

PERMEABILIDADE E CAPACIDADE DE RETENÇÃO EM FILTROS POROSOS

LUZINETE PEREIRA BARBOSA⁽¹⁾

FRANCISCO AMBRÓZIO FILHO⁽²⁾

(1) Pesquisadora do IPEN-CNEN/SP - Membro da ABM

(2) Doutor em Engenharia - Pesquisador do IPEN-CNEN/SP - Membro da ABM

RESUMO

A importância na seleção de um filtro metálico, esta na sua permeabilidade e capacidade de retenção. Estas características dependem da estrutura porosa e do processamento utilizado para obtenção do filtro. Determina-se a permeabilidade medindo-se a queda de pressão e o fluxo volumétrico durante a passagem de um fluido teste, obtendo-se desta forma os coeficientes de permeabilidade α (coeficiente de permeabilidade viscosa e β (coeficiente de permeabilidade inercial). A capacidade de retenção pode ser determinada pela passagem de partículas de tamanho conhecidos, através do filtro. A eficiência é obtida medindo-se a distribuição das partículas antes e após a filtração. Os valores dos coeficientes de permeabilidade e eficiência de filtração foram determinados pelos métodos acima descritos.

INTRODUÇÃO

Características importantes na seleção de um filtro metálico para separação de sólidos de um fluido, são a sua capacidade de retenção e sua permeabilidade. Assim deseja-se normalmente um filtro capaz de reter partículas sólidas maiores que um determinado tamanho, sem que ocorra grandes perdas de carga na passagem do fluido, ou seja, a permeabilidade à passagem do fluido. Estes dois parâmetros dependem da porosidade interconectada (aberta) em contato com o meio externo.

Os poros interconectados são canais por onde deverá passar o fluido e onde será retido as partículas sólidas. Quanto menor a secção transversal dos poros interconectados, menor o tamanho de partícula retido e permeabilidade do filtro. Existe normalmente uma distribuição de tamanho de poros associado a esta variação da secção transversal da porosidade.

94(22-22)

A capacidade de retenção do filtro pode ser determinada diretamente pela passagem de partículas de tamanho conhecido, através do filtro (1,2). Pode-se também avaliar indiretamente a capacidade de retenção, através da distribuição do tamanho da porosidade e do tamanho máximo de poro pelo teste de bolha (1,3).

A permeabilidade é determinada medindo-se a queda de pressão e o fluxo volumétrico durante a passagem de um fluido teste, com densidade e viscosidade conhecidas (4). Neste trabalho as medidas para estes parâmetros foram feitas em filtros de aço inoxidável AISI 316 L, que são utilizados em filtração à altas temperaturas e que necessitam alta resistência à corrosão.

TÉCNICAS DE MEDIDA

A fração volumétrica total de porosidade do filtro (ϵ) é determinada por:

$$\epsilon = 1 - (\rho_s / \rho_l) \quad (1)$$

onde ρ_s é a densidade do filtro sinterizado (densidade geométrica) e ρ_l é a densidade real do material utilizado na fabricação. A densidade do sinterizado (ρ_s) pode ser calculada pela medida das dimensões externas e determinação da massa do material, ou então por um método de variação volumétrica utilizando um fluido que não penetre nos poros (5,6).

A fração volumétrica da porosidade interconectada (ϵ_i) é determinada através das densidades sinterizadas e hidrostática (7):

$$\epsilon_i = \epsilon \cdot F_i \quad (2)$$

$$F_i = [(\rho_h - \rho_s) / (\rho_l - \rho_s)] \cdot (\rho_l / \rho_h) \quad (3)$$

onde ρ_h é a densidade hidrostática e F_i = Fração da porosidade que é interconectada.

Para a determinação da densidade hidrostática deve-se utilizar um líquido que não penetre nos poros interconectados (6). A porosimetria de mercúrio é uma técnica que fornece a distribuição da porosidade interconectada. Monitorou-se esta porosidade, pelo volume de mercúrio absorvido pelos poros, medido como uma função da pressão aplicada ao mercúrio. O tamanho de poro, assumindo-se uma secção transversal cilíndrica é obtido pela equação de Washburn (7,8).

$$D = -4 \gamma \cos \theta / p \quad (4)$$

onde: D = diâmetro do poro (cm)

γ = tensão superficial do Hg (dinas/cm)

θ = ângulo de contato entre Hg e o material

p = pressão de intrusão (dina/cm²)

Utilizando-se esta técnica, pode-se estimar a distribuição dos poros e o tamanho médio de poro, baseado na pressão requerida para a intrusão de 50% do volume da porosidade. O ângulo de contato de 130° é considerado como válido para mercúrio em contato com uma ampla faixa de substâncias sólidas (8).

O ensaio para determinação do tamanho de poros "bubble point" é uma verificação simples do tamanho da porosidade e é aplicado utilizando-se o elemento filtrante inteiro. O filtro é totalmente recoberto por um

líquido como por exemplo o álcool. De um lado é introduzido ar e com o aumento da pressão o líquido é gradualmente calcado através dos poros fig. 1. A pressão para o aparecimento da primeira bolha é fornecido pela tensão superficial do líquido que esta em equilíbrio com a pressão e é determinada pela equação 4 apresentada anteriormente.

Se for utilizado o álcool como líquido teste, pode-se ignorar o ângulo de molhamento. Neste caso fazendo-se as devidas conversões de unidades, a equação 4 torna-se

$$D_{\mu m} = 30 \gamma / p_{mm \text{ Hg}} \quad (5)$$

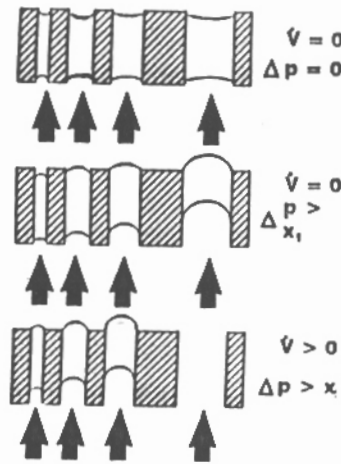


Fig 1- Esquema do teste de tamanho máximo de poro "bubble point."(2).

A capacidade de filtração pode ser determinada pelo índice denominado de eficiência de filtração. Passa-se uma suspensão com partículas sólidas, com distribuição de tamanho de partícula conhecido, através do filtro, sendo que uma fração destas partículas será retidas. No esquema a seguir pode-se visualizar o princípio de capacidade de filtração.

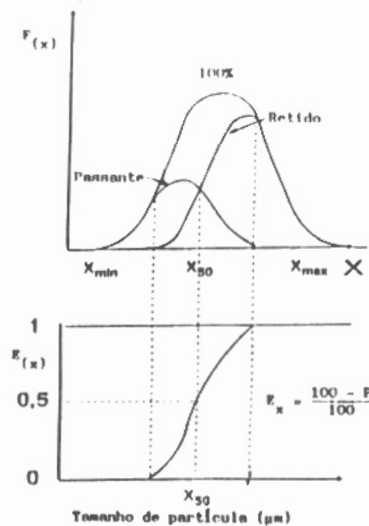


Fig.2- Esquema do princípio da capacidade de retenção(2).

A curva 100 % é a distribuição de tamanho de partícula da suspensão de partida, a curva à esquerda é a distribuição da fração passante e a curva à direita é a distribuição da fração retida (2). No ponto onde a distribuição da fração passante e a de partida são iguais, a eficiência é zero e onde a distribuição da fração retida é igual a distribuição da suspensão de partida, a eficiência é um. Pode-se neste caso mencionar a eficiência em porcentagem. Então neste caso, quando a eficiência é de 100 % tem-se garantia de que para as partículas acima deste tamanho serão todas retidas. Define-se assim o grau de eficiência para um determinado tamanho de partícula, a relação entre a quantidade retida e a quantidade existente na suspensão de partida para este tamanho de partícula. Pode-se portanto medir, para determinar o grau de eficiência, a distribuição de tamanho de partículas da suspensão de partida e a distribuição de tamanho das partículas retidas ou passantes.

A permeabilidade é determinada pela medida do escoamento de um gás através de um filtro quando submetido a uma diferença de pressão. A queda de pressão para uma dada taxa de fluxo, é uma função do tamanho de poro e do número de poros (porosidade) da área permeável (2,4). A descrição clássica da passagem de um fluido através de um sólido poroso é dada pela Lei de Darcy (9).

$$\Delta P/L = Q\eta / A \alpha \quad (6)$$

onde: ΔP = queda de pressão

L = espessura do material (cm)

Q = taxa de escoamento do fluido (cm³/s)

η = viscosidade do fluido (poise)

A = área da secção transversal (cm²)

α = coeficiente de permeabilidade (cm²)

$Q/A = v$ (velocidade, cm/s)

Esta equação é válida para baixas velocidades de escoamento e pressões moderadas, que é a região de fluxo laminar.

Devido à complexidade da geometria dos poros do metal sinterizado, a forma da equação 6 normalmente não é satisfatória. Para altas pressões a trajetória irregular do fluxo causa perda de energia para o gás. Estas perdas são chamadas de efeitos inerciais. Desta forma temos a inclusão de uma energia inercial modificando o termo anteriormente dado,

$$\Delta P/P_o = t\mu V/\alpha + t \rho_g v^2/\beta \quad (7)$$

onde β é o coeficiente inercial (m)

ρ_g = densidade do gás (kg/cm³)

P_o = pressão atmosférica

v = velocidade superficial do gás.

O coeficiente de permeabilidade aumenta com o tamanho de poro ou alternativamente com a quantidade da porosidade (10).

A seguir pode-se observar esquema para medida de permeabilidade fig.3.

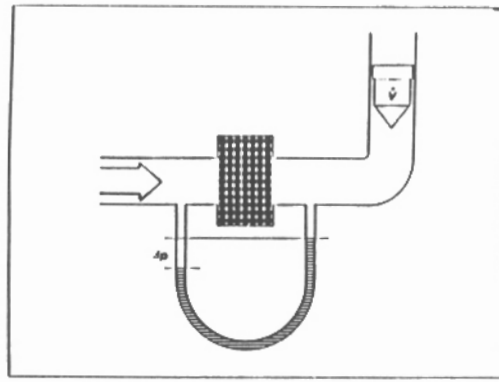


Fig.3 - Esquema do princípio utilizado para medidas de permeabilidade⁽²⁾.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O material utilizado na obtenção dos filtros foi o aço inoxidável AISI 316L atomizado a água. A faixa granulométrica utilizada foi de 210-105 μm . Uma micrografia eletrônica de varredura do pó é mostrada na figura 4.

O processamento do pó foi feito com adição de 3% em peso de polietilenoglicol como aglomerante. A compactação foi feita em prensa uniaxial, em matriz cilíndrica de 40 mm de diâmetro. Os filtros obtidos têm 2 mm de altura aproximadamente.

As porosidades (ϵ , ϵ_i) foram determinadas através de medidas de densidade geométrica e hidrostática. Para a medida da densidade geométrica, mediu-se das dimensões externas e para a densidade hidrostática utilizou-se água para o preenchimento dos poros. A densidade teórica usada para esta determinação foi 7,96 g/cm^3 ⁽⁶⁾.

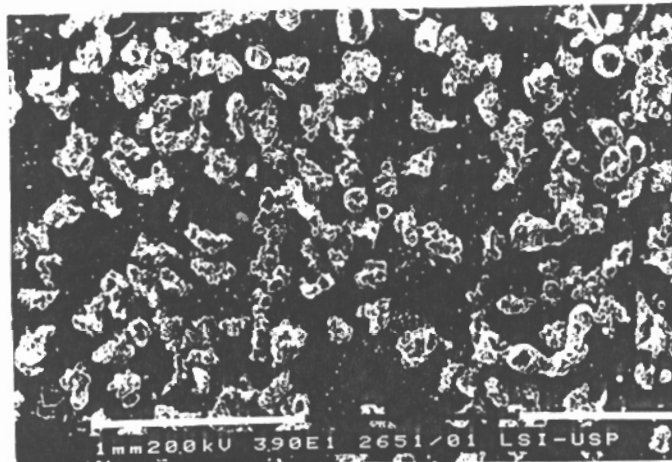


Fig.4- Fração granulométrica utilizada na confecção dos filtros.

A porosimetria de mercúrio foi efetuada utilizando-se porosímetro AutoPore II da Micromeritics, utilizando a equação 4. O ângulo de contato entre o mercúrio e o aço inoxidável 316L foi de 130° embora Smith tenha utilizado o valor de 140° ⁽⁶⁾. Determinou-se por esta técnica o diâmetro médio com 50 % de intrusão de mercúrio.

O diâmetro máximo de poro foi determinado segundo a norma ASTM B-128-89 utilizando a equação 5. O líquido teste foi o álcool, cuja tensão superficial (γ) para o aço inoxidável 316L é 22 dinas/cm² a 20°C.

Para as medidas de eficiência de filtragem, empregou-se uma suspensão de SiC com distribuição de tamanho de partículas variando de 2 a 40 μm . A massa para a suspensão foi pré estabelecida. A análise do filtrado foi feita em equipamento Malvern Instruments.

A permeabilidade foi determinada utilizando-se a variação de fluxo com a variação de pressão, empregando-se a equação 7.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos para densidade, porosidade, permeabilidade, tamanho máximo e médio de poros dos filtros sinterizados são mostrados na tabela I.

Tabela I- Dados obtidos para densidades, porosidade, tamanho de poros e permeabilidade

P _{comp} (MPa)	P _{verde} (g/cm ³)	P _{sint} (g/cm ³)	P _{hidro} (g/cm ³)	ϵ	F _i	ϵ_i	$\Phi_{\text{máx}}$ (μm) mm H ₂ O	$\Phi_{\text{médio}}$ (μm) mm Hg	α_i (m ²)	β (m)
150	4,87	4,93	7,40	0,38	0,82	0,31	63,0	23,3	4,38	23,8
200	5,14	5,17	7,29	0,35	0,82	0,28	49,6	19,2	1,69	9,2
300	5,58	5,54	7,38	0,30	0,82	0,24	21,2	12,8	1,09	5,5

ϵ = porosidade total; F_i = fração da porosidade que é interconectada; ϵ_i = porosidade interconectada

O tamanho máximo de poro, não indica necessariamente as dimensões físicas do poro no filtro, visto que os poros têm forma altamente irregular. Com esta forma irregular os filtros podem reter todas as partículas maiores que o diâmetro máximo de poro, bem como reter partículas menores que o diâmetro determinado.

Na figura 5 podemos observar a distribuição da porosidade do filtro sinterizado.

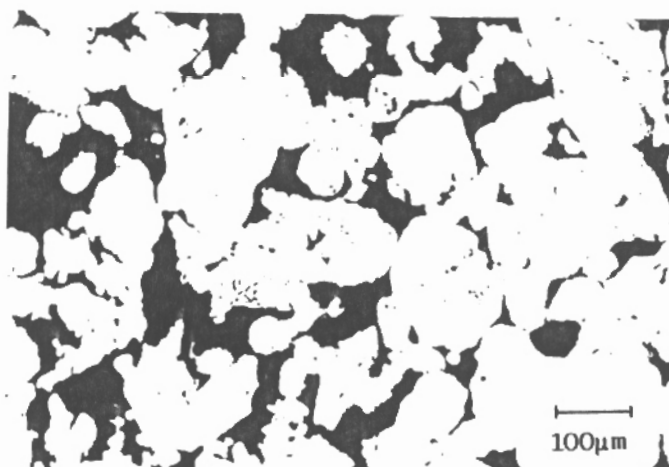
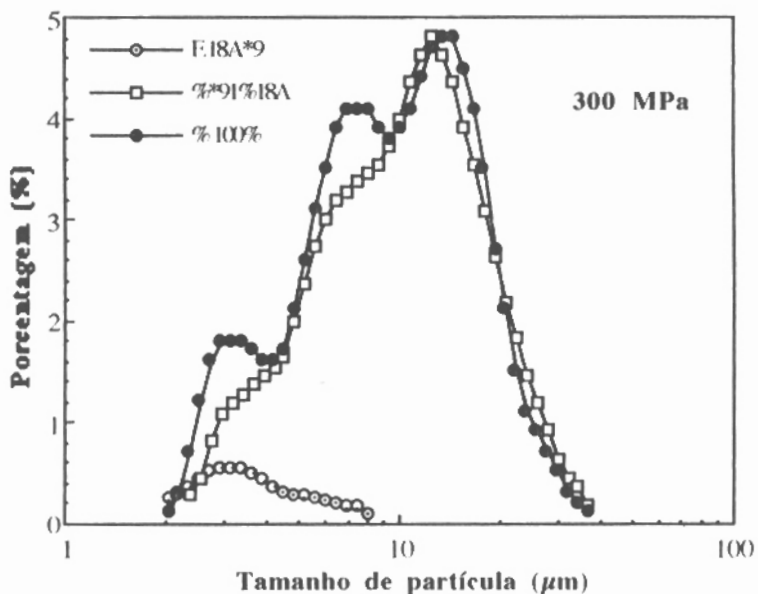


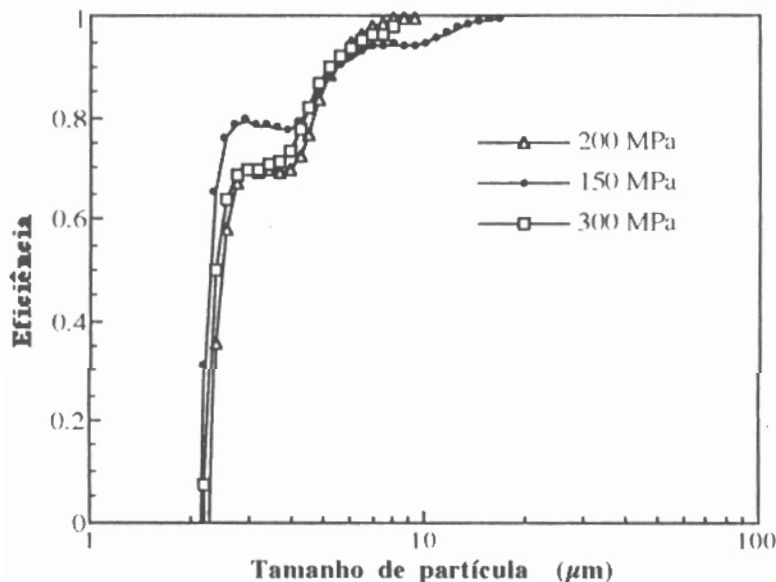
Fig.5- Distribuição da porosidade $E_i=0,28$

A porosidade interconectada ϵ_i é a porosidade efetiva na filtração. Portanto, esta deve estar próxima da porosidade total ϵ e desta forma tem-se F_i próximo de 1. Neste trabalho F_i está acima de 0,80. Os valores de F_i diminuem com o aumento da pressão de compactação (11). Então deve-se confeccionar os filtros utilizando baixas pressões de compactação para a obtenção de altos valores de F_i .

O tamanho máximo de poro e o tamanho médio de poro, que utilizam o mesmo princípio básico, fornece diâmetros diferentes. Da mesma forma que a porosidade, a tendência para os dois casos é uma diminuição com a pressão de compactação.



(a)



(b)

Fig.6 -Eficiência de filtração (a) detalhe do corte para 300 MPa
(b) Eficiência para as tres pressões de compactação.

O mesmo efeito pode ser esperado em relação aos coeficientes de permeabilidade, ou seja, a permeabilidade deve diminuir com a pressão de compactação, o que foi confirmado pelos resultados (tabela 1). A permeabilidade também é influenciada pela forma e tamanho do poro, que dependem do tamanho de partícula do pó utilizado na confecção do filtro, e das variáveis de processamento.

A eficiência de filtração para os filtros sinterizados, pode ser observada na figura 6 na página anterior, onde tem-se a distribuição de tamanho de partícula da suspensão de partida. Observa-se um corte preciso para partículas de $16,7 \mu\text{m}$, $9,31 \mu\text{m}$ e $8,05 \mu\text{m}$ para cada pressão de compactação. Há uma diminuição com a pressão de compactação mas esta diferença, como pode ser observado, é muito pequena. Esperava-se uma diferença significativa tendo em vista os resultados obtidos para os diâmetros de poros e coeficientes de permeabilidade.

Tem-se desta maneira, que o tamanho máximo de partícula que passou pelo filtro tem uma variação 3 a 5 vezes menor que o diâmetro máximo de poro obtido pelo método de bolha, o que está bastante próximo dos resultados encontrados na literatura (8). Há uma maior proximidade entre o diâmetro médio de poro medido por porosimetria de mercúrio e o tamanho máximo de partícula que passou pelo filtro ou seja, a relação entre eles varia de 1,5 a 2.

CONCLUSÕES

Os coeficientes de permeabilidade e a capacidade de retenção dos filtros dependem da técnica de processamento utilizada. Maiores pressões de compactação diminuem a permeabilidade e a capacidade de retenção do filtro.

O tamanho de partícula real retida pelo filtro pode ser determinado utilizando-se uma suspensão de partículas sólidas com distribuição granulométrica conhecida. Outros métodos de determinação da capacidade de retenção podem ser usados apenas como uma estimativa do tamanho de partícula retida. O ensaio que fornece valores mais próximos da relação entre o tamanho de poro e o tamanho de partícula retida é o de porosimetria de mercúrio.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à MPS produtos sinterizados Ltda, à Carborundun S.A., ao Dr. Jesualdo L. Rossi e à Dra. Isolda Costa pela valiosa colaboração sem a qual este trabalho seria inviável.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Morgan, V.T.; Symposium on Powder Metallurgy 1954 (81-89)
- (2) Neumann, P.; Arnhold, V. - Methods for the Characterization of High Porous Metal System. A ser publicado
- (3) ASTM Designation E 128-89
- (4) German, R. M. - The International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology V.15 (1) 1979 23-30

- (5) Khan , M.H. - The International Journal of Powder Metallurgy and Powder Technology and Powder Technology -V.15 (4) 1979 271-276
- (6) Pratten, N.A. - Journal of Materials Science 16 (1981) 1737-1747
- (7) Smith, D.W. ; Brown, E.A.; Smugeresky, J.E. ;McCabe, T.J. Prog.Powder Metall.,41: 653-667 1985
- (8) Metals Handbook - Powder Metallurgy 9 ed. V.7 p 266-269-696-697 Metal Park OH 1984
- (9) Hirschhorn, J.S. - Introduction to Powder Metallurgy . American Powder Metallurgy Institute Princeton, NJ p 250-251
- (10) German, R.M. - Powder Technology 30 (1981) 81-86
- (11) Ambrózio, F.F.Powder Metallurgy Congress P/M 92 São Francisco Junho 1992, 21-26