SMM5776 Estrutura e Propriedades de Materiais Cerâmicos

INTRODUÇÃO A MATERIAIS CERÂMICOS

Prof. Vera Lúcia Arantes

Definições

- Metais
- Cerâmicas
  - Diamante
- Polímeros
- Semicondutores
- Compósitos

Definições

- A palavra **cerâmicas** vem do grego *keramos*, que significa olaria. A palavra ***Keramos*** está relacionada ao sânscrito significando "queimar".

- Kingery et al. (1976):

"Cerâmicas são sólidos inorgânicos, não metálicos".

Outros autores incluem "uso e ou processamento em altas temperaturas"

- http://global.kyocera.com/company/use_scene/home.html

- materiais cerâmicos são compostos pela combinação de elementos metálicos e não metálicos ou de elementos metálicos. Podem ser simples ou complexos.
- Exemplos: SiO_2(sílica), Al_2O_3 (alumina) , $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ (talco)

- Sílica e alumina –SiO_2e Al_2O_3–(principais constituintes da crosta terrestre) e outros óxidos: MgO, Bi_3O_2, ZnO, ZrO_2, Y_2O_3, etc

- ●Carbonatos, fosfatos, halogenetos alcalinos (NaCl) ...

- ●Carbetos (TiC, Si_3C_4...), nitretos (GaN ...), boretos ...

- ●Óxidos, fluoretos, carbetos complexos: $BaTiO_3$, $YBa_2Cu_3O_7$, $BaLiF_3$, $LiCaAlF_6$, Ti_3SiC_2, ...

Propriedades gerais

- É frágil?
- “Cerâmicas são isolantes”?
- Todos os materiais cerâmicos são isolantes térmicos?

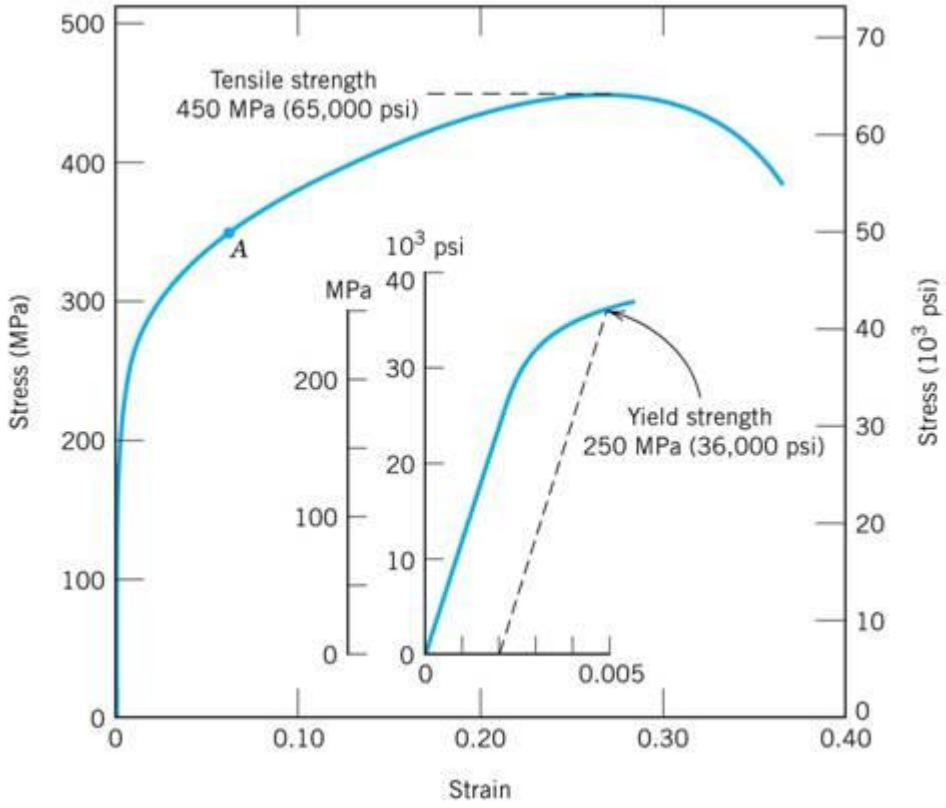
Materiais metálicos

X

Materiais cerâmicos

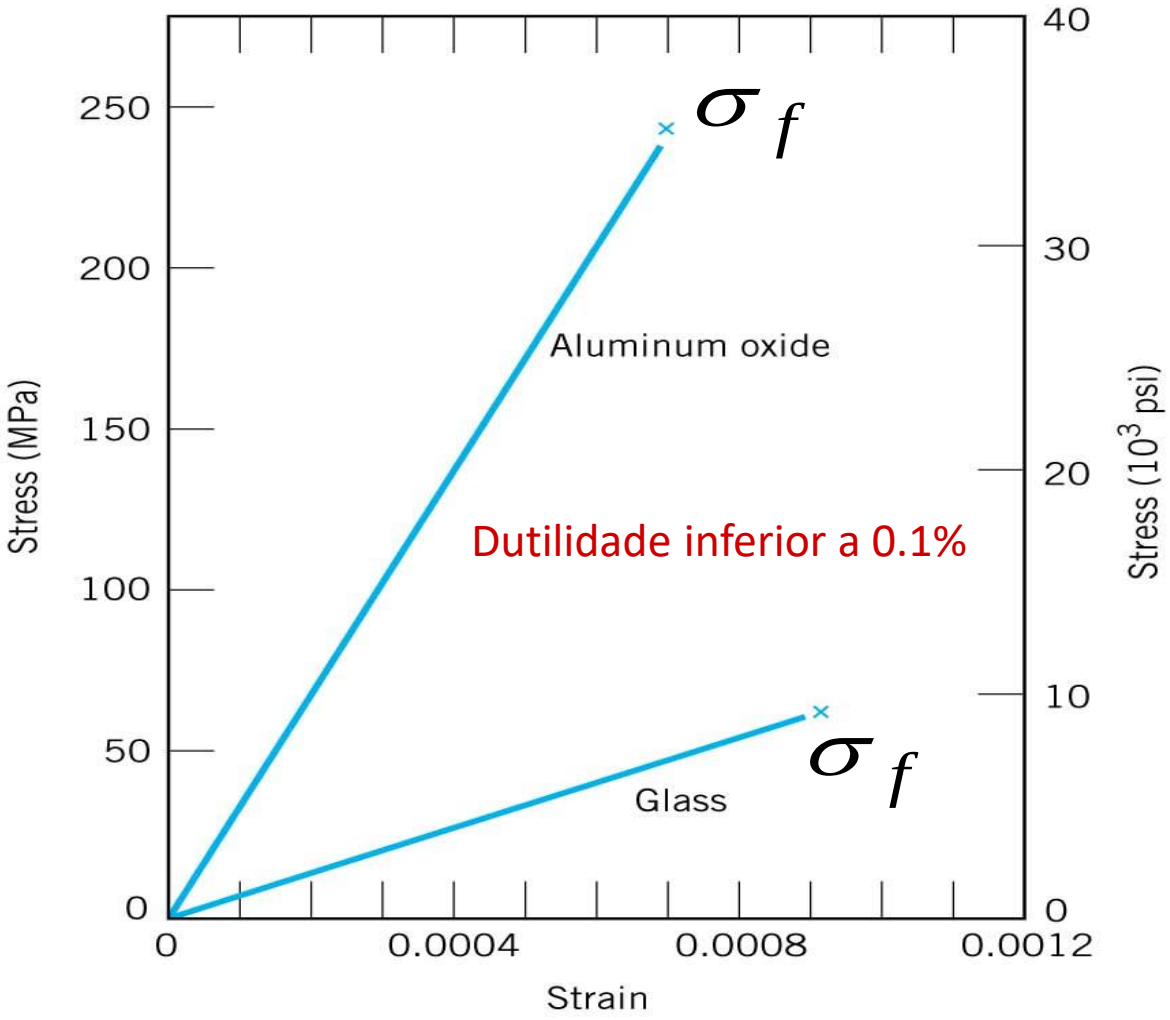
Relembrando.....

- Propriedades mecânicas



Propriedades determinadas no ensaio de tração (ou flexão)

- ??


Stress (MPa)
250
200
150
100
50
0
0
0.0004
0.0008
0.0012
Strain
40
30
20
10
0
Stress (10^3 psi)
σ_f
Aluminum oxide
Dutilidade inferior a 0.1%
σ_f
Glass

Propriedades Gerais

- Fratura frágil
  - Presença de defeitos críticos provenientes do processamento
  - Mudança de comportamento em altas temperaturas
- Resistência a compressão

Propriedades mecânicas

Descreve a maneira como um material responde a aplicação de força, carga e impacto.

Os materiais cerâmicos , em temperatura ambiente são:

- Duros
- Resistentes ao desgaste
- Resistentes à corrosão
- Frágeis (não sofrem deformação plástica)

Propriedades Gerais

- Condutividade elétrica

- isolantes: Alumina, vidro de sílica (SiO_2)
- semicondutores: SiC, B_4C
- supercondutores: $(La, Sr)_2CuO_4$, $TiBa_2Ca_3Cu_4O_{11}$

Propriedades Gerais

- Condutividade elétrica

- http://global.kyocera.com/company/use_scene/home.html

Propriedades Gerais

- Condutividade térmica

  - capacidade calorífica ($\Uparrow$)
  - coeficiente de expansão térmica ($\Downarrow$)
  - condutividade térmica

Propriedades Gerais

- Condutividade térmica

Material	**Capacidade calorífica (J/Kg.K)**	**Coeficiente linear de expansão térmica($(°C)^{-1}x10^{-6}$)**	**Condutividade térmica (W/m.K)**
Alumínio	**900**	**23,6**	**247**
Cobre	**386**	**16,5**	**398**
Alumina (Al_2O_3)	**775**	**8,8**	**30,1**
Sílica fundida (SiO_2)	**740**	**0,5**	**2,0**
Vidro de cal de soda	**840**	**9,0**	**1,7**
Polietileno	**2100**	**60-220**	**0,38**
Poliestireno	**1360**	**50-85**	**0,13**

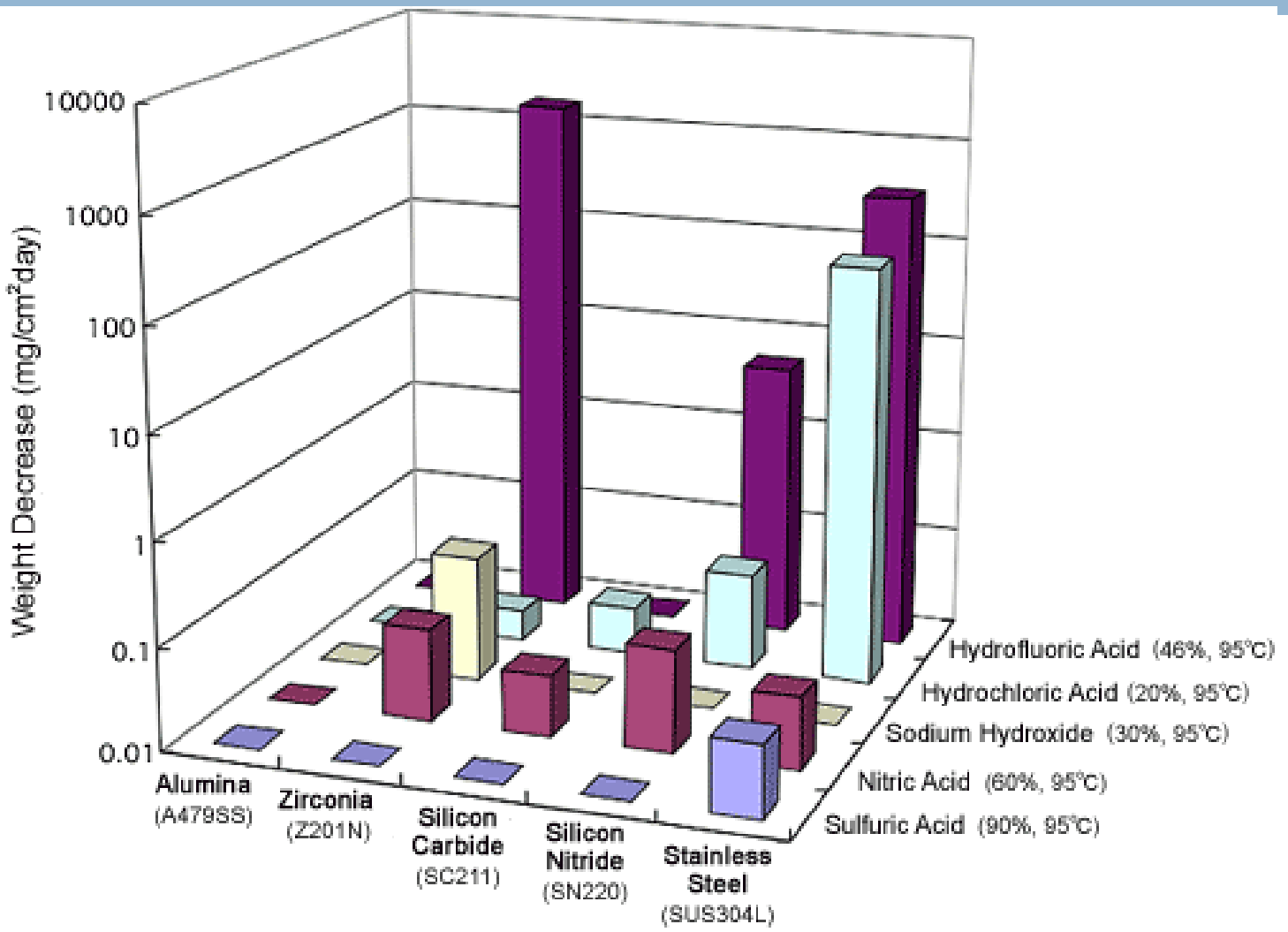
Alguns valores de condutividade térmica

(W/m.°K =J/m.s.°K)

- Diamante tipo lia: $2,3 \times 10^{3}$
- **SiO_2 : 1,4**
- **SiC: $4,9 \times 10^{2}$**
- concreto: $9,3 \times 10^{-1}$
- Prata: $4,29 \times 10^{2}$
- vidro: $9,5 \times 10^{-1}$
- Cobre: $4,01 \times 10^{2}$
- polietileno: $3,8 \times 10^{-1}$
- Alumínio : $2,37 \times 10^{2}$
- Teflon: $2,25 \times 10^{-1}$
- Ferro: $8,02 \times 10^{1}$
- madeira : $1,6 \times 10^{-1}$
- **Al_2O_3: $3,5 \times 10^{1}$**
- **Fibra de vidro : 5×10^{-3}**

Propriedades Gerais

- Estabilidade química



(Measuring method / Measurements conform to JIS R 1614-1993 / ISO 17092: 2005)

Propriedades Gerais

- **Propriedades óticas**

- Transparência – Janelas, lentes, artigos de laboratório etc.
- Conversão de luz em eletricidade – Laser, eletrônica (LED's).
- Luminescência – Lâmpadas elétricas e telas de TV.
- Reflexão – Fibras óticas (telefonia, TV a cabo etc).

Classificação

Cerâmicas tradicionais X Cerâmicas avançadas

- **Tradicionais**: As matérias-primas são naturais, com poucas etapas e custos envolvidos no tratamento das mesmas
- **Avançadas**: As MPs passam por diversas etapas de tratamento, como purificação e processos de diminuição de tamanho de partículas.

Classificação

Critério: estrutura cristalina

- **Cerâmicas**

  Materiais cristalinos, com arranjo periódico e repetitivo

- **Vidros**

  Materiais amorfos, com propriedades bastante características

O processo de fabricação dessas duas classes é bastante distinto (queima e fusão)

Classificação

Critério: ligação química

- **Iônicas** : óxidos e silicatos (alumina, silicatos hidratados de alumínio e de magnésio – talco)

- **Covalentes**: nitretos, carbetos, boretos e silicetos

Obs.: nenhuma cerâmica apresenta ligação química puramente iônica ou 100% covalente

Classificação por categorias

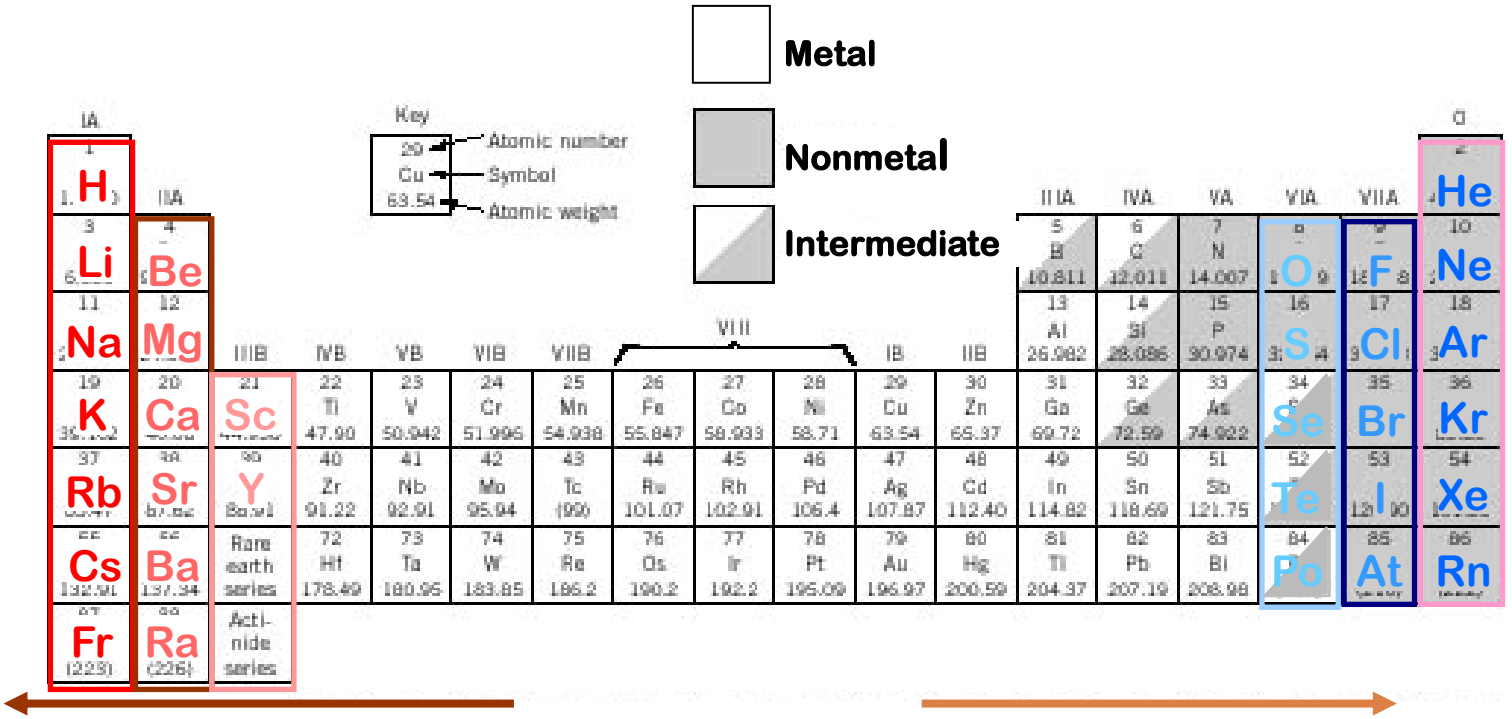
- Produtos estruturais de argila (tijolo, tubulação de esgoto, coberturas e parede de azulejo, fornos de combustão, etc)
- ***Whitewares*** (telha, louça piso e parede, porcelana elétrica, etc)
- **Refratários** (tijolo e produtos monolíticos usados na produção de metais, vidros, cimento, cerâmicas, conversão de energia, petróleo, produtos químicos e indústrias)
- **Vidros** (vidro plano (janelas), recipiente de vidro (garrafas), vidro prensado e soprado (louça), fibras de vidro (isolamento em casa), e vidro avançado / especialidade (fibras ópticas))
- **Abrasivos** (abrasivos naturais (granada, diamante, etc) e sintéticos (carboneto de silício, diamante, alumina fundida, etc) são usados para moagem, corte, polimento, lapidação, ou jateamento a pressão dos materiais)
- **Cimentos** (para estradas, pontes, edifícios, barragens e etc)

Cerâmicas avançadas

- **Estruturais** (peças de desgaste, biocerâmica, ferramentas de corte, e componentes de motores)
- **Elétrica** (capacitores, isoladores, substratos, pacotes de circuitos integrados, piezelétrica, ímãs e supercondutores)
- **Revestimentos** (componentes de motor, ferramentas de corte, e peças de desgaste industriais)
- **Cerâmicas químicas e ambientais** (filtros, membranas, catalisadores, e suportes de catalisador)

Segmento industrial	*Exemplos*
Cerâmica vermelha	Tijolos, manilhas, telhas
Cerâmica branca	Cerâmica de hotel, revestimentos, louça sanitária, porcelana elétrica, artigos decorativos
Refratários e isolantes	Tijolos e peças monolíticas usadas na fabricação de aço e outras ligas, vidros, cerâmicas e indústrias química e petrolíferas
Vidros	Vidros planos (janelas), artigos para casa, fibras de vidro, fibras óticas
Abrasivos	Carbeto de silício, diamante, alumina fundida são usadas como abrasivos particulados, rebolos, esmeril
Cimentos	Usados para produção de cimentos e concreto na indústria de construção civil: pontes, prédios, represas
Cerâmicas estruturais	Engrenagens, biocerâmicas, ferramentas de corte
Cerâmicas elétricas	Capacitores, isoladores de alta tensão, substratos, circuitos integrados, piezoelétricos, supercondutores
Recobrimentos	Peças de motores, ferramentas de corte e engrenagens industriais
Cerâmicas químicas	Filtros, membranas, catalisadores e suportes para catalisadores

Ligação química



Desafios (FUTURO)

- **Cerâmicas estruturais**

- Redução de preços dos produtos finais
- Aumento de confiabilidade
- Aumento de reprodutibilidade

Desafios

- **Cerâmicas eletrônicas**

- ✓ **Integração com a tecnologia de semicondutores já existente**
- ✓ **Otimização do processamento**
- ✓ **Compatibilização com outros materiais**

Desafios

- **Biocerâmicas**

- ✓ **Compatibilização entre propriedades mecânicas do material sintético e do corpo humano**
- ✓ **Otimização do processamento**
- ✓ **Compatibilização com outros materiais**

Desafios

- **Revestimentos e filmes**

- ✓ **Elucidação do fenômeno de deposição e crescimento de filmes**
- ✓ **Otimização da adesão entre o filme e substrato**
- ✓ **Aumento de reprodutibilidade**

Desafios

- **Nanocerâmicas**

- ✓ **Desenvolvimento de novas composições**
- ✓ **Integração com outros dispositivos**
- ✓ **Conhecimento do impacto sobre a sociedade**

Processamento

Processamento de cerâmicas cristalinas



Cerâmica Branca

Este grupo é bastante diversificado, compreendendo materiais constituídos por um corpo branco e em geral recobertos por uma camada vítrea transparente e incolor e que eram assim agrupados pela cor branca da massa, necessária por razões estéticas e/ou técnicas. Com o advento dos vidrados opacificados, muitos dos produtos enquadrados neste grupo passaram a ser fabricados , sem prejuízo das características para uma dada aplicação, com matérias-primas com certo grau de impurezas, responsáveis pela coloração.

- **louça sanitária**
- **louça de mesa**
- **isoladores elétricos para alta e baixa tensão**
- **cerâmica artística (decorativa e utilitária).**
- **cerâmica técnica para fins diversos, tais como: químico, elétrico, térmico e mecânico.**

Materiais Refratários

Este grupo compreende uma diversidade de produtos, que têm como finalidade suportar temperaturas elevadas nas condições específicas de processo e de operação dos equipamentos industriais, que em geral envolvem esforços mecânicos, ataques químicos, variações bruscas de temperatura e outras solicitações. Para suportar estas solicitações e em função da natureza das mesmas, foram desenvolvidos inúmeros tipos de produtos, a partir de diferentes matérias-primas ou mistura destas. Dessa forma, podemos classificar os produtos refratários quanto a matéria-prima ou componente químico principal em: sílica, sílico-aluminoso, aluminoso, mulita, magnesianocromítico, cromítico-magnesiano, carbeto de silício, grafita, carbono, zircônia, zirconita, espinélio e outros.

Isolantes Térmicos

Os produtos deste segmento podem ser classificados em:

a) refratários isolantes que se enquadram no segmento de refratários,

b) isolantes térmicos não refratários, compreendendo produtos como vermiculita expandida, sílica diatomácea, diatomito, silicato de cálcio, lã de vidro e lã de rocha, que são obtidos por processos distintos aos do item a) e que podem ser utilizados, dependendo do tipo de produto até 1100 °C

c) fibras ou lãs cerâmicas que apresentam características físicas semelhantes as citadas no item b), porém apresentam composições tais como sílica, sílica-alumina, alumina e zircônia, que dependendo do tipo, podem chegar a temperaturas de utilização de 2000° C ou mais.

Fritas e Corantes

Estes dois produtos são importantes matérias-primas para diversos segmentos cerâmicos que requerem determinados acabamentos.

Frita (ou vidrado fritado) é um vidro moído, fabricado por indústrias especializadas a partir da fusão da mistura de diferentes matérias-primas. É aplicado na superfície do corpo cerâmico que, após a queima, adquire aspecto vítreo. Este acabamento tem por finalidade aprimorar a estética, tornar a peça impermeável, aumentar a resistência mecânica e melhorar ou proporcionar outras características.

Corantes constituem-se de óxidos puros ou pigmentos inorgânicos sintéticos obtidos a partir da mistura de óxidos ou de seus compostos. Os pigmentos são fabricados por empresas especializadas, inclusive por muitas das que produzem fritas, cuja obtenção envolve a mistura das matérias-primas, calcinação e moagem. Os corantes são adicionados aos esmaltes (vidrados) ou aos corpos cerâmicos para conferir-lhes colorações das mais diversas tonalidades e efeitos especiais.

Abrasivos

Parte da indústria de abrasivos, por utilizarem matérias-primas e processos semelhantes aos da cerâmica, constituem-se num segmento cerâmico. Entre os produtos mais conhecidos podemos citar o óxido de alumínio eletrofundido e o carbeto de silício.

Vidro, Cimento e Cal

São três importantes segmentos cerâmicos e que, por suas particularidades, são muitas vezes considerados à parte da cerâmica.

Cerâmica de Alta Tecnologia/Cerâmica Avançada

O aprofundamento dos conhecimentos da ciência dos materiais proporcionaram ao homem o desenvolvimento de novas tecnologias e aprimoramento das existentes nas mais diferentes áreas, como aeroespacial, eletrônica, nuclear e muitas outras e que passaram a exigir materiais com qualidade excepcionalmente elevada. Tais materiais passaram a ser desenvolvidos a partir de **matérias-primas sintéticas de altíssima pureza** e por meio de **processos rigorosamente controlados**. Estes produtos, que podem apresentar os mais diferentes formatos, são fabricados pelo chamado segmento cerâmico de alta tecnologia ou cerâmica avançada. Eles são classificados, de acordo com suas funções, em: **eletroeletrônicos, magnéticos, ópticos, químicos, térmicos, mecânicos, biológicos e nucleares**. Os produtos deste segmento são de uso intenso e a cada dia tende a se ampliar. Como alguns exemplos, podemos citar: **naves espaciais, satélites, usinas nucleares, materiais para implantes em seres humanos, aparelhos de som e de vídeo, suporte de catalisadores para automóveis, sensores (umidade, gases e outros), ferramentas de corte, brinquedos, acendedor de fogão, etc**.

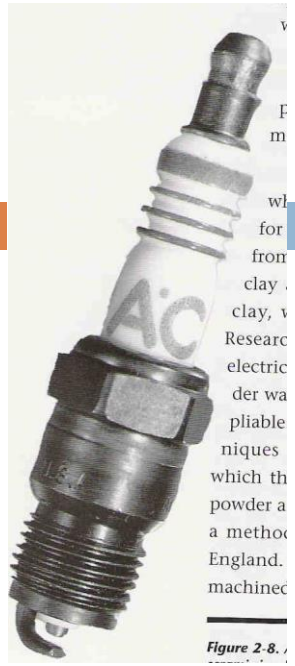


Figure 2-8.

Vela de ignição

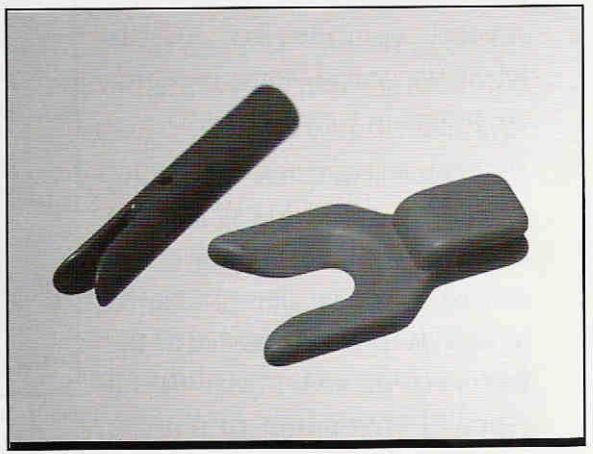
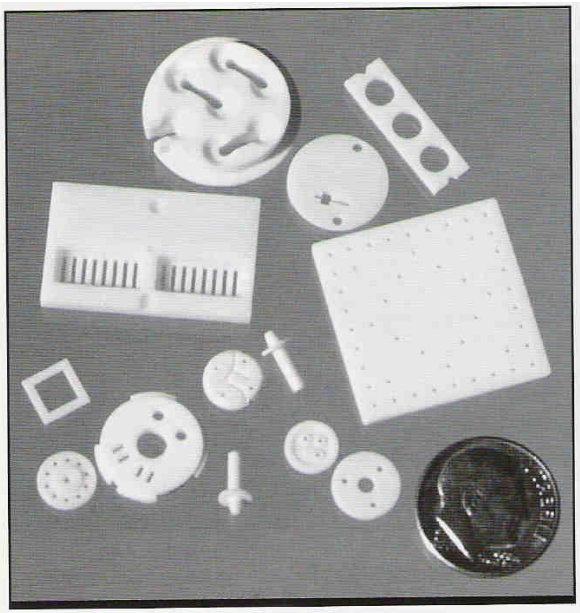


Figure 11-16. *Alumina thread guides.* (Samples from Diamonite Ceramics, about 1985. Photo by D. Richerson.)

Guias de fios



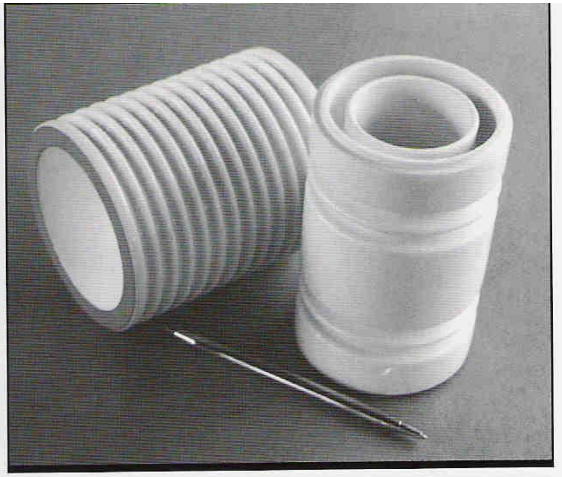


Figure 6-15. *Medium sized electrical insulators of aluminum oxide.* (Samples from Coors Ceramics, Golden, CO. Photo by D. Richerson.)

Figure 6-14.(left) *Small aluminum oxide electrical insulators for various electrical applications fabricated by Western Gold and Platinum, Belmont, CA, circa 1980.* (Photo by D. Richerson.)



Ceramic rotors under commercial production
Materials: Sintered silicon nitride

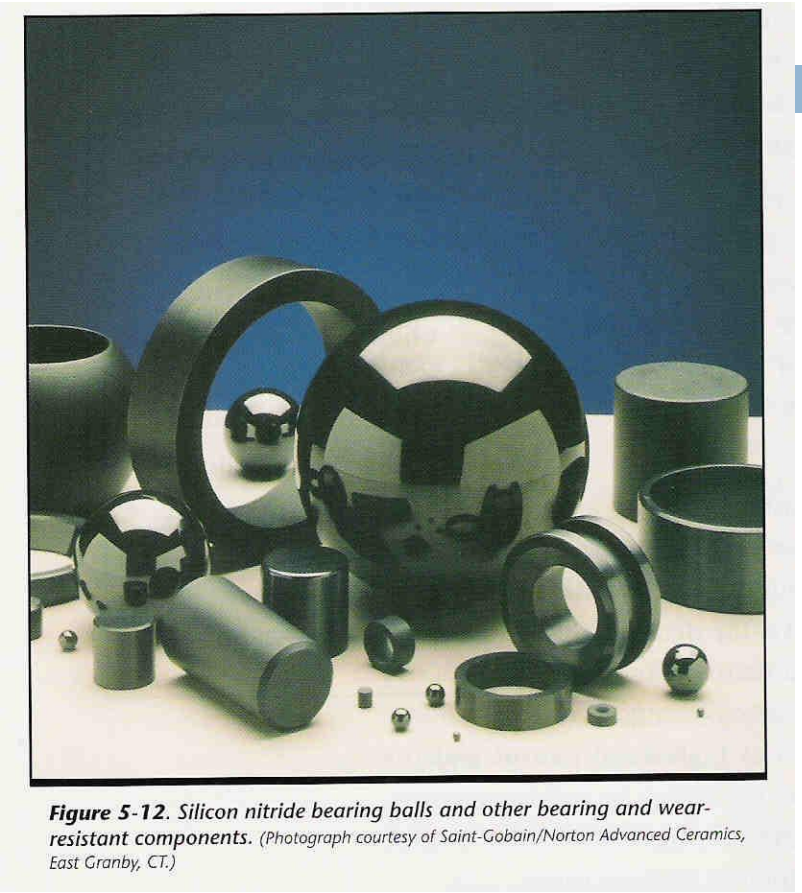
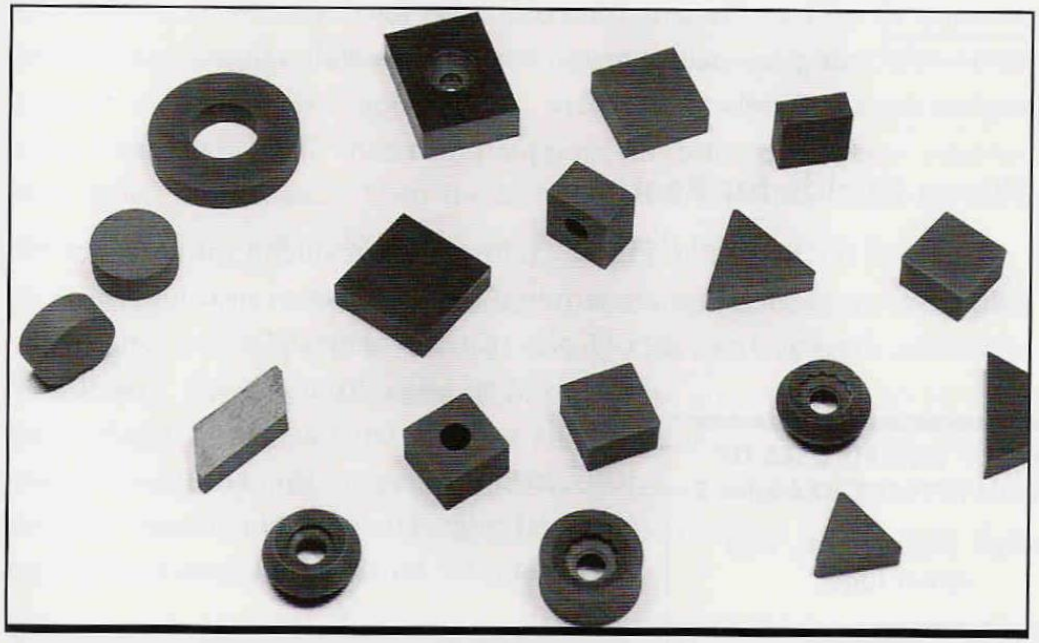


***Figure 5-12**. Silicon nitride bearing balls and other bearing and wear-resistant components.* (Photograph courtesy of Saint-Gobain/Norton Advanced Ceramics, East Granby, CT.)

Peças a base de nitreto de silício para aplicações que exigem resistência a abrasão



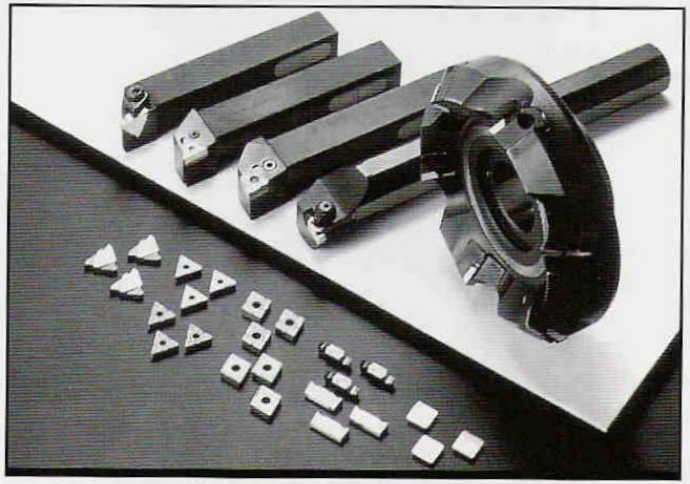
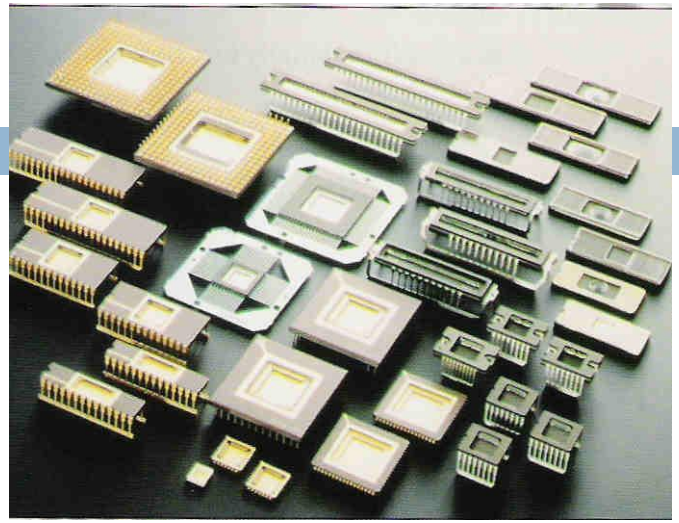


Figure 5-9. *Silicon nitride ceramic cutting tool inserts.* (Photograph courtesy of Ceradyne, Inc., Costa Mesa, CA.)

Figure 5-10. (left) *Ceramic cutting tool inserts and metal holders.* (Photograph courtesy of Kyocera.)



Cerâmicas eletrônicas

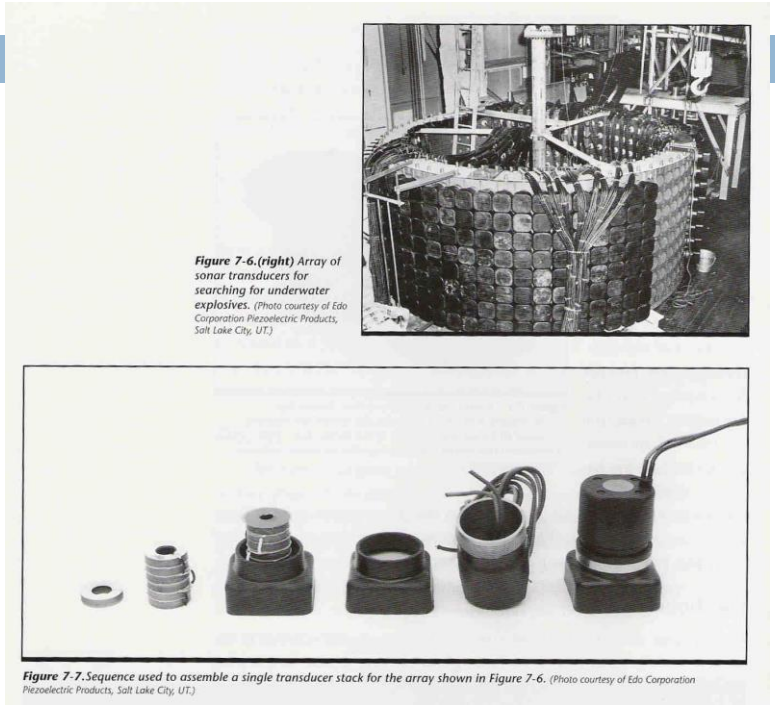


Figure 7-6.(right) *Array of sonar transducers for searching for underwater explosives.* (Photo courtesy of Edo Corporation Piezoelectric Products, Salt Lake City, UT.)

Figure 7-7. *Sequence used to assemble a single transducer stack for the array shown in Figure 7-6.* (Photo courtesy of Edo Corporation Piezoelectric Products, Salt Lake City, UT.)

Cerâmicas piezoelétricas


GEORGYNE INC.
FRONT
GEORGYNE INC.
BACK

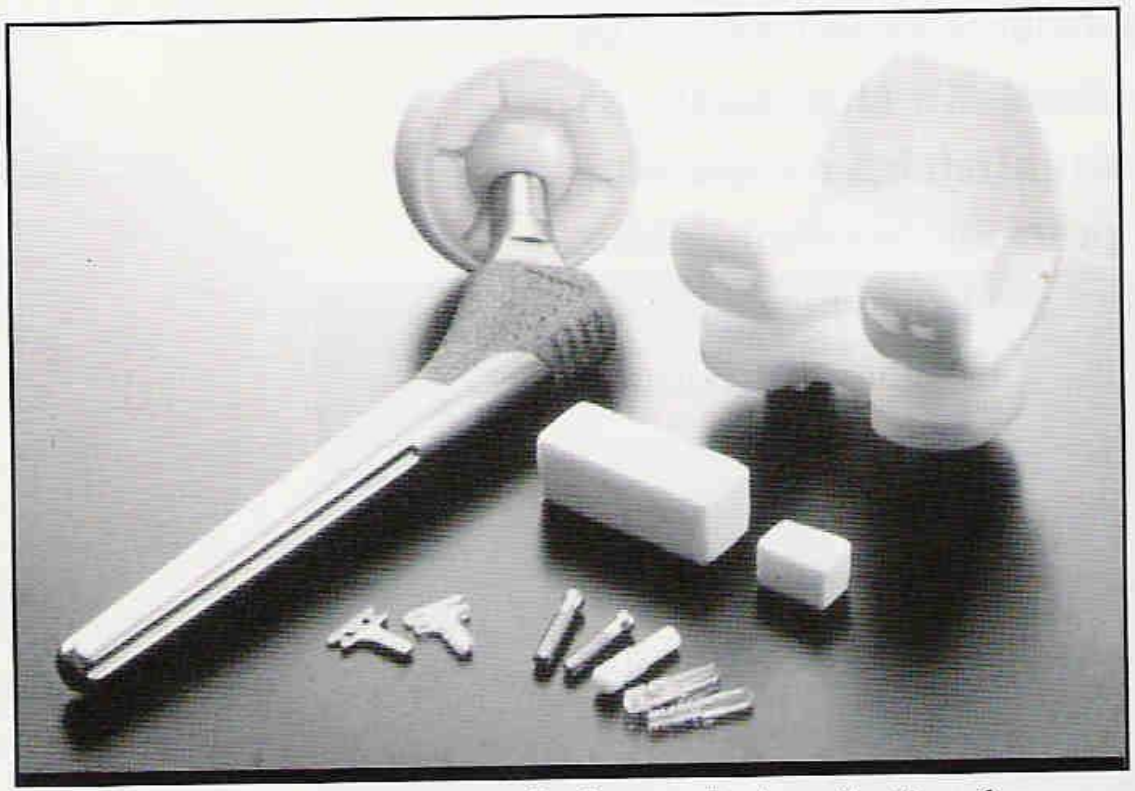
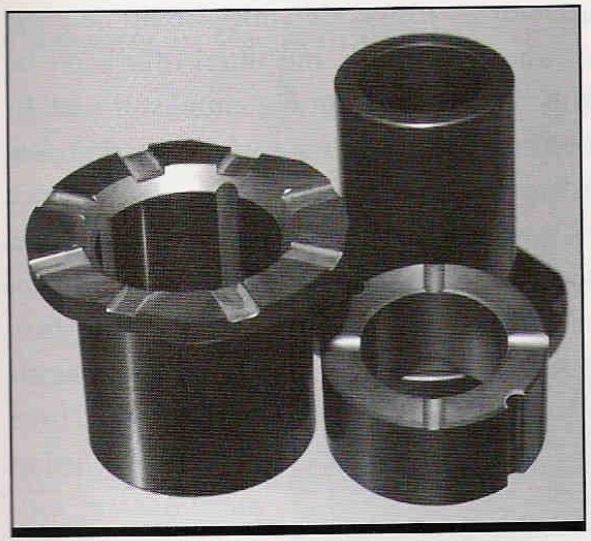
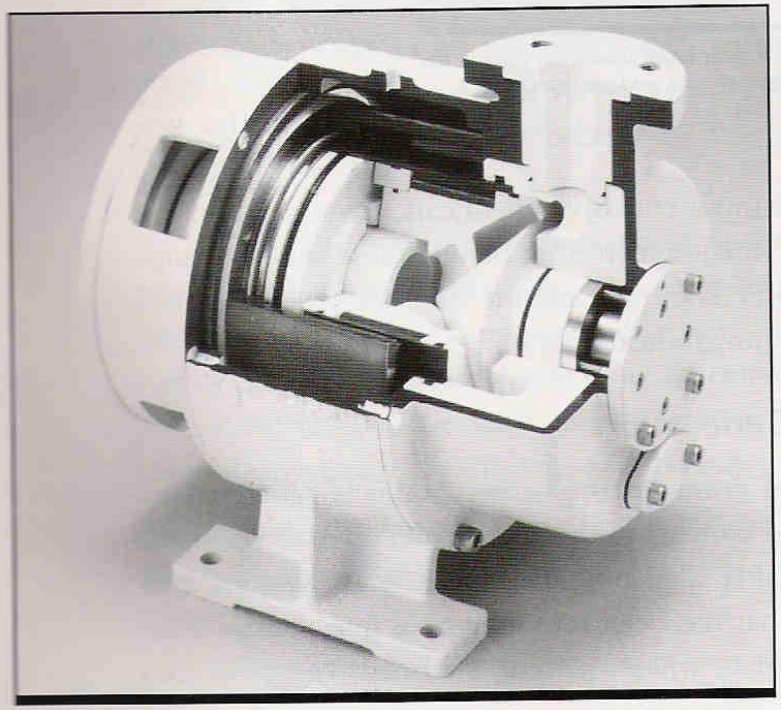


Figure 8-4. *Hip replacement and other medical applications for ceramics.* (Photo courtesy of Kyocera.)



direction and closes, to check the flow, if the fluid tries to flow backwards.

Pumps use not only ceramic seals and valves for wear resistance and chemical resistance but also ceramic bearings, plungers, rotors, and liners. The materials for these parts must survive severe conditions. For example,



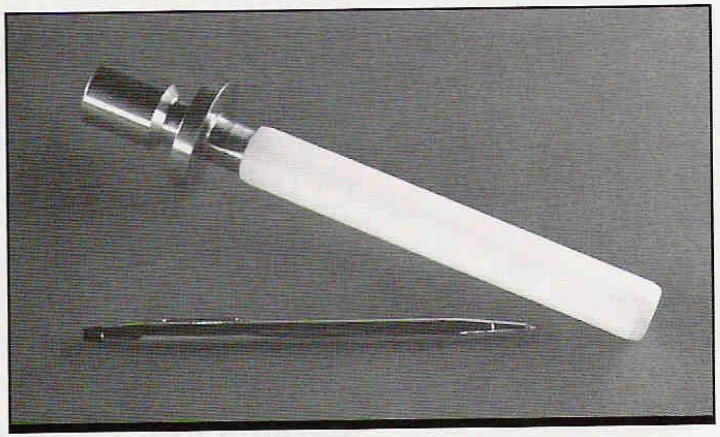


Figure 11-5.(top left) *Silicon carbide pump parts.* *(Samples supplied by Saint-Gobain/Carborundum Structural Ceramics, Niagara Falls, NY. Photo by D. Richerson.)*

Figure 11-6.(left) *Chemicals-industry pump, completely lined with ceramics.* *(Photo courtesy of Kyocera.)*

Figure 11-7.(above) *Alumina pump plunger bonded to metal.* *(Sample supplied by Coors Ceramics, Golden, CO. Photo by D. Richerson.)*