

## Engenharia e Ciência dos Materiais II (SMM 0194)

### Roteiro de aula prática III: Caracterização de corpos cerâmicos sinterizados: retração linear, densidade aparente, porosidade aparente, absorção de água.

Autora: Profa. Dra. Vera Lúcia Arantes

#### 1) Introdução:

As propriedades de peças cerâmicas como, por exemplo, o módulo de elasticidade, tensão de ruptura em ensaios de flexão em 3 pontos e condutividade elétrica, sofrem uma grande influência da porosidade.

Considere uma estrutura contendo poros. Ela é constituída por uma fração sólida, composta por uma ou várias fases e por de espaços vazios, os poros. Estes poros podem ou não estar em contato com a superfície do material. Isto é importante, pois poros conectados com a superfície são condutores de material entre o interior e o exterior da estrutura. Por exemplo, umidade pode ser conduzida para o interior da estrutura e dissolver a fase sólida. Poros conectados à superfície (chamados de poros abertos) são mais prejudiciais à resistência mecânica, visto que muitas fraturas têm início em defeitos superficiais. Poros não conectados com a superfície são denominados fechados, mesmo que eles sejam conectados internamente. Poros fechados podem ser causados pelo fechamento de poros abertos, devido à evolução da sinterização, ou podem ser causados pela evolução de gases aprisionados dentro da estrutura da peça cerâmica. Estes últimos tendem a assumir forma esférica.

No decorrer da sinterização, a fração volumétrica da porosidade diminui gradativamente e certas conexões entre poros podem desaparecer. Os poros sofrem um processo de isolamento e a conexão com o exterior tende a desaparecer. Os últimos poros da estrutura são fechados, ou seja, uma estrutura que não aparenta possuir poros na superfície pode possuir uma quantidade significativa de poros fechados.

O volume total da estrutura é a soma dos volumes do sólido, dos poros abertos e dos poros fechados.

$$V = V_S + V_{PA} + V_{PF} \quad (1)$$

onde  $V_S$  é o volume da fase sólida,  $V_{PA}$  é o volume dos poros abertos e  $V_{PF}$  é o volume dos poros fechados. A Figura a seguir ilustra uma estrutura na qual são vistas a fase sólida e as porosidades aberta e fechada.

■ Contorno da amostra e dos poros  
■ Amostra e poros abertos e fechados

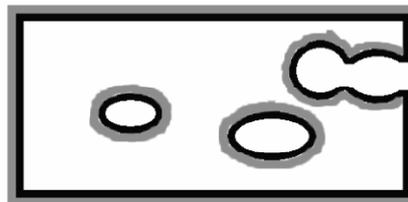


Figura 1 – Esquema dos diferentes tipos de poros em peças cerâmicas

Devido a sua importância para alguns produtos cerâmicos, a determinação da porosidade é fundamental, assim como o conhecimento de parâmetros associados: absorção de água (AA), porosidade aparente (PA) e densidade aparente (DA). Além disso, a evolução da porosidade e densificação, fenômenos que ocorrem durante a sinterização, causam uma variação contínua das dimensões dos corpos cerâmicos e peças metálicas obtidas pela técnica de metalurgia do pó.

As propriedades a serem determinadas nessa prática são empregadas na avaliação e controle de qualidade de diversos produtos cerâmicos, incluindo produtos refratários para uso em altas temperaturas, sendo importantes variáveis de projeto no desenvolvimento de novos produtos e do processo de fabricação.

#### 2) Determinação de propriedades físicas de peças cerâmicas:

O objetivo dessa prática é verificar a influência da temperatura de sinterização nas propriedades físicas de amostras de Taguá prensado: retração linear, porosidade aparente, absorção de água e densidade aparente. Essas propriedades devem ser relacionadas com os valores de tensão de ruptura determinados para cada conjunto de amostras sinterizadas em diferentes temperaturas de sinterização.

O método a ser utilizado é conhecido como *Método de Arquimedes*. Inicialmente, as amostras devem ser cuidadosamente identificadas e pesadas a seco ( $M_S$  = massa seca, em gramas). Em seguida, as amostras serão imersas em água fervente por um período de tempo de 1 hora. Após esse período, utilizando uma tenaz, cada amostra deve ser retirada da água e pesada imersa em água ( $M_I$  = massa

imersa, em gramas). *Atenção: muito cuidado para que a amostra não perca massa durante a transferência, por exemplo, com quebra de cantos ou desgaste.* Com uma flanela ou papel-toalha úmido, remova o excesso de água superficial das amostras, pesando-as novamente ( $M_U$  = massa úmida, em gramas).

A seguir, vêm descritas as propriedades a serem determinadas nessa prática.

Identificação da amostra	$T_{\text{Sinterização}} (^{\circ}\text{C})$	$M_S$ (g)	$M_I$ (g)	$M_U$ (g)	AA (%)	PA (%)	DA ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

### 2.1) Absorção de água (AA, %massa):

Quando em contato com líquidos, a estrutura tende a absorvê-los devido às forças de capilaridade. A absorção de água é definida como o ganho percentual de massa que tem a amostra, quando absorve o máximo de água. Sua determinação é feita medindo-se a massa da amostra seca ( $M_S$ ) e em seguida mergulhando-a em água por certo tempo. Neste período, a água inunda os poros abertos. A amostra é então retirada e o excesso de água em sua superfície é seco por pano úmido. Supõe-se que toda a água nos poros abertos ainda permaneça lá.

A absorção de água exprime a relação entre a massa de líquido absorvida pelo corpo-de-prova saturado de líquido e a massa do corpo de prova seco:

$$\text{AA (\%massa)} = 100\% \times (M_U - M_S) / M_S \quad (2)$$

### 2.2) Porosidade aparente (PA, %volume)

É a relação entre o volume de poros acessíveis ao fluido de imersão e o volume total da estrutura

$$\text{PA (\%volume)} = 100\% \times (M_U - M_S) / (M_U - M_I) \quad (3)$$

### 2.3) Densidade aparente (DA, $\text{g}/\text{cm}^3$ )

A densidade aparente pode ser calculada pela razão entre a massa total da estrutura porosa (massa de sólidos + massa de poros) e seu volume total (volume de sólidos + volume de poros). Considerando-se que a massa dos poros é desprezível:

$$\text{DA (\%massa)} = M_S \times \rho_{\text{Água}} / (M_U - M_I) \quad (4)$$

Onde  $\rho_{\text{Água}}$  é a densidade do fluido de imersão (em  $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

### 2.4) Retração linear após a queima (RL, %)

A retração de queima das peças cerâmicas é calculada pela diferença entre as medidas da peça verde ( $L_{\text{Inicial}}$ ) e da peça queimada ( $L_{\text{Final}}$ ), como mostra a seguinte expressão:

$$\text{RL (\%)} = 100\% \times (L_{\text{Inicial}} - L_{\text{Final}}) / L_{\text{Inicial}}$$

No laboratório, cada grupo deverá ser responsável pelas medidas de peso seco, peso imerso e peso úmido de 1 ou 2 amostras de taguá sinterizadas em 1 determinada temperatura: 800°C, 900°C e 1000°C. A partir dos resultados obtidos para as amostras de todos os grupos das 9 turmas, deverão ser calculados os valores médios e respectivos valores de desvio-padrão dos parâmetros: retração linear (valores já medidos), absorção de água, porosidade aparente e densidade aparente, para cada temperatura de sinterização. Esses valores deverão ser relacionados com a temperatura de queima e valores de tensão de ruptura previamente determinados, em aula anterior.

**3) Referência:** Norma ASTM C20 – 00 (Reapproved 2010), Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water.