

De todos os materiais, a cerâmica é aquele que acompanha o homem há mais tempo. Quando o homem saiu das cavernas e se tornou agricultor há milhares de anos, essa nova atividade trouxe novas necessidades. Para tomar conta de sua plantação, ele necessitava de um abrigo permanente junto à terra cultivada. Precisava também de vasilhas para guardar os alimentos colhidos e as sementes da próxima safra. Essas vasilhas tinham que ser resistentes e impermeáveis à umidade e à invasão de insetos. Essas qualidades foram encontradas na argila, que era o principal material cerâmico usado naquele tempo.

A capacidade da argila de ser moldada, quando misturada à proporção certa de água, e de endurecer após a queima, permitiu que ela fosse utilizada na construção de casas, na fabricação de vasilhames para uso doméstico e armazenamento de alimentos, vinhos, óleos e perfumes, na construção de urnas funerárias e até como suporte para a escrita. Todos esses usos são tão importantes que a Arqueologia, que é a ciência que estuda a pré-história do homem, é em grande parte baseada no estudo dos fragmentos das vasilhas cerâmicas.

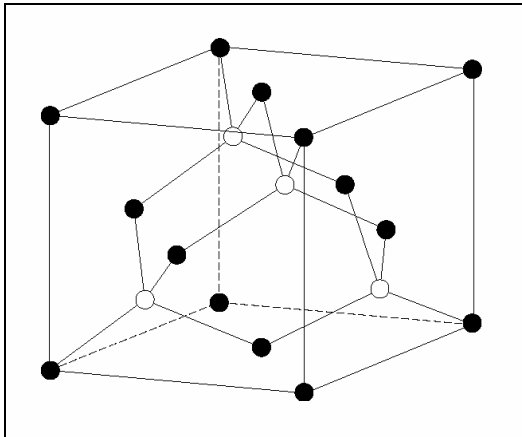
Inicialmente secos ao sol, depois em fornos abertos (por volta do ano 1000 a.C.) e posteriormente em fornos fechados (cerca de 500 a.C.), os produtos cerâmicos foram evoluindo com o homem e, à medida que ele dominava a tecnologia da queima dos combustíveis e dos materiais, esses produtos foram se tornando mais e mais sofisticados para atender às necessidades da indústria elétrica, química, siderúrgica, ótica e mecânica. Desse

modo, eles podem estar tanto na sua cozinha, quanto no ônibus espacial Colúmbia.

Nesta aula, você vai conhecer um pouquinho esse material e como, pouco a pouco, ele está se firmando na indústria mecânica como o material do futuro. Para isso, vamos falar sobre as matérias-primas, a estrutura, as propriedades e a utilização dos produtos cerâmicos, principalmente na indústria mecânica.

Afinal, o que é a cerâmica?

Existem muitas definições para explicar o que é um material cerâmico. Vamos tentar dar essa explicação sem usar muito “tecnologês”. Nos textos que a gente pesquisou, a definição mais simples encontrada foi: “Materiais cerâmicos são materiais não-metálicos, inorgânicos, cuja estrutura, após queima em altas temperaturas, apresenta-se inteira ou parcialmente cristalizada”. Isso quer dizer que, depois que o material é queimado no forno, os átomos da sua estrutura ficam arrumados de forma simétrica e repetida de tal modo que parecem pequenos cristais, uns juntos dos outros.



Essa característica da estrutura, ou seja, a cristalização, confere ao material cerâmico propriedades físicas como a refratariedade, a condutividade térmica, a resistência ao choque térmico, a resistência ao ataque de produtos químicos, a resistência à tração e à compressão e a dureza, que é muito importante para a utilização na Mecânica.

Isso permite que os produtos de cerâmica sejam usados tanto para a louça doméstica quanto para a construção civil, como material refratário de altos-fornos e ferramentas de corte em máquinas-ferramentas.



E quais são as matérias-primas que, após o processamento adequado, adquirem essas propriedades? Primeiro, é preciso esclarecer que isso depende do uso que o produto vai ter. Assim, se você quiser fabricar louça doméstica, material sanitário ou material de laboratório para a indústria química, por exemplo, terá que usar argila, caulim, quartzo e feldspato, misturados em diferentes proporções e queimados em temperaturas entre 1.000°C e 1.300°C , de acordo com o produto a ser fabricado.

Se for necessária a fabricação de um material refratário, você terá de usar argilas refratárias, caulim, diásporo, bauxita, cianita, silimanita, corindon, quartzito etc. nas proporções adequadas e queimados a temperaturas entre 1.400°C e 1.700°C .

Se você quiser ainda cerâmicas para usos muito especiais, chamadas de cerâmicas avançadas, terá que utilizar matérias-primas sintéticas (como o nitreto cúbico de boro, a alumina, a zircônia ou o carbetto de silício) de alta pureza obtidas sob condições controladas, para produzir, por exemplo, materiais para ferramentas de corte.

O quadro a seguir foi organizado para você ter uma visão geral de algumas matérias-primas e produtos cerâmicos, bem como algumas de suas propriedades.

Matéria-prima	Designação	Temp. de queima	Propriedades	Produtos
Argila	Louça de barro Faiança e Majólica	800 a 1.000°C 900 a 1.000°C	Baixa/média resistência mecânica	Vasos, filtros, cerâmica artística
Argila, caulim, feldspato, quartzo	Pó de pedra Porcelana Grês branco	1.100 a 1.250°C 1.300 a 1.400°C 1.250 a 1.300°C	Baixa/média resistência mecânica. Elevada resistência mecânica. Resistência mecânica muito elevada.	Louça doméstica. Material p/laboratórios químicos. Material sanitário
Argilas refratárias, caulim	Silício- aluminoso	1.200 a 1450°C	Resistência a temperaturas de até 1.400°C. Baixa resistência à escória básica.	Tijolos ou peças refratárias de uso geral.
Diásporo, Bauxita, Cianita, Silimanita, Corindon	Aluminoso	1.400 a 1700°C	Resistência a temperaturas de até 1.785°C. Maior resistência à escória básica e ácida.	Tijolos e peças refratárias de uso geral.
Quartzito	Sílica	1.450°C	Resistência a temperaturas entre 1.680°C e 1.700°C. Resistência a escórias ácidas	Refratários para a construção de abóbadas de fornos.

As propriedades dos materiais cerâmicos dependem da quantidade e do arranjo de três fases: cristalina, vítrea e porosa.

A fase cristalina, que pode ser uma ou mais de uma, é o modo como os átomos, moléculas e íons se organizam dentro de um material de maneira fixa, regular e repetitiva. Ela é responsável pela estabilidade e pela densidade do material e está presente nos minerais naturais. Nos produtos cerâmicos, as reações ocorridas durante a queima destroem as estruturas cristalinas naturais e reagrupam essas estruturas, formando novas, que são responsáveis pelo desempenho do produto.

A fase vítrea dá certas características e propriedades ao corpo cerâmico. Ela funciona mais ou menos como o cimento na construção civil: age como ligante das fases cristalinas sólidas, da mesma forma como o cimento une as pedras no concreto. Ela confere resistência mecânica à peça quando em temperatura ambiente. Promove também a translucidez (no caso da porcelana). E, finalmente aumenta a tendência à deformação quando o produto é exposto a altas temperaturas. Isso é extremamente indesejável nos produtos refratários, ou seja, aqueles que precisam resistir a altas temperaturas, porque a fase vítrea se torna fluida abaixo de 1.000°C causando deformação no produto. Nas cerâmicas avançadas para ferramentas de corte, as fases vítreas causam a diminuição da dureza, que é uma propriedade fundamental para essa aplicação.

A fase porosa é o espaço vazio entre os grãos sólidos, ou dentro dos grãos sólidos, que formam o material cerâmico. Essa fase pode ser aberta ou fechada. Ela é aberta quando deixa um caminho aberto até a superfície e permite a absorção de água, gases etc. Ela é fechada quando está fechada dentro de um grão ou cercada de grãos por todos os lados. O ar fica preso lá dentro e impede a passagem do calor. Isso torna o material cerâmico um isolante térmico.

Parece que já é hora de dar uma paradinha, certo? Vamos lá, então.

Para parar e estudar

Esta primeira parte da aula apresentou um material que você nem suspeitava que tivesse ligações com a indústria mecânica. Pare e estude um pouco sobre ele. Use os exercícios a seguir para ajudá-lo.

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:
 - a) O que é um material cerâmico?
 - b) Cite algumas propriedades do material cerâmico.
 - c) Cite três produtos feitos com material cerâmico.
 - d) O que é a fase cristalina?
 - e) Qual a importância da fase cristalina para um material cerâmico?
 - f) O que a fase vítrea dá ao produto cerâmico?
2. Combine a coluna de matéria-prima (**A**) com a coluna de produtos (**B**):

Coluna A

- a) () Argilas refratárias, caulim.
- b) () Nitreto cúbico de boro.
- c) () Quartzito.
- d) () Argila, caulim, quartzo e feldspato.
- e) () Argila.

Coluna B

1. Louça doméstica.
2. Ferramentas de corte.
3. Tijolos ou peças refratárias de uso geral.
4. Cerâmica artística.
5. Vasos.
6. Sanitários.

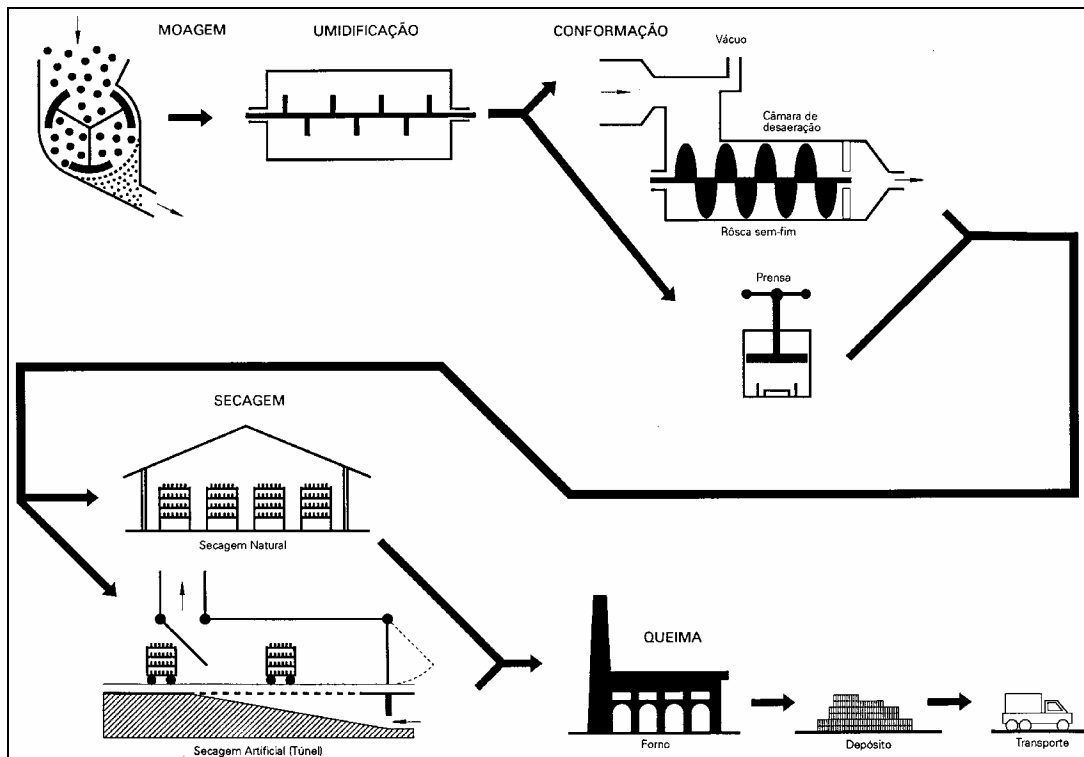
Como se faz um produto cerâmico?

Continuando a pesquisa em busca de informações para você sobre os materiais cerâmicos, chegamos aos processos de fabricação. Não custa lembrar que os produtos cerâmicos são obtidos pela secagem e queima de materiais argilosos. As argilas, por sua vez, compreendem o conjunto de minerais compostos, principalmente dos silicatos de alumínio hidratado, que possuem a propriedade de formarem com a água uma massa plástica, que conserva a forma moldada e endurece sob a ação do calor. Dos

minerais argilosos, que são muitos, somente a caulinita e a illita têm valor econômico para a fabricação de produtos cerâmicos.

A não ser que você deseje fabricar um produto muito especial, geralmente, esses materiais argilosos são processados nas seguintes etapas:

1. Mistura, onde as matérias-primas previamente tratadas e dosadas são homogeneizadas, ou seja, misturadas de forma homogênea.
2. Moagem, na qual o material é moído para reduzir o tamanho dos grãos até diâmetros máximos inferiores a 0,074 mm. Isso dá ao material a aparência de um pó bem fino. Para a fabricação de produtos refratários, os grãos são mais grossos.
3. Umidificação, com acréscimo de água para formar a massa cerâmica. A quantidade é determinada pelo método de conformação que será empregado.
4. Conformação, onde as peças são produzidas por vários métodos: colagem, torneamento, extrusão, prensagem ou injeção.
5. Secagem, que pode ser natural ou artificial, na qual grande parte da água livre (umidade superficial) é evaporada.
6. Queima, cuja temperatura é definida em função da composição química da mistura e na qual o aumento de temperatura causa as seguintes reações: desidratação, calcinação (decomposição química pelo calor), oxidação (ligação de um elemento químico com o oxigênio da atmosfera do forno) e formação de silicatos. Estas reações promovem transformações que geram sólidos cristalinos e vítreos (não cristalinos) com a textura adequada para desenvolver as propriedades desejadas. O conjunto dessas modificações promovidas pelo calor, é chamado de sinterização. Todo esse processo é representado esquematicamente na ilustração a seguir. Observe.



O que você deve observar nesse processo, é a importância do calor para que o produto cerâmico tenha garantidas as propriedades que o caracterizam. Isso é muito importante.

Para parar e estudar

Estude esta segunda parte da aula e faça o exercício a seguir.

Exercício

3. Responda:

- Por que a queima é tão importante no processo de fabricação de um produto cerâmico?
- O que é sinterização?

Motor de cerâmica? Como pode?!

Mesmo que você não tivesse lido as duas primeiras partes da aula, com certeza seria capaz de citar vários produtos feitos de

cerâmica porque eles são muito comuns em nossa vida. A gente até pode construir casas sem tijolos, telhas, pisos, azulejos, sanitários, mas ela certamente não será tão confortável, nem tão bonita e muito menos tão fácil de manter limpa.

Mas se a gente disser os termos **cerâmicas avançadas**, a coisa vai ficar um pouco mais complicada. Embora esse tipo de produto já tenha sido citado nesta lição, você provavelmente terá dificuldades de lembrar nomes de produtos além dos já citados.

Para acabar com o suspense, podemos dizer que essa expressão define produtos cerâmicos manufaturados a partir de matérias-primas puras, normalmente sintéticas e conformadas por processos especiais, sinterizadas em condições rigidamente controladas a fim de apresentarem propriedades superiores. A fase cristalina desses produtos se desenvolve na obtenção da matéria-prima. A fase vítrea é quase inexistente e a queima do produto tem unicamente a finalidade de aglomerar, isto é, juntar, as partículas cristalinas. Nessa fase, ocorre uma reação que solda os grãos entre si. Isso acontece por um processo de difusão dos elementos químicos que constituem o grão.

Acredite se quiser

O ônibus espacial Colúmbia usa 24.192 placas de cerâmica térmica como revestimento protetor contra as altas temperaturas. Estas são decorrentes do atrito da nave, em alta velocidade, com a atmosfera. Cada placa é feita individualmente e não há duas iguais em toda a nave.

Para você ter uma idéia da abrangência de utilização das cerâmicas avançadas, montamos o quadro a seguir com as matérias-primas, aplicações, propriedades e produtos deste tipo de material.

Matéria-prima	Aplicação	Propriedades	Produtos
Óxido de ferro; carbonato de bário e de estrôncio; titanato de bário	Cerâmicas elétricas e magnéticas	Magnetismo, dieletri- cidade, piezo- eletricidade, semi- condutividade.	Capacitores; geradores de faísca; semiconduto- res; eletrólitos sólidos; ferritas; ímãs; varistores e termistores.
Alumina Zircônia	Cerâmicas químicas e eletroquímicas	Capacidade de adsorção; resistência à corrosão; catálise.	Suportes de catalisado- res; sensores de gases; eletrólitos sólidos.
Alumina Vidro de sílica	Cerâmicas óticas	Condensação ótica; translucidez; fluores- cência; condução de luz.	Lâmpada de descarga elétrica de vapor de sódio; memórias óticas; cabos óticos; diodo emissor de luz; polariza- dores.
Alumina Zircônia	Cerâmicas térmicas	Condutividade térmica; isolamento térmico; refratarieda- de; absorção de calor; resistência ao choque térmico.	Radiadores de infra- vermelho; isolantes térmicos; refratários; eletrodos de zircônia- yttria para controle de oxigênio na fabricação do aço.
Alumina	Cerâmicas Biológicas	Biocompatibilidade	Implantes para substituir dentes, ossos, juntas.
Zircônia Alumina Carbeto de boro	Cerâmicas nucleares	Resistência à corrosão, às altas temperaturas e à radiação; refratarie- dade	Materiais para blinda- gem; revestimento de reatores
Carbeto de boro Carbeto de silício Nitreto de silício Alumina Zircônia	Cerâmicas mecânicas e termomecânicas	Alta resistência mecânica e à abrasão; baixa expansão térmica e alta resistência ao choque térmico; capacidade de lubrificação; elevado ponto de fusão; elevada condutivida- de térmica.	Ferramentas de corte; esferas e cilindros para moagem; bicos de maçaricos; acendedores para caldeiras; pás de turbina para alta veloci- dade; anéis de vedação de bombas d'água; rotores.
Zircônia Alumina Nitreto de silício	Cermetes	Alta resistência à compressão, à deformação plástica e ao desgaste; alta dureza e grande estabilidade química.	Pontas de ferramentas de corte e furadeiras; pastilhas de freio.

Esse quadro resume bem as utilizações das cerâmicas avançadas. Mas, vamos nos deter um pouco mais nas possibilidades de aplicação que esses materiais trazem para a indústria mecânica. Nos últimos quinze anos houve um grande avanço no desenvolvi-

mento de materiais cerâmicos para ferramentas. Esses materiais apresentam elevada dureza, resistência ao desgaste, à deformação plástica e alta estabilidade química. Atualmente, esses materiais representam cerca de 4 a 5% do material usado nas pontas das ferramentas para o corte de metais. São usadas na indústria automobilística, principalmente para a usinagem em alta velocidade de ferro fundido cinzento, na produção de tambores e discos de freio e volantes. São usadas também para a usinagem em alta velocidade de superligas de ferro fundido especial e aços de alta resistência.

No que diz respeito à indústria automobilística, os materiais cerâmicos têm sido alvo de grande interesse. Muito dinheiro tem sido investido no desenvolvimento de componentes de motores feitos de materiais cerâmicos. As vantagens são inegáveis: redução de volume e peso (25% menos pesado que um motor de metal); dispensa refrigeração porque pode trabalhar a temperaturas de até 800°C; apresenta melhor aproveitamento do combustível e maior eficiência do motor em termos de potência; não causa poluição.

Essas vantagens decorrentes das excelentes propriedades das cerâmicas avançadas, abrem um amplo campo de aplicações para a fabricação de blocos de motores, virabrequins, válvulas, pistões, cilindros, cabeçotes, sistemas de exaustão, câmaras de pré-combustão, mancais, cabeças de pistões. Todavia, parece que um dos problemas mais críticos a serem contornados é o controle da tolerância: nos componentes dos motores, elas variam entre 10 e 300 microns. As peças de cerâmica, por sua vez, apresentam alta dureza o que dificulta muito a usinagem. Para evitá-la, é preciso produzir peças mais próximas das medidas finais, o que significa controlar estreitamente a retração causada pela sinterização.

Outro problema da cerâmica avançada é a fragilidade. Ao receber um choque, ela não se deforma como o metal. Pelo contrário, rompe-se de forma catastrófica. Você já imaginou usar um motor que corre o risco de se quebrar inteiro em um acidente de trânsito?

De qualquer modo, as pesquisas continuam e vários programas de testes com válvulas cerâmicas de nitreto de silício (Si_3N_4), que são

mais leves e mais resistentes que o aço, estão demonstrando a alta durabilidade que esse material pode alcançar. Outra aplicação potencial em motores a gasolina é como rotor turbo-alimentador: a fábrica japonesa Nissan introduziu, com sucesso, os rotores de nitreto de silício em um de seus modelos do ano de 1985.

Anéis de vedação de bombas d'água feitos de carboneto de silício apresentam maior resistência ao desgaste, a choques e à corrosão que os materiais de vedação convencionais. Atualmente, na Europa, mais de um milhão desses anéis estão sendo usados.

Uma vez superadas as dificuldades atuais de processamento (baixa tenacidade e conseqüente baixa resistência à fratura), os materiais cerâmicos abrem uma perspectiva muito interessante para se tornar um dos mais usados na indústria mecânica, particularmente a automobilística, no século XXI. É um casamento de futuro, ou não é?

Para parar e estudar

Nesta última parte da aula falamos das cerâmicas avançadas. Preparamos alguns exercícios para ajudar você a estudar o assunto.

Exercícios

4. Escreva **V** para as afirmações verdadeiras e **F** para as falsas.
- a) () Os materiais cerâmicos são usados atualmente para produzir ferramentas de corte para usinagem em baixa velocidade.
 - b) () Um dos maiores problemas para a utilização da cerâmica avançada na construção de motores de veículos é sua fragilidade.
 - c) () A cerâmica avançada deve ser usada na construção de partes para equipamentos que devem trabalhar em regimes de altas temperaturas.

- d) () Um motor feito de cerâmica tem menor volume e menor peso, dispensa refrigeração e economiza combustível.
5. Com base no que você estudou nesta última parte da aula, comente o trecho a seguir, retirado da página 14 da revista **Dirigente Industrial** de julho de 1988: “A antropologia (ciência que estuda a evolução do homem) ensina que o homem iniciou sua evolução lapidando a pedra. Depois, fundiu o metal e, mais recentemente, processou o plástico. O próximo estágio, para alguns estudiosos, será uma espécie de retorno às origens: o homem passará a explorar as ilimitadas potencialidades da cerâmica”.
6. “Já é comum no Japão, Estados Unidos e Alemanha, médicos implantarem próteses de biocerâmica que, além de mais leves, são mais resistentes que alguns dos elementos artificiais normalmente utilizados”. (**Dirigente Industrial**, julho de 1988, pág. 18) Este trecho cita duas propriedades que a biocerâmica tem. Quais são elas? Com base no que você estudou, que outra propriedade a biocerâmica tem **necessariamente**?

Avalie o que você aprendeu

Agora estude toda a aula novamente e faça o teste a seguir.

7. O trecho a seguir foi retirado do livro **Materiais para a Indústria Automobilística** de Carlos Bottrel Coutinho (pág. 398). Leia-o e responda à pergunta que apresentamos abaixo:
- “Em motores diesel experimentais, as cerâmicas são usadas em camisas de cilindro, pistões, pinos de êmbolo, câmaras de combustão e revestimentos. Estes motores ... operam eficientemente com sistemas de resfriamento menores do que os convencionais. ... É pouco provável, contudo, que qualquer destas aplicações entre em produção industrial antes do final do século”.

Com base no que você estudou nesta aula, comente a utilização da cerâmica no motor diesel e tente justificar porque essas aplicações só entrarão em produção industrial no próximo século.

Gabarito

1. a) É um material não-metálico, inorgânico, cuja estrutura, após queima em altas temperaturas, apresenta-se inteira ou parcialmente cristalizada.
b) Refratariedade, condutividade térmica, resistência ao choque térmico, resistência à tração etc.
c) Louça doméstica, louça sanitária, reboło etc.
d) É o modo como os átomos, moléculas e íons se organizam dentro de um material, de maneira fixa, regular e repetitiva.
e) Ela é responsável pela estabilidade e densidade do material e está presente nos minerais naturais.
f) Há certas características e propriedades ao corpo cerâmico: confere resistência mecânica à peça, quando em temperatura ambiente, por exemplo.
2. a) 3 b) 2 c) 6
d) 1 e) 4
3. a) Porque promove transformações que geram sólidos cristalinos a vítreos (não cristalinos), com a textura adequada para desenvolver as propriedades desejadas.
b) É o conjunto das seguintes modificações: desidratação, calcinação (decomposição química pelo calor), oxidação e formação de silicatos.
4. a) F b) V
c) V d) V
6. São mais leves e mais resistentes e, por suas características, são apropriadas para implantes de ossos, juntas e substituição de dentes.

7. - As probabilidades de uso industrial somente serão possíveis, após superadas as dificuldades de processamento como a baixa tenacidade e conseqüente baixa resistência à fratura. Deve-se, ainda, considerar o controle da retração causada pela sinterização.