

Materiais cerâmicos: propriedades, aplicações e processos de fabrico.

Neste documento encontra-se o texto presente na apresentação (em sublinhado) e texto de suporte (em texto normal).

Encontram-se aqui *links* para vídeos que não estão na apresentação.

Definição de material cerâmico

Em termos da classificação **clássica** da ciência dos materiais, estes estão agrupados em cinco categorias:

- Metais
- Polímeros
- Cerâmica
- Semicondutores
- Compósitos (madeira)

Os três primeiros classificam-se principalmente sobre a natureza da ligação interatômica, a quarta na condutividade materiais, e a última sobre os materiais de estrutura. Não é um começo muito consistente.

Bases de Química

"most solid materials that aren't metal, plastic, or derived from plants or animals are ceramics." - Richerson (2000)

De modo a definir o que é um material cerâmico é necessário uma melhor compreensão sobre tipos ligações entre átomos (ligações interatômicas) e a sua influência no tipo de material.

Tipos de ligações interatômicas

Podem-se distinguir 3 tipos de ligações interatômicas:

- Metálica
- Covalente
- Iónica

A cerâmica pode existir com todos os tipos de ligações interatômicas enquanto normalmente os metais são compostos de ligações metálicas e os polímeros de ligações covalentes.

Triângulo de Van Arkel-Ketelaar

É possível saber em que parte do triângulo, um material se encontra através eletronegatividade média e diferença de eletronegatividade.

Tetraedro de Laing

Em 1993 Michael Laing propôs uma expansão do triângulo dividindo materiais covalentes em dois tipos (moléculas individuais e as estruturas moleculares), criando assim um tetraedro.

Sendo o canto Van Der Waals o de moléculas discretas i.e. individuais. Network são redes covalentes.

Triângulo -> Tetraedro

Os elementos dos cantos do triângulo são: Cs, F2 and CsF.

Metálica: Césium 0.79

Molecular: flúor 3.98

Iônica: fluoreto de cézio: $3.98 - 0.79 = 3.19$

O elemento mais eletronegativo que se forma um material de rede covalente é carbono: 2,55.

Daqui resulta que o diamante não deve ser colocado no canto de um tetraedro com eletronegatividade 3,98 (como o flúor), mas a uma certa distância da mesma, de 2,55. Com efeito, o canto do tetraedro deve ser cortado em 2.55, dando um tetraedro truncado.

Análise do tetraedro de Laing na perspetiva da cerâmica

Para este tópico considera-se não só toda a aresta iônica-redes covalente mas também toda a face iônica e redes covalentes. As cerâmicas não existem em moléculas discretas!

Na parte do tetraedro onde se localizam as cerâmicas podem-se encontrar ligações metálicas covalentes iônicas como tinha dito antes. No entanto poucas serão metálicas.

Aqui localizam-se também óxidos e minerais que podem ser considerados como cerâmica.

Resumindo

- A ligação interatômica está intrinsecamente ligada à eletronegatividade média e diferença de eletronegatividade dos elementos constituintes.
- Sabendo isto e a estrutura molecular podemos identificar o material no tetraedro de Laing.

- Caso o material se encontre na zona definida no slide anterior, em principio será um material cerâmico. No entanto...

Os materiais orgânicos não podem ser considerados cerâmica!

i.e. matéria que não provém de organismos vivos.

O material deve estar no seu estado sólido.

Como a definição de um material cerâmico é muito abrangente é natural que haja exceções à regra.

Propriedades Gerais dos materiais cerâmicos

Não é possível definir cerâmica, ou na verdade qualquer classe de material, em termos de propriedades específicas.

"We cannot say "ceramics are brittle" because some can be superplastically deformed and some metals can be more brittle: a rubber hose or banana at 77 K shatters under a hammer." - Carter e Norton (2007)

No entanto, vamos olhar para algumas propriedades e veja como são parecidas as nossas expectativas com as propriedades características.

Frágil

Ou seja, apresenta fratura do tipo frágil?

Isto provavelmente vem de experiências pessoais, com cerâmica tradicional.

A razão pela qual a maioria dos materiais cerâmicos são frágeis é devido à natureza da ligação covalente iônica mista que a maioria dos materiais cerâmicos apresentam. Característica desta ligação.

A temperaturas elevadas (acima da temperatura de transição vítrea) de vidro já não se comporta de uma forma quebradiça, comporta-se como um líquido viscoso.

Então, o que podemos dizer é que a maioria das cerâmicas são frágeis, à temperatura ambiente, mas não necessariamente a temperaturas elevadas.

Exemplo de cerâmicas superplásticas à temperatura ambiente: SiC e FeC carboneto de silício e carbonato de ferro).

Forte sobre compressão

Tradicionalmente a cerâmica é mais forte em compressão que em tensão, enquanto os metais têm tração comparável e resistência à compressão.

Esta diferença é importante quando dimensionamos componentes cerâmicos. É necessário considerar as distribuições de tensões na cerâmica para assegurar que eles são compressão.

A cerâmica tem geralmente baixa tenacidade, embora combinando-os em compósitos pode melhorar drasticamente esta propriedade. (betão armado).

Características mecânicas de Cerâmica

Alguns dos parâmetros que descrevem o comportamento mecânico dos materiais.

Constantes elásticas de alguns Policristalinos de Cerâmica (20 ° C)

Modulo de cisalhamento-----

Modulo de compressibilidade - resistance to uniform compression

Glass (see also diagram below table)	35 to 55	5.8×10 ⁶
Steel	160	23×10 ⁶
Diamond (at 4K) ^[2]	443	64×10 ⁶

Diamond ^[2]	478.0
Steel ^[3]	79.3
Copper ^[4]	44.7
Titanium ^[3]	41.4
Glass ^[3]	26.2
Aluminium ^[3]	25.5
Polyethylene ^[3]	0.117
Rubber ^[5]	0.0006

Coefficiente de Poisson-

Material	Poisson's ratio
rubber	0.4999 ^[3]
gold	0.42 - 0.44

Material	Poisson's ratio
saturated clay	0.40–0.49
magnesium	0.35

Módulo de young – aço 200 – diamante 1050 a 1210

Pobre condutora elétrica e térmica?

Também devido à natureza da ligação covalente iônica, os eletrões de valência encontram-se "ocupados" a formar estas ligações, logo, ao contrário dos metais, em que os eletrões é que definem as características de condução elétrica e térmica, os materiais cerâmicos são tipicamente isolantes elétricos e térmicos mas...

Cerâmica também pode ter uma alta condutividade elétrica:

The ceramic, ReO₃ (Rhenium trioxide), has an electrical conductivity at room temperature similar to that of Cobre.

The YBa₂Cu₃O₇ is an Super conductor a altas temperaturas. it has zero resistivity below 92 K.

O material conhecido com maior condutividade térmica é o diamante, classificado como material cerâmico. Neste caso a condução é feita através de fotões e não eletrões.

Condutividade térmica de algumas cerâmicas

Diamante 2000–2500

Cobre 400

Condutividade elétrica de algumas cerâmicas

Prata - 6.30×10^7 siemens/m = $1/(\text{ohm} \cdot \text{m})$

Condutividade elétrica σ – sigma

Condutividade iônica = resistividade ρ = resistância/distância = ohm /m

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Mostrar aplicações

Resistentes a ambientes adversos

Um grande número de cerâmica é estável em ambientes térmica e quimicamente agressivos.

Os utensílios utilizados em laboratórios de química são cerâmicos porque resistem a muitos produtos químicos corrosivos e são estáveis a temperaturas elevadas (mas menos de 1100 K), é também resistente ao choque térmico devido ao seu baixo coeficiente de expansão térmica.

Como nas propriedades anteriores o outro extremo também é possível.

Transparência

As propriedades óticas de algumas cerâmicas resultam em algumas das suas aplicações mais importantes.

Na sua forma pura, a maioria dos cristais e, por exemplo, o vidro são transparentes à luz visível.

É um comportamento muito diferente dos metais e semicondutores, que, a menos que sejam muito finos (<1 um), são opacos.

Muitos vidros e cerâmicas também apresentam uma boa transparência à radiação infravermelha, propriedade que permite a utilização de fibras óticas para comunicações de alta velocidade.

Aplicações dos materiais Cerâmicos

As funções de produtos cerâmicos são dependentes da sua composição química e microestrutura, que determina as suas propriedades.

Logo:

A lista de aplicações para a cerâmica tão extensa como a vasta gama de propriedades exibidas.

É conveniente dividir a cerâmica em 2 famílias:

- cerâmica avançada
- cerâmica tradicional

Cerâmica tradicional

Cerâmicas tradicionais são geralmente à base de argila e sílica.

Por vezes, existe tendência a considerar a cerâmica tradicional como baixa tecnologia, no entanto, técnicas de fabricação avançadas são usadas frequentemente.

A concorrência entre os produtores levou ao processamento se tornar mais eficiente e rentável. Ferramentas e máquinas complexas são muitas vezes usadas.

Imagem

Cerâmica avançada

Cerâmicas avançadas, também conhecidas como cerâmicas "especiais", "técnicas" ou de "engenharia".

Exibem propriedades mecânicas superiores, resistência à corrosão / oxidação, ou propriedades elétricas, ópticas e/ou magnéticas.

Incluem materiais mais recentes, tais como materiais para laser ou cerâmicas piezoelétricas.

Uma das propriedades mais interessantes (por exemplo da magnetita Fe_2O_3 ou óxido de alumínio) apresenta magnetização direcional, facilmente alterada através de campos magnéticos, funcionando assim como um sistema binário. COMPUTADORES – MEMÓRIA RAM etc.

Aplicações das Cerâmicas avançadas

É conveniente dividir as aplicações com base nas propriedades. De modo geral estas são:

- Elétrica
- Dielétrica (isolante elétrico)
- Magnética
- Ótica
- Mecânica
- Térmica

Aplicações da cerâmica avançada na Aeronáutica

Blindagem

Materiais como carbonetos de boro, óxido de alumínio e carbonetos de silício são os mais usados para blindagem, devido à sua elevada rigidez, não só em aeronaves como na blindagem em geral.

Componentes eletrônicos de alta fiabilidade

Para além de componentes eletrônicos e dielétricos é de salientar a aplicação de cerâmicas avançadas em componentes de sensores de alta fiabilidade.

A propriedade mais interessante para esta aplicação é a resistência a corrosão.

Medição de níveis de combustível para o Boeing 777

Os tanques de combustível do Boeing 777, entre outros, estão equipados com sensores piezo-cerâmicos.

A grande vantagem destes sensores é a resistência à corrosão e alta fiabilidade, afinal não convém arriscar quando se trata de medir níveis de combustível numa aeronave com 400 passageiros!

Materiais CMC

Embora os CMC (Ceramic Material Composite) não possam ser classificado como cerâmica mas sim como material compósito de matriz cerâmica, estes apresentam aplicações na indústria aeronáutica com alguma relevância:

Componentes da HPT (High Pressure Turbine)

Os materiais CMC, nomeadamente carboneto de silício para esta aplicação, retêm propriedades mecânicas a temperaturas elevadas melhor que muitos metais e ligas, e são, por este motivo, materiais interessantes para aplicações a altas temperaturas.

Evolução dos materiais usados em motores a jato

É de notar grande evolução nos materiais compósitos (de todos os tipos) e um decréscimo de todos os materiais metálicos.

O caso da GE (General Electric)

A GE tem apostado nos CMC mais que qualquer outro fabricante:

"... the rotating turbine blades made from CMCs are one-third the weight of conventional nickel alloys...

"The lighter blades generate smaller centrifugal force, which means that you can slim down the disk, bearings and other parts. CMCs allow for a revolutionary change in jet engine design."

Editado de: http://www.geaviation.com/press/military/military_20150210.html

<https://www.youtube.com/watch?v=666VH25FeG0>

<https://www.youtube.com/watch?v=XllkWIh1nYQ>

GE9X

O novo GE9X da GE.

https://www.youtube.com/watch?v=XEiWwRyq_9E

LEAP

Outro exemplo é o novo motor LEAP da CFM (parceria entre GE Aviation e Snecma). Será instalado no Airbus A320neo e Boeing 737 MAX.

Disco de Travão

As principais vantagens dos CMC em disco de travão são:

- Muito pouco desgaste.
- Resistente à fadiga.
- Resistente à corrosão.
- Reduções de peso na ordem dos 40%.

Cerametalix™ e Carbenix™ Brakes da HoneyWell

Travões para aeronaves comerciais com disco à base de CMC's e carbono reforçado.

É importante lembrar que os compostos de carbono são considerados materiais cerâmicos!

Mercado da cerâmica

Cerâmica é uma indústria multibilionária. As vendas mundiais rondam os 100.000 milhões dólares.

A distribuição geral de vendas da indústria é a seguinte:

- 55% Vidro
- 17% Cerâmicas avançadas
- 10% Loiça
- 9% Porcelana
- 2% Cerâmica estrutural tradicional (cimento e derivados)
- 7% Outros

Financeiramente, o mercado de cerâmica é claramente dominada por vidro. A principal aplicação para o vidro é janelas.

O Mercado das Cerâmicas avançadas

Cerâmicas avançadas formam o segundo maior setor da indústria (com uns modestos 17%).
Mais de metade deste setor pertence à área da eletrónica:

- 35% Várias cerâmicas com propriedades elétricas
- 36% Condensadores e isolamento elétrico
- 8% Cerâmicas de engenharia
- 8% Fibras óticas
- 13% Outros

Na indústria aeronáutica é de salientar o uso de materiais cerâmicos para:

- Isolamento térmico nos fornos etc.
- Condução de ar
- Proteção contra fogo
- Componentes elétricos
- Sensores
- Proteção contra vibrações
- Proteção dos FDR e CVR

Processos de Fabrico

Os processos de fabricação diferem caso a cerâmica seja avançada ou tradicional, no entanto as fases do processo são as mesmas ou muito parecidas.

Primeira imagem

Processo de fabrico passa por:

- Preparação da matéria-prima
- Dar forma à peça que se quer formar
- Cozedura- Define a formação do grão (tamanho distância entre grão, etc.)
- Acabamento

Influência do processo de fabrico nas características Mecânicas

Este diagrama encontra-se muito incompleto mas vou tentar generalizar.

- Matéria-prima influencia a estrutura química. Certas propriedades como transparência e condução elétrica dependem muito disto.
- O processamento e a cozedura e arrefecimento influenciam também a composição química, e influenciam muito as características mecânicas, tal como nos metais por exemplo a têmpera.
- Acabamento- O acabamento previne a formação de falhas e a ocorrência de fadiga e oferece outras possíveis vantagens como acabamento suave, por exemplo.