

Introdução

Materiais cerâmicos são raramente testados em ensaios de tração pura. Isso ocorre, pois é muito difícil preparar corpos de prova cerâmicos confiáveis para esse tipo de teste, cujos resultados sejam independentes do processo de fabricação do próprio corpo de prova, ou da forma como o mesmo é preso à máquina de ensaio (o mesmo pode fraturar onde é preso no dispositivo de tração). Isso se deve à baixa tenacidade à fratura típica desses materiais.

Pela simplicidade tanto do formato dos corpos de prova (barras ou cilindros de seção transversal uniforme) como da realização do ensaio em si, ensaios de flexão são os mais populares para materiais cerâmicos em geral. O ensaio consiste em aplicar uma carga crescente a um corpo de prova de acordo com a Figura 2, até a fratura.

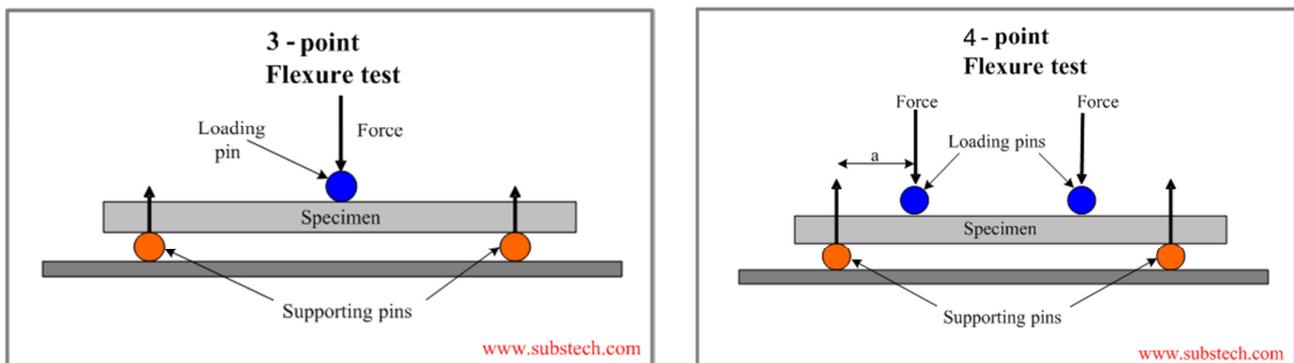


Figura 1: Esquema de carregamento em três e quatro pontos para a determinação do comportamento de tensão-deformação e da resistência à flexão de cerâmicas frágeis.

Para o caso de uma carga (F) aplicada em flexão 3-pontos em um corpo de prova de seção transversal retangular, cujo comprimento útil (a distância entre apoios, L) deve ser substancialmente maior que a largura (b) e a espessura (h), a tensão máxima de ruptura, também chamada Módulo de Ruptura (MOR – da sigla em inglês), ocorre quando uma carga máxima ($F_{m\acute{a}x}$) rompe o material, a qual é calculada de acordo com a seguinte expressão:

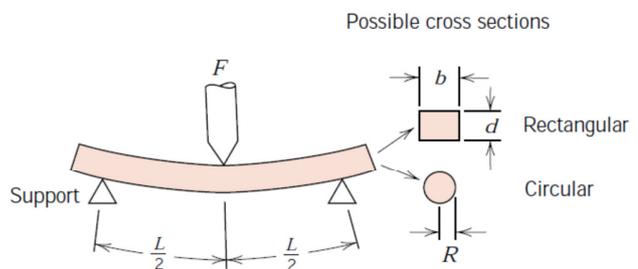
$$\sigma_f = \frac{3F_{m\acute{a}x} \cdot L}{2b \cdot d^2} \quad (1)$$

Os detalhes da derivação da expressão acima e da expressão para a flexão 4-pontos são deixados como tarefa para o estudante curioso. Podem ser encontrados descritos com clareza na literatura [1]. Informações adicionais são dadas na Figura 2.

Roteiro Experimental

- 1- Serão ensaiados 3 corpos de prova cerâmicos de uma composição de porcelana, cujas matérias-primas foram previamente pesadas, misturadas e prensadas na forma de barras, que por sua vez foram secas e queimadas em diferentes temperaturas: 1050, 1100 e 1150°C;
- 2- Anotar para o relatório os dados informados de processamento dos materiais (composição, detalhes do processo de fabricação, etc.)
- 3- Medir a espessura e a largura dos corpos de prova. O comprimento L é determinado pela distância entre apoios no dispositivo de ensaio em flexão 3-pontos;
- 4- Realizar os ensaios de acordo com as recomendações durante a Aula; anote todos os dados do ensaio para o relatório: modelo e fabricante da máquina de ensaios, velocidade do atuador, etc.;
- 5- Após a fratura, anote o valor da carga máxima alcançada para cada corpo de prova;

Figura 2: Esquema de carregamento para a determinação do comportamento de tensão-deformação e da resistência à flexão de cerâmicas frágeis, incluindo expressões para o cálculo da tensão para seções transversais retangulares e circulares.



$$\sigma = \text{stress} = \frac{Mc}{I}$$

where M = maximum bending moment

c = distance from center of specimen to outer fibers

I = moment of inertia of cross section

F = applied load

	$\frac{M}{F}$	$\frac{c}{d}$	$\frac{I}{bd^3}$	$\frac{\sigma}{\frac{FL}{2bd^2}}$
Rectangular	$\frac{FL}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Circular	$\frac{FL}{4}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$

Para o relatório

- 1- Apresente uma Introdução sucinta, mencionando os objetivos da prática, motivação, etc.
- 2- Faça uma descrição do Procedimento Experimental, desde o procedimento de preparo dos corpos de prova, prensagem, procedimento de queima, até o ensaio mecânico realizado;
- 3- Apresente os dados relativos às dimensões dos corpos de prova, cargas na fratura e tensões calculadas na forma de tabela;
- 4- Apresente em um mesmo gráfico as curvas de tensão versus deformação, uma para cada temperatura de queima. Os valores de tensão (Eq. 1 acima) e deformação deverão ser calculados a partir dos dados fornecidos de carga versus deslocamento. Procure na literatura a fórmula para o cálculo da deformação em flexão 3-pontos. Utilize os dados fornecidos para a sua turma específica;
- 5- Faça um gráfico da tensão de fratura versus temperatura de queima, com os dados plotados;
- 6- Calcule as tensões médias e um intervalo de confiança com 95% de probabilidade para cada temperatura, de acordo com as equações abaixo (expresse os resultados na forma de tabela):

$$\bar{\sigma}_f = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n} \quad (2)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma}_f)^2}{n-1}} \quad (3)$$

$$E = \frac{s}{\sqrt{n}} t_{95\%,n-1} \quad (4)$$

onde

$\bar{\sigma}_f$ = tensão média

σ_i = valor da medida i

n = número de medidas

s = desvio padrão

E = erro da média

$t_{95\%,n-1}$ = valor da distribuição t de Student com 95% de confiança e (n - 1) graus de liberdade

Os valores médios e erros devem ser expressos da seguinte maneira: $\bar{\sigma}_f \pm E$

Uma tabela para a distribuição t de Student (bicaudal) pode ser encontrada em:

http://pt.wikipedia.org/wiki/Distribui%C3%A7%C3%A3o_t_de_Student

7- Faça outro gráfico com as tensões médias e as barras de erro (o intervalo de confiança calculado) em função da temperatura.

Bibliografia

1. J.B. Wachtman, W. Roger Cannon, M. John Matthewson, Mechanical Properties of Ceramics, 2a. Edição, Wiley, 2009, p. 95-101.
2. T. Rouxel, Mechanical Properties of Ceramics, In: Ceramic Materials Processes, Properties and Applications, editado por P. Boch e J.C. Nilpce, editora ISTE, Londres, 2007, capítulo 8, p. 275-278.
3. C. Barry Carter, M. Grant Norton, Ceramic Materials Science and Engineering, Springer, 2007, p. 297-306.
4. ASTM 674-88 (Reaprovada em 2006), Standard Test Methods for Flexural properties of Ceramic Whiteware Materials, número de páginas: 4.