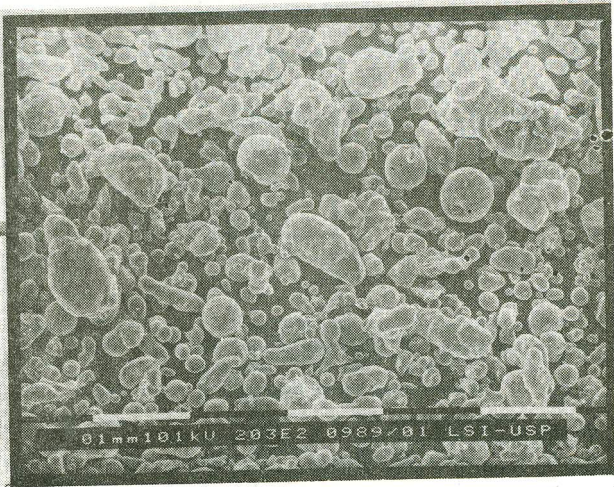
Pressão de compactação (MPa)	Tipo de pó		
	A	B	C
zero	0,93 / 0,48	0,96 / 0,47	0,96 / 0,49
200	0,87 / 0,26	0,94 / 0,25	0,85 / 0,24
300	0,86 / 0,23	0,92 / 0,23	0,86 / 0,20
400	0,84 / 0,22	0,88 / 0,19	0,82 / 0,18

Tabela V- Permeabilidade viscosa (K) x (E-8 cm²)

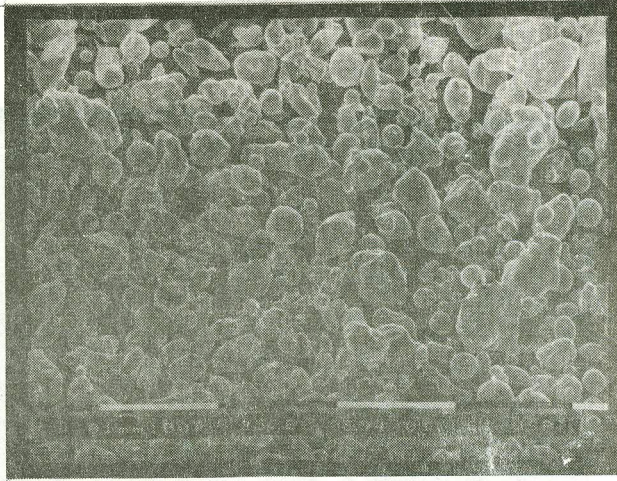
Pressão de compactação (MPa)	Tipo de pó		
	A	B	C
zero	304,4	44,5	38,2
200	39,0	4,1	2,9
300	18,6	2,5	1,5
400	6,3	1,4	1,0



(a)



(b)



(c)

Figura 1 - MEV dos pós de monel: (a) Pó A, (b) Pó B e (c) Pó C.

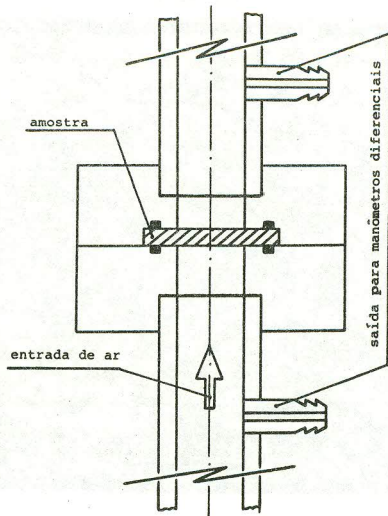


Figura 2 - Desenho esquemático do aparelho construído para determinação de perdas de carga, através dos sinterizados, de um fluxo de ar, para diversas vazões.

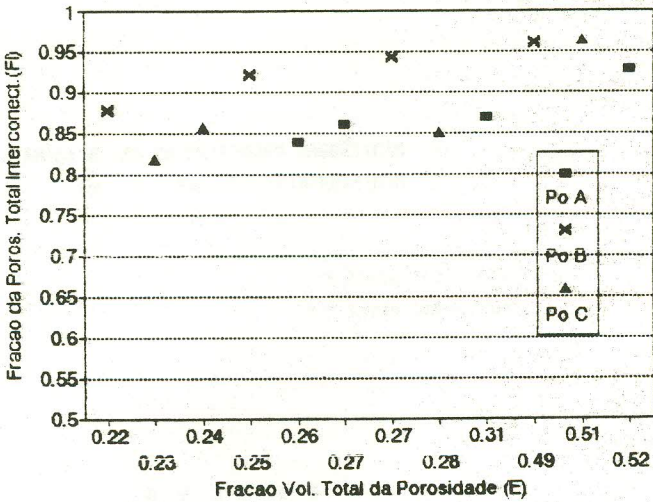


Figura 3 - Fração da porosidade total interconectada (F_i) em função da fração volumétrica total da porosidade (E)

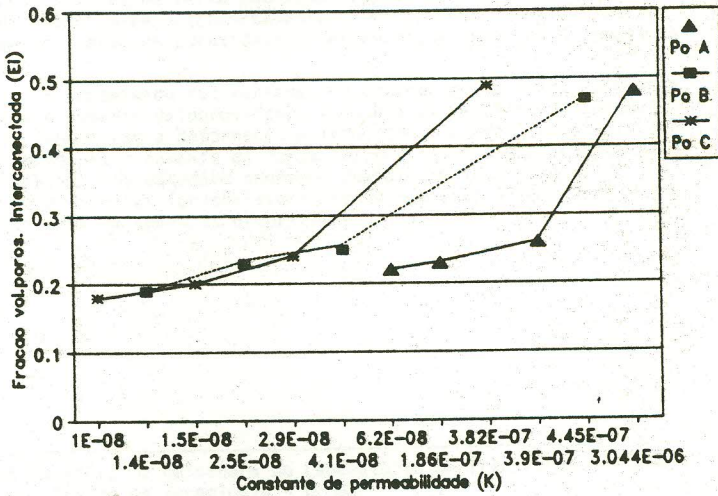


Figura 4 - Fração volumétrica de porosidade interconectada (E_i) em função da constante de permeabilidade (K).