

### 3.11- Materiais Cerâmicos

Luis Antonio Genova – IPEN

Os materiais cerâmicos são definidos classicamente como materiais inorgânicos não metálicos, compostos normalmente por elementos metálicos e não-metálicos, unidos entre si por ligações iônicas ou covalentes, podendo ser encontrados no estado cristalino ou amorfo. A palavra “cerâmica” vem do grego *keramus*, cujo significado está relacionado ao material ser submetido ao fogo ou ao calor, indicando que estes materiais são obtidos com as características desejadas a partir de tratamento térmico em altas temperaturas: a sinterização, também conhecida como queima ou a fusão, no caso dos vidros. A figura 3.11.1 mostra várias aplicações de materiais cerâmicos.



Figura 3.11.1 – Aplicações de materiais cerâmicos – Fonte: Macéa Cerâmicas Avançadas

#### 3.11.1 - Características mecânicas

Pelas características dos elementos constituintes, da composição e das ligações atômicas, os materiais cerâmicos apresentam arranjos atômicos muito complexos, e dessa forma a quantidade de discordância e de planos de deslizamento são bem menores que os encontrados nos metais. Com isso o movimento de discordâncias é muito limitado para os materiais cerâmicos, que por isso não desenvolvem deformação plástica suficiente para eliminar a formação e/ou propagação de trincas. Deste fenômeno decorre uma das principais características dos materiais cerâmicos: são materiais frágeis, ou seja, quando se aplica uma tensão suficiente para que as trincas originadas a partir de defeitos pré-existentes comecem a se propagar, estas não encontram obstáculos que interrompam a

propagação, e o material rompe. O vidro de janela é um exemplo extremo, mas ilustrativo, deste caráter frágil das cerâmicas, pois praticamente não oferece resistência à propagação de uma trinca. No caso das cerâmicas cristalinas a estrutura de grãos minimiza este caráter frágil, pois a trinca, ao se propagar consome energia para se desviar de um grão (fratura intergranular) ou para rompê-lo (fratura intragranular).

A propriedade que está relacionada ao caráter frágil ou dúctil dos materiais é a tenacidade à fratura, representada pelo fator de intensidade de tensão crítica -  $K_{Ic}$ , que de um modo simples pode ser relacionada à capacidade de um material absorver energia antes de fraturar, ou ainda, à capacidade do material dissipar energia em fenômenos distintos ao de propagação de trincas. Enquanto para os metais, que dissipam a energia com a deformação plástica na região da ponta da trinca, o valor de  $K_{Ic}$  pode variar de 20 MPa.m<sup>1/2</sup> para ligas de alumínio a 70 MPa.m<sup>1/2</sup> nos aços. Para os materiais cerâmicos este valor varia de 1 MPa.m<sup>1/2</sup> para vidros de janela a 11 MPa.m<sup>1/2</sup> para zircônia parcialmente estabilizada.

O baixo valor da tenacidade a fratura é o principal limitador para expandir as aplicações dos materiais cerâmicos, particularmente em aplicações estruturais, como é o caso dos componentes de máquinas e de motores a combustão como pistões, camisas, assentos de válvulas e rolamentos entre outros. Por isso um dos temas aos quais vêm se investindo intensivos esforços de pesquisa e desenvolvimento refere-se a materiais cerâmicos que apresentem maiores valores de  $K_{Ic}$  sem que se comprometa outras propriedades. Dos diferentes métodos que vêm sendo desenvolvidos para promover o surgimento de mecanismos tenacificadores na microestrutura dos materiais cerâmicos podem ser citados a introdução de tensões residuais compressivas na superfície (conceito utilizado na produção de vidros temperados), a produção de compósitos cerâmicos com o reforço de fibras, plaquetas ou de whiskers ( $Al_2O_3-SiC$ ,  $SiC-C$ ), o desenvolvimento de microestrutura com grãos alongados e entrelaçados (típico do reforço in-situ de cerâmicas de  $Si_3N_4$ ), e por fim, os eficientes mecanismos tenacificadores promovidos pela transformação de fases da zircônia: a formação de microtrincas ao redor da partícula transformada, e o mecanismo de transformação induzida por tensão.

### 3.11.2 - Técnicas de conformação

Este caráter frágil também determina os possíveis métodos de conformação dos materiais cerâmicos, ficando claro que não podem ser, por exemplo, forjados ou estampados. No caso dos vidros, estes são processados em temperaturas elevadas, próximos ou na temperatura de fusão, de modo que a viscosidade dos mesmos seja baixa o suficiente para que sejam conformados sem quebrarem. As cerâmicas cristalinas são processadas de modo muito similar à metalurgia do pó: as matérias-primas na forma de partículas são misturadas e moídas até granulometria adequada, adicionando-se componentes orgânicos específicos (ligantes, defloculantes, lubrificantes, plastificantes), e acondicionando-se estas misturas de modo adequado para cada método de conformação. Após a etapa de conformação as peças são submetidas a tratamento térmico para secagem e eliminação dos orgânicos, e por fim são sinterizadas.

Os métodos de conformação de materiais cerâmicos mais utilizados são:

**a- Prensagem** - O pó deve apresentar baixa umidade, normalmente entre 0,5 e 4%, dependendo do material, granulção e fluidez adequadas para um eficiente preenchimento do molde, e conter pequeno percentual de ligante orgânico, de 1 a 3% em massa, que confira resistência mecânica para a extração e manipulação da peça antes da sinterização. A prensagem pode ser uniaxial ou isostática, podendo-se utilizar ainda a prensagem a quente e a prensagem isostática a quente, nas quais a peça pode ser conformada e sinterizada em uma mesma etapa.

**b – Extrusão** - Neste caso a mistura apresenta um maior teor de umidade, de 10 a 15%, que em conjunto com aditivos orgânicos adequados, desenvolve plasticidade suficiente para permitir a conformação por extrusão.

**c- Injeção** - De forma similar aos metais há a adição de considerável quantidade de polímeros, de 13 a 20% em massa, que com o aquecimento fornecem a plasticidade à mistura, permitindo a injeção. A retirada destes orgânicos, sem que a peça injetada danifique ou deforme, é a etapa mais crítica deste processo;

**d- Colagem de barbotina** - Parte-se de uma mistura sólido-líquido, normalmente água, que é ajustada com a adição de eletrólitos (defloculantes) de modo a se obter uma suspensão estável; esta suspensão é vertida em molde poroso, geralmente feito de gesso, que ao adsorver a fase líquida, promove a deposição do pó cerâmico em sua parede; após a camada depositada atingir a espessura desejada, retira-se a suspensão restante do molde, interrompendo o processo. A peça obtida é desmoldada e seca antes da sinterização.

### 3.11.3 - Funções, propriedades e aplicações

Por trás da definição aparentemente simples dos cerâmicos citada anteriormente, se encontram materiais extremamente importantes tecnologicamente, que abarcam desde as cerâmicas tradicionais encontradas no dia-a-dia, como as cerâmicas empregadas na construção civil (tijolos, cimento, telhas, vidros, pisos e revestimentos, louças sanitárias) até as que apresentam funções bastante complexas, como os catalisadores, as ferramentas de corte, os revestimentos de foguetes, os sensores, as biocerâmicas, combustíveis nucleares, células de combustível e os supercondutores.

Apenas como exemplo da variedade de funções e aplicações dos materiais cerâmicos, apenas nos automóveis há um grande número de componentes cerâmicos, que envolvem todos os vidros, substratos de micro circuitos, isolador da vela de ignição, componentes eletrônicos, diferentes sensores (de gás, de temperatura, de pressão), componentes de selos mecânicos e de bombas, suporte do catalisador, componentes de discos de freios, rotores de motores turbo, rolamentos, etc. Além destes, diversos outros componentes vem sendo desenvolvidos, como os já citados componentes do motor a combustão, filtros, baterias e células de combustível.

Os materiais cerâmicos se caracterizam pela elevada dureza e resistência ao desgaste, alta resistência mecânica à compressão, alto módulo elástico, elevada temperatura de fusão, baixa condutividade térmica e elétrica (os supercondutores são um caso a parte), e boa estabilidade química e térmica.

O vasto conjunto de características e propriedades destes materiais permite que os mesmos desempenhem as mais variadas funções tecnológicas, como as citadas na tabela 3.11.1.

Tabela 3.11.1 - Funções, propriedades e aplicações dos materiais cerâmicos.

Função	Propriedades	Aplicação	Materiais típicos
Mecânica	Resistência mecânica Dureza Tenacidade a fratura Resistência ao desgaste	Componentes de motores Ferramentas de corte Abrasivos	$\text{Si}_3\text{N}_4$ , SiC, t-ZrO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , BN, TiC, C, concretos
Elétrica	Condutividade elétrica Constante dielétrica Piezo-eletricidade Condutividade iônica	Isoladores elétricos Sensores de gases Sonares Supercondutores	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , c-ZrO <sub>2</sub> , BaTiO <sub>3</sub> , ZnO, SiC, PZT, YBaCo
Térmica	Temperatura de fusão Condutividade térmica Expansão térmica Absorção de calor	Isolamento térmico Filtros para metais líquidos Canais de lingotamento	Cordierita, mulita, SiC, MgO, Al <sub>2</sub> TiO <sub>5</sub>
Magnética	Intensidade de magnetização Permeabilidade magnética Polarização magnética	Telecomunicações Transformadores Componentes de microondas Dispositivos para gravação de dados	Ampla família das ferritas, La <sub>1-x</sub> Sr <sub>x</sub> MnO <sub>3</sub>
Química	Resistência a corrosão Resistência a oxidação Superfície específica	Catalisadores e suportes Trocadores iônicos Válvulas para fluidos corrosivos	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , SnO <sub>2</sub> , In <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Biológica	Biocompatibilidade Citotoxicidade	Próteses de fêmur Regenerador ósseo Liberação controlada de fármacos	Hidroxiapatita, biovidros, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Óptica	Transmitância Luminescência Fluorescência Índice de refração	Diodos laser Fibra óptica Tubos de lâmpadas Dosímetros termo-luminescentes	SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ZnS, CaF <sub>2</sub>
Nuclear	Radioatividade Constante de decaimento Meia-vida	Elementos combustíveis Moderadores de reação Encamisantes Absorvedor de nêutrons	UO <sub>2</sub> , B <sub>4</sub> C, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , ThO <sub>2</sub> , BeO, C

