

Engenharia Microestrutural de Cerâmicos

Carlos Pereira

October 15, 2023

Informações

Professor: Celio Costa

celio@metalmat.ufrj.br

Timoshent ou Timoshenko - livro de ResMat, CompMec

Lecture 0.1: Propriedades Físicas e Fabricação de Cerâmicos

Propriedades Físicas

Definition 1 (Densidade). Densidade (ρ) é uma medida da massa (m) por unidade de volume (V) de um material. É dada em g/cm^3 . A densidade é influenciada por:

- Tamanho e peso atômico dos elementos
- Empacotamento atômico na estrutura cristalina
- Quantidade de porosidade na microestrutura

Os tipos de densidade são dados por:

Definition 2 (Densidade cristalográfica). A densidade cristalográfica é a densidade ideal de uma estrutura cristalina específica é calculada pelos dados da composição química e pelo espaçamento interatômico obtido pela difração de raios-x. É calculada dividindo a massa de uma célula unitária do material pelo volume da célula unitária.

Example. Densidade de um elemento com estrutura CFC:

$$m = \frac{n^{\circ} \text{ de átomos por célula} \times m_{\text{átomo}}}{n^{\circ} \text{ de avogadro}} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{célula unitária}}} \quad (2)$$

As massas atômicas dos elementos que estão na célula unitária tem um efeito majoritário na densidade cristalográfica do material, assim como o empacotamento. Com maior empacotamento, há uma maior densidade cristalográfica. Outros fatores como polimorfismo podem afetar a densidade de materiais com os mesmos elementos.

Definition 3 (Densidade teórica). A densidade teórica é a densidade de um material que contém zero porosidade microestrutural, levando em consideração múltiplas fases, defeitos estruturais e solução sólida. A densidade teórica pode ser calculada a partir da densidade cristalográfica de da fração volumétrica de cada fase sólida na microestrutura.

$$\rho_{\text{teórica}} = \sum V_{f_n} \rho_n \quad (3)$$

Por exemplo, podemos calcular a porosidade a partir das densidades teórica e bulk:

$$\% \rho_{\text{teórica}} = \frac{\rho_{\text{bulk}}}{\rho_{\text{teórica}}} \times 100 \quad (4)$$

$$\% \text{porosidade} = 100\% - \% \rho_{\text{teórica}} \quad (5)$$

Definition 4 (Densidade bulk). Densidade em massa ou volumétrica (bulk density) é a densidade medida de um corpo cerâmico bruto (bulk ceramic body), levando em consideração toda a porosidade, defeitos de rede e fases. Os materiais cerâmicos comerciais costumam possuir mais de uma fase cristalina, e geralmente uma fase não-cristalina. Cada uma dessas fases possui uma densidade diferente dependendo do empacotamento e dos átomos presentes, além da porosidade. Portanto, definimos a densidade *bulk* como:

$$\rho_{\text{bulk}} = \frac{m}{V_{\text{bulk}}} \quad (6)$$

$$= \frac{m}{V_{\text{sólido}} + V_{\text{poros}}} \quad (7)$$

A densidade *bulk* de um material cerâmico com geometria complexa pode ser medido pelo princípio de Arquimedes, ou de líquidos pesados calibrados para cerâmicos pequenos que não possuem porosidade aberta.

Definition 5 (Gravidade específica). A gravidade específica é a densidade de um material relativa à densidade de um volume igual de água à 4°C (adimensional).

$$SG = \frac{\rho_{\text{material}}}{\rho_{\text{água à 4°C}}} \quad (8)$$

A porosidade aberta de um material refere-se à fração volumétrica total de um cerâmico que consiste em poros interconectaros e abertos, que são acessíveis a fluidos ou gases, e não estão isolados do meio, expressa como uma porcentagem do volume de poros em relação ao volume total do material. Essa medida afeta diretamente propriedades como a permeabilidade de gases e líquidos, a resistência mecânica e suas propriedades térmicas.

Lecture 1

Ductilidade em Materiais

- Limite de Escoamento
- Limite de Resistência
- Resistência à fratura
- Região elástica - Definição? Deve ser linear?
- Região plástica - Movimentos de discordância;
- Qual o comportamento (os perfis) das curvas tensão-deformação de engenharia?
- Fadiga e fragilidade do material
- Quais os tipos de fraturas em materiais dúcteis?
- Movimento de discordâncias - compactação - densidade menor nos cerâmicos (2 ou mais espécies químicas); Quais são os sistemas de deslizamento?; O que move as discordâncias são as tensões de cisalhamento; baixa simetria.
- Qual a condição necessária para haver comportamento dúctil num material?
- Quais materiais cerâmicos possuem comportamento dúctil?

Fragilidade em materiais

- Resistência à fratura
- Qual a condição necessária para que o material tenha comportamento frágil?

Propriedades mecânicas de interesse

- Módulo de elasticidade - E vs. Tipo de ligação química vs. Temperatura vs. Distância interplanar vs. Porosidade (densidade); depende da densidade; depende do processamento (feito em fase líquida? queda brusca

de temperatura em relação ao E); distância interplanar

- Resistência à fratura
- Uso de ultrassom (em contraste com o ensaio de tração e AFM) para medir o E
- O que é a tensão principal? (No plano perpendicular, a tensão de cisalhamento é igual a zero)
- Extensometria - strain gauge;
- AFM - capaz de calcular densidade de 100% (referencial)
- Resistência teórica
- Teoria de Inglis
- Limite de escoamento - movimento de discordâncias em altíssimas temperaturas
- Razão entre ensaio de tração e compressão - qual a magnitude da tensão necessária para causar a mesma tensão local em relação aos dois ensaios?
- Ensaio de flexão - módulo de ruptura
- Volume efetivo
- A resistência mecânica de um material cerâmico é uma propriedade intrínseca? não

Ensaio de resistência mecânica

- O tipo de ensaio utilizado depende do estado de tensão que o material cerâmico será submetido
- Teoria estatística de Weibull - teoria do ligamento mais fraco
- Módulo de Weibull - é utilizado para calibrar a dispersão do material no cálculo da probabilidade à falha - depende do desenvolvimento microestrutural (não só de densificação e processamento)

- A quantidade de corpos de prova que devem ser testados depende da função estimadora utilizada no ensaio
- Fratografia
- Volume Efetivo
- Desalinhamento do sistema