

Materiais Cerâmicos

Propriedades Mecânicas

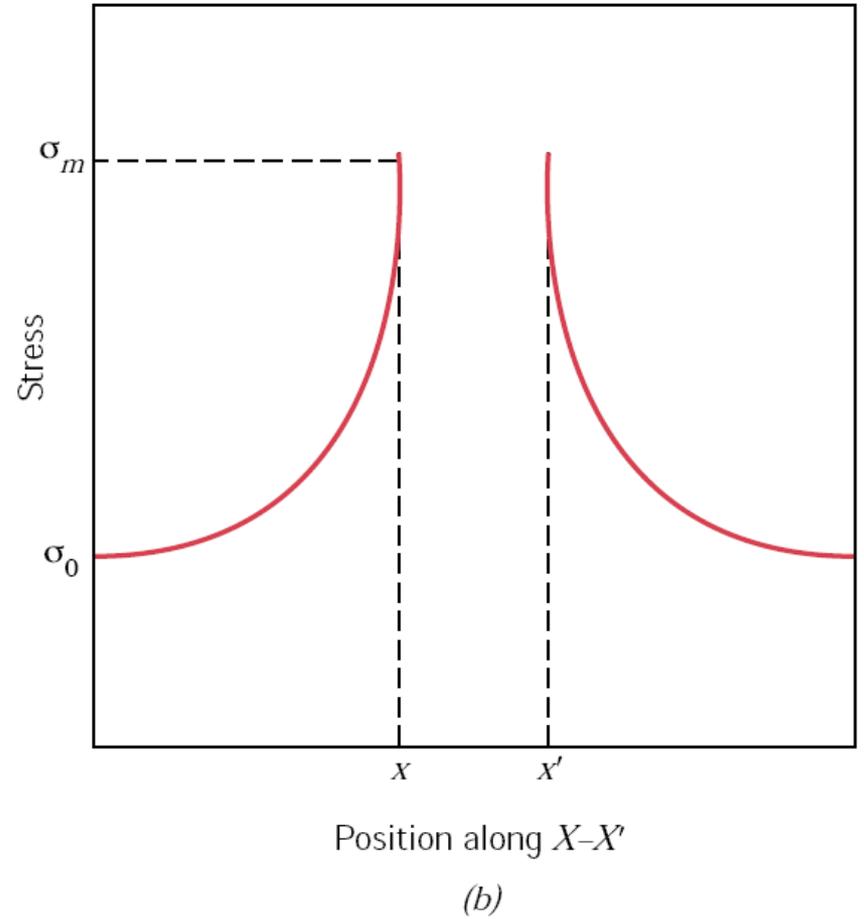
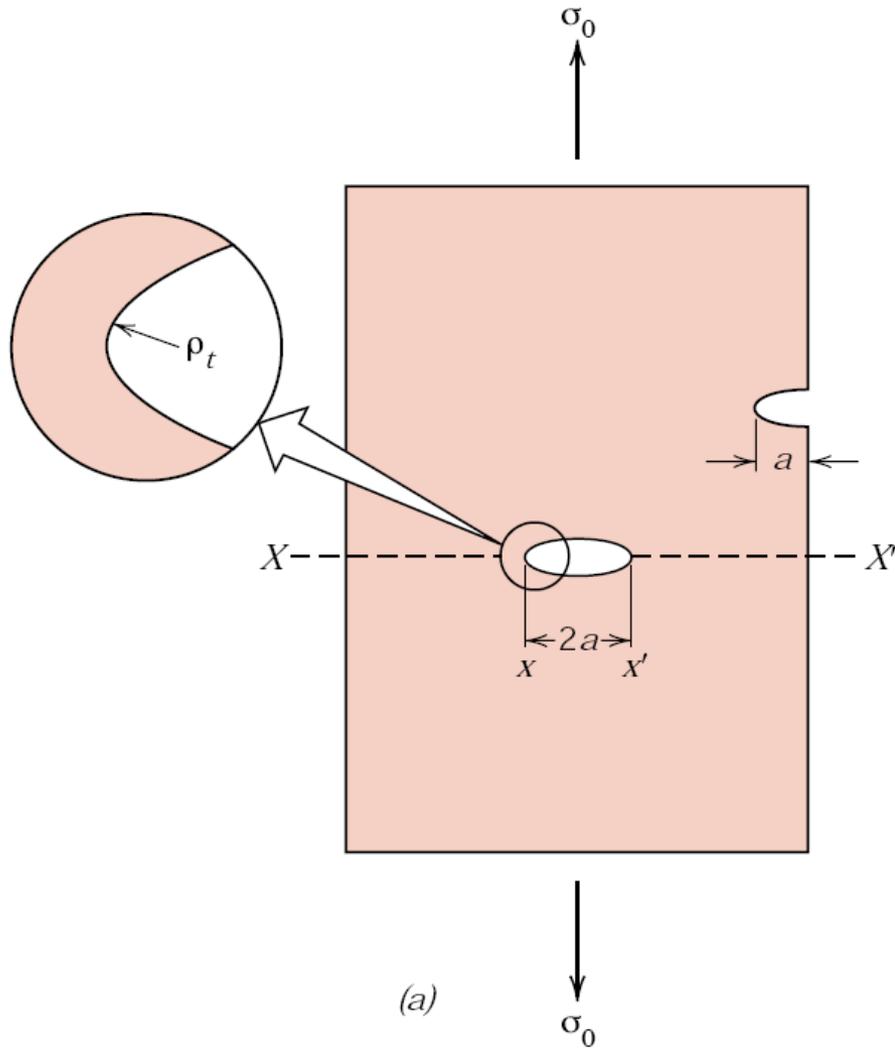
SMM0194 – Ciência e Engenharia de
Materiais II

Prof. Eduardo Bellini Ferreira

Propriedades Mecânicas das Cerâmicas

- O processamento e a aplicação dos materiais cerâmicos é limitada por suas propriedades mecânicas.
- A principal desvantagem em relação aos metais é a disposição à fratura catastrófica, **fratura frágil**, pouco ou nenhuma absorção de energia na forma de deformação plástica.

Concentração de tensão



Tenacidade à fratura

PROPRIEDADE FUNDAMENTAL DOS MATERIAIS!!!

$$K_{Ic} = Y \sigma_f \sqrt{\pi c}$$

- K_{Ic} = tenacidade à fratura em deformação plana
- Y = fator geométrico adimensional que depende do estado de tensão e da geometria da amostra e da trinca
- σ = tensão aplicada
- a = comprimento de uma trinca na superfície ou metade do comprimento de uma trinca interna

<i>Material</i>	<i>Yield Strength</i>		K_{Ic}	
	<i>MPa</i>	<i>ksi</i>	<i>MPa</i> \sqrt{m}	<i>ksi</i> $\sqrt{in.}$
Metals				
Aluminum Alloy ^a (7075-T651)	495	72	24	22
Aluminum Alloy ^a (2024-T3)	345	50	44	40
Titanium Alloy ^a (Ti-6Al-4V)	910	132	55	50
Alloy Steel ^a (4340 tempered @ 260°C)	1640	238	50.0	45.8
Alloy Steel ^a (4340 tempered @ 425°C)	1420	206	87.4	80.0
Ceramics				
Concrete	—	—	0.2–1.4	0.18–1.27
Soda-Lime Glass	—	—	0.7–0.8	0.64–0.73
Aluminum Oxide	—	—	2.7–5.0	2.5–4.6
Polymers				
Polystyrene (PS)	—	—	0.7–1.1	0.64–1.0
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	53.8–73.1	7.8–10.6	0.7–1.6	0.64–1.5
Polycarbonate (PC)	62.1	9.0	2.2	2.0

Propriedades Mecânicas das Cerâmicas

- Os defeitos que causam a fratura frágil são muito pequenos nos materiais cerâmicos, devido ao pequeno K_{Ic}
- Têm dimensões da ordem dos defeitos superficiais (riscos ou trincas), internos (poros) ou detalhes da microestrutura (grãos) – ou seja, são virtualmente impossíveis de serem eliminados

Fadiga estática

- Causada pela propagação lenta e estável de uma trinca no material até que o tamanho crítico seja alcançado para que ocorra a propagação catastrófica
- Em alguns materiais cerâmicos (porcelanas, vidros, cimento portland, cerâmicas com alto teor de Al_2O_3 , titanato de bário, nitreto de silício), o aumento do comprimento de uma trinca pode ser causado por condições ambientais comuns: temperatura e umidade!

Comprovação Experimental: dano por água

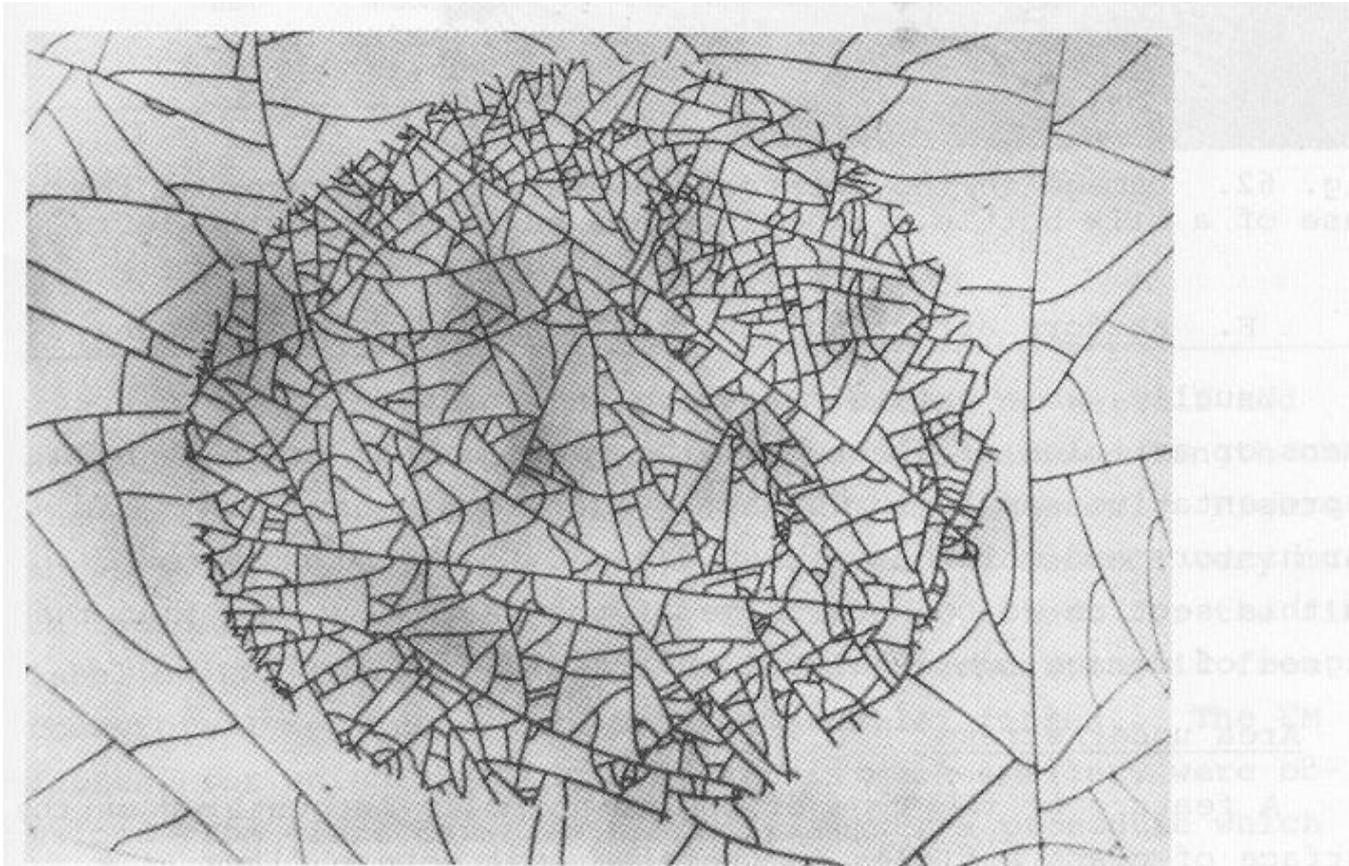


Fig. 61. A drop of tap water was allowed to evaporate on the surface, after which the glass was heated for 1 hr at 650°C (x 20).

Efeito do ambiente – Fadiga Estática

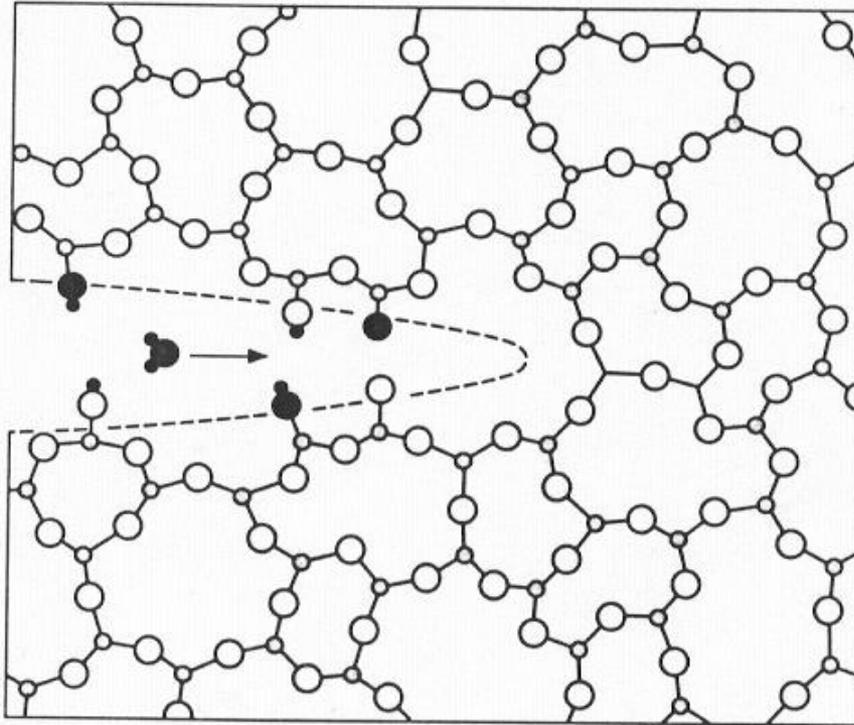


Fig. 6.14. Two-dimensional point-mass representation of water-induced bond rupture in silica glass, as per reaction in (6.35): silicon (shaded circles), oxygen (open circles), environmental water species (filled circles). Note open structure of $-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-$ network. (Dashed curve is Irwin profile (2.15) for *in-vacuo* equilibrium slit-crack.)

Efeito do ambiente – Fadiga Estática

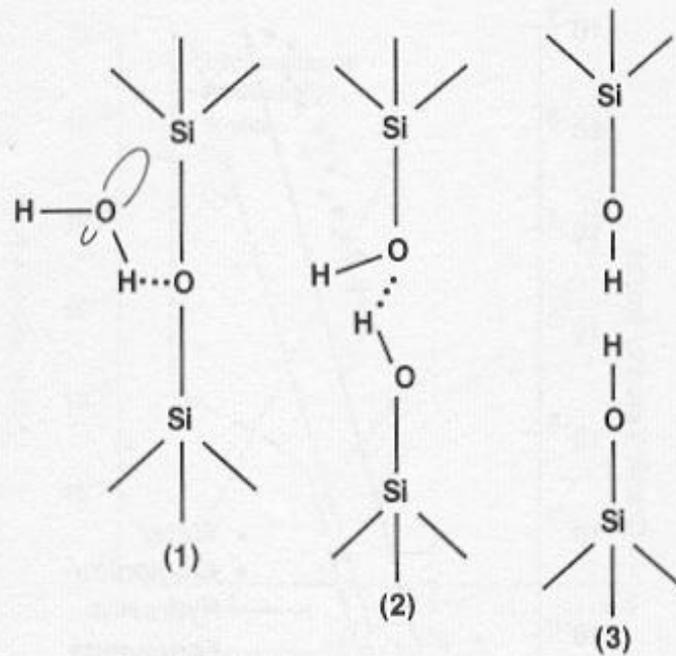


Fig. 6. Model for the reaction sequence between H₂O and the strained Si-O bond at a crack tip (after Michalske and Freiman, 1983).

Efeito do ambiente – Fadiga Estática

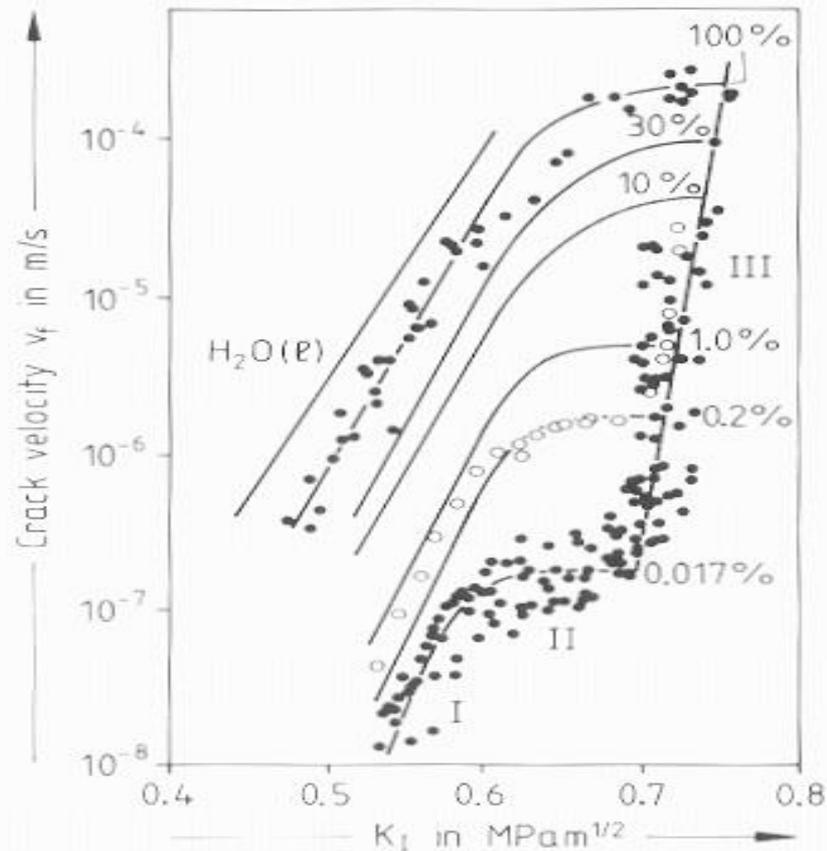
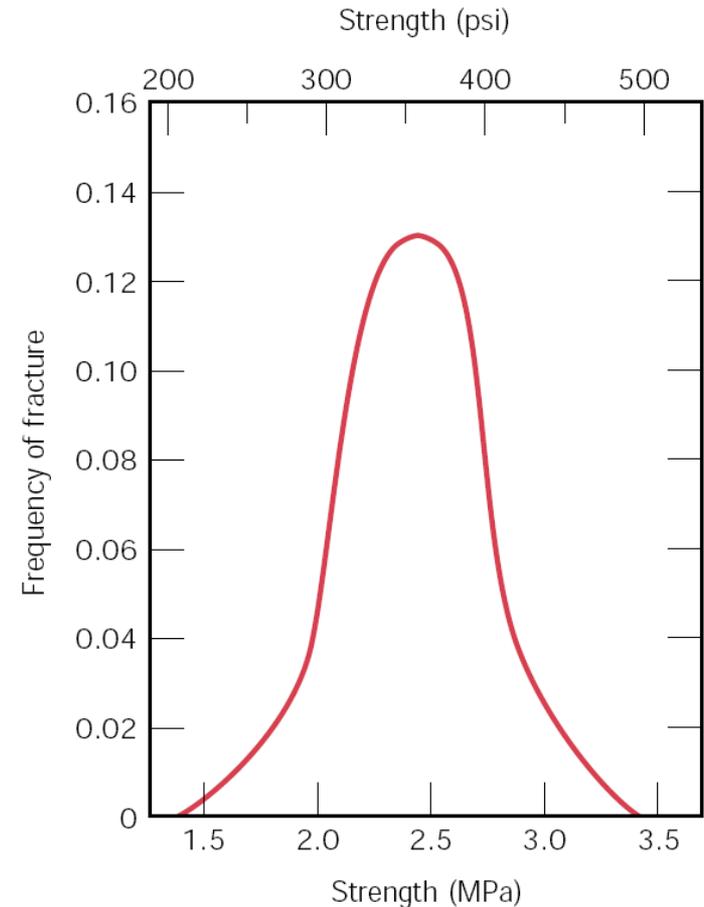


Figure 13-23. Crack velocity, V_f , of glass versus stress intensity factor K_I in air with various relative humidities and under liquid water (Wiederhorn, 1967).

Aspecto estatístico da fratura em materiais cerâmicos

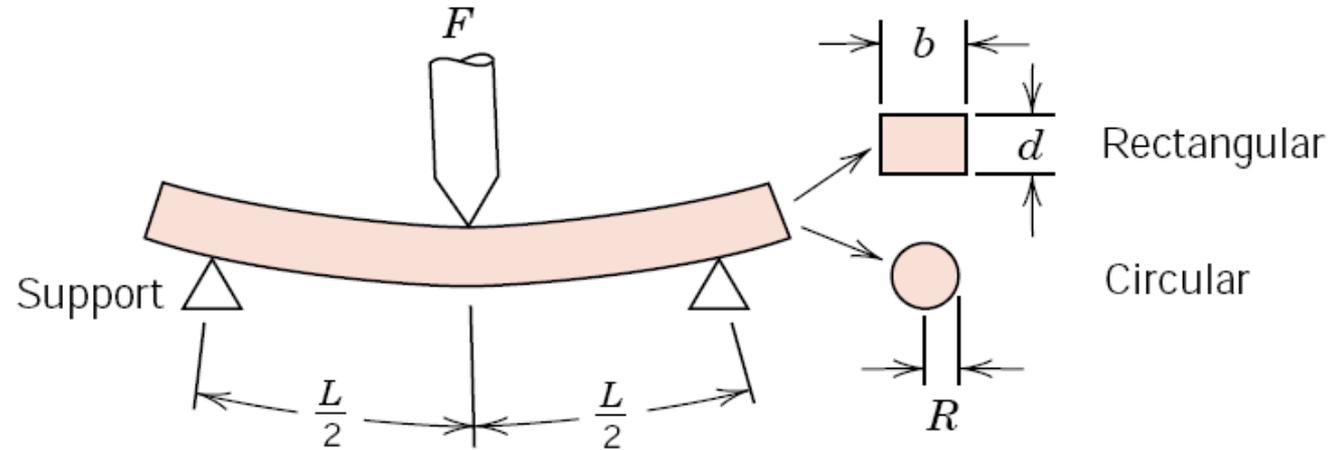
- O tamanho máximo de um defeito **depende da técnica de fabricação e de tratamentos subseqüentes**, e pode variar muito de amostra para amostra
- A resistência à fratura também **depende do tamanho ou volume do material** empregado
- Quanto maior o volume, maior a probabilidade de encontrar um defeito crítico
- **Valores médios e fatores de segurança não são utilizados para projeto de materiais cerâmicos**
- Sempre que possível, materiais cerâmicos são melhor aplicados e ensaiados sob **compressão**



Distribuição de freqüência da resistência à fratura de um cimento portland

Ensaio mecânico para cerâmicas – flexão em três pontos

Possible cross sections



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

where M = maximum bending moment

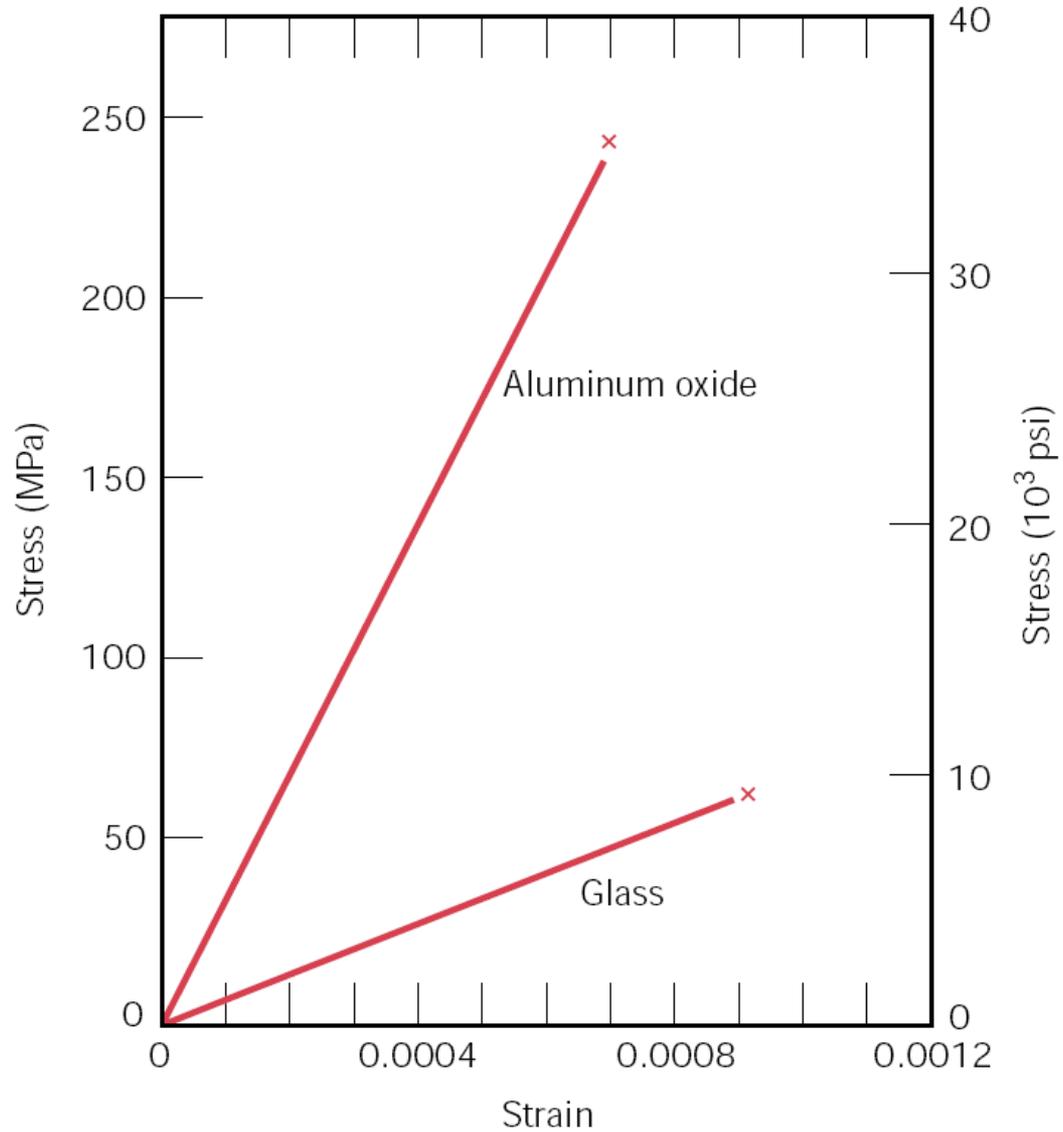
c = distance from center of specimen to outer fibers

I = moment of inertia of cross section

F = applied load

	$\frac{M}{FL}$	$\frac{c}{d}$	$\frac{I}{bd^3}$	$\frac{\sigma}{FL}$
Rectangular	$\frac{1}{4}$	$\frac{d}{2}$	$\frac{bd^3}{12}$	$\frac{3FL}{2bd^2}$
Circular	$\frac{1}{4}$	R	$\frac{\pi R^4}{4}$	$\frac{FL}{\pi R^3}$

Comportamento mecânico típico



Efeito da porosidade

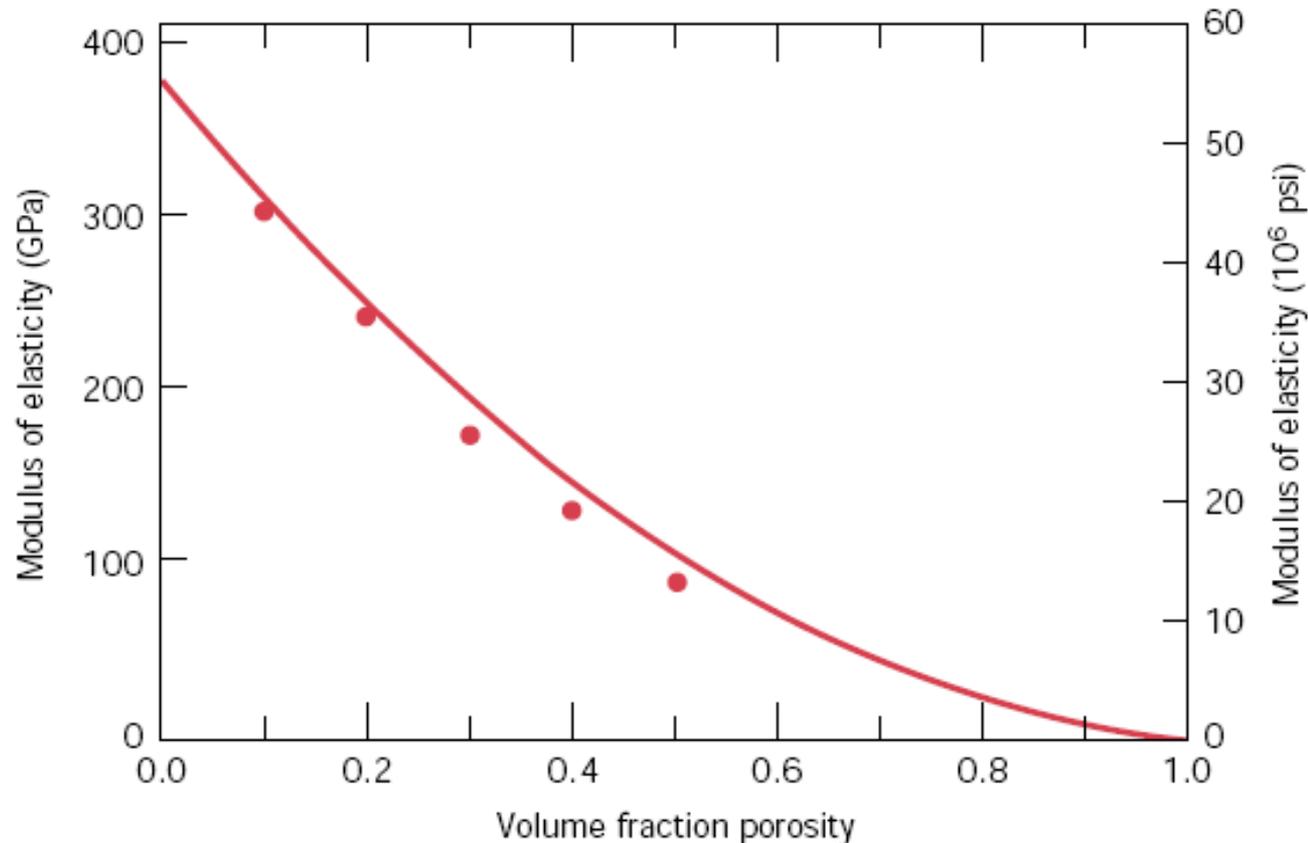


FIGURE 7.20 The influence of porosity on the modulus of elasticity for aluminum oxide at room temperature. The curve drawn is according to Equation 7.21. (From R. L. Coble and W. D. Kingery, "Effect of Porosity on Physical Properties of Sintered Alumina," *J. Am. Ceram. Soc.*, **39**, 11, Nov. 1956, p. 381. Reprinted by permission of the American Ceramic Society.)

Efeito da porosidade

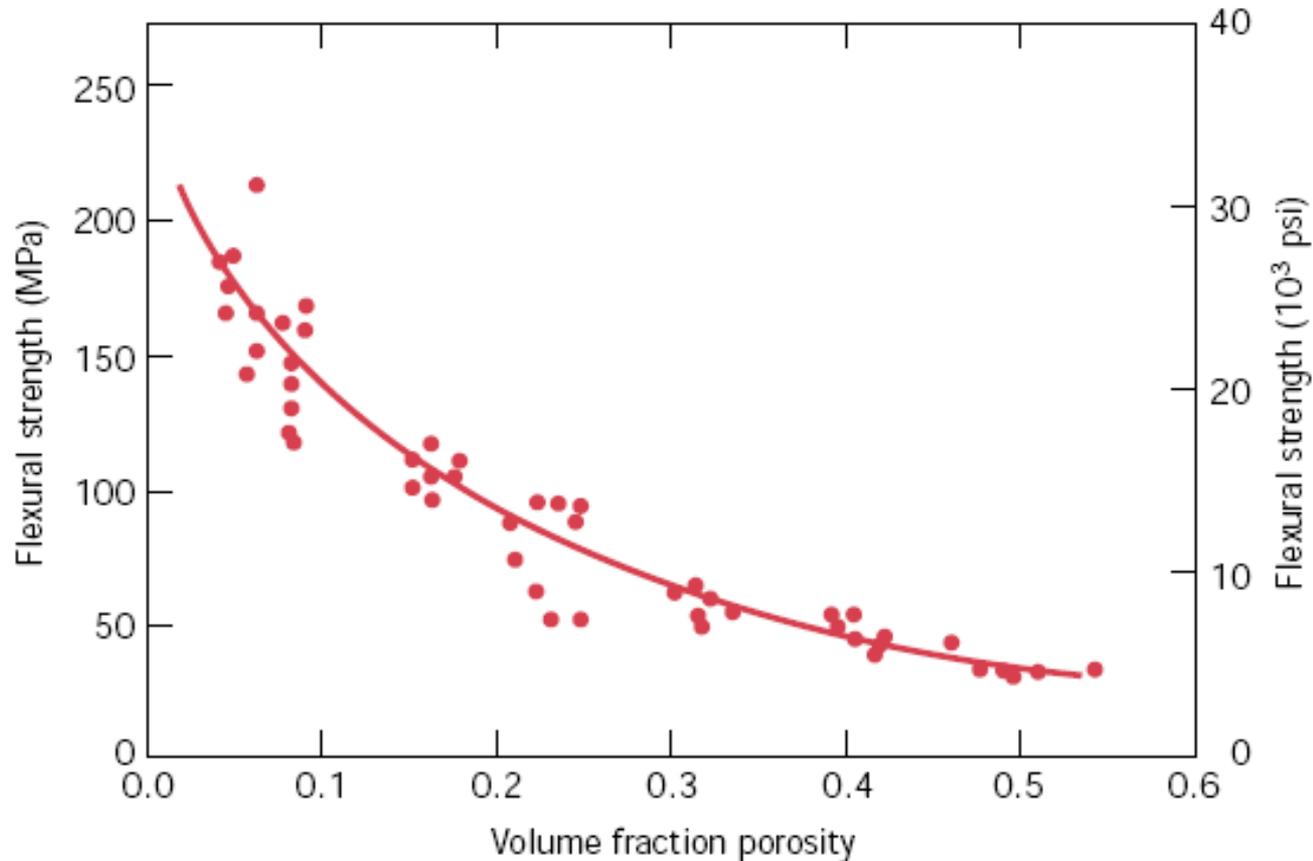


FIGURE 7.21 The influence of porosity on the flexural strength for aluminum oxide at room temperature. (From R. L. Coble and W. D. Kingery, "Effect of Porosity on Physical Properties of Sintered Alumina," *J. Am. Ceram. Soc.*, **39**, 11, Nov. 1956, p. 382. Reprinted by permission of the American Ceramic Society.)