

Lista de Exercícios

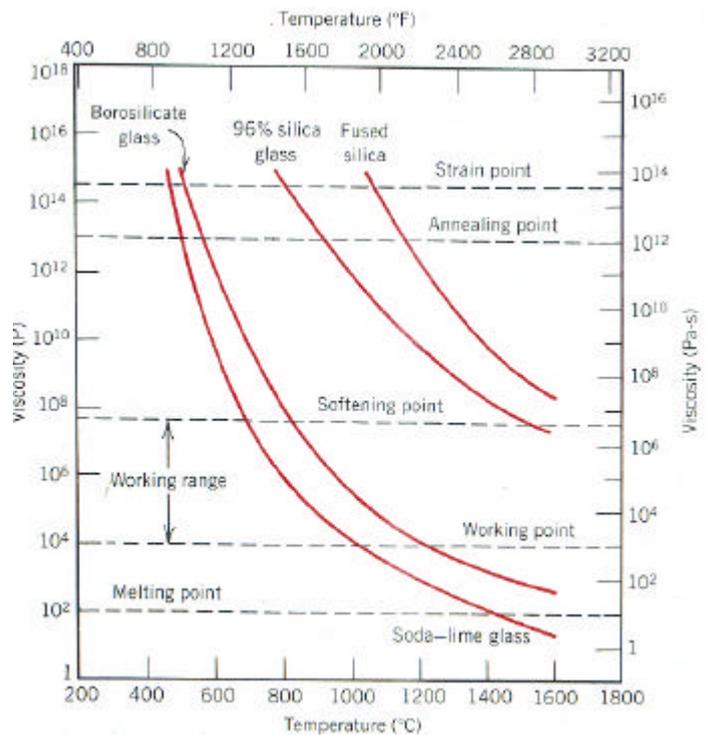
Materiais Cerâmicos

1. Num vidro, a deformação pode ocorrer por meio de um escoamento isotrópico viscoso se a temperatura for suficientemente elevada. Grupos de átomos, como por exemplo cadeias de silicato, podem se mover uns em relação aos outros pelo efeito da tensão aplicada, permitindo a deformação. A resistência à uma tensão aplicada é devida à atração entre esses mesmos grupos de átomos. Essa resistência é relacionada à viscosidade η do vidro, que depende da temperatura segundo a equação:

$$h = h_0 \exp\left(\frac{E_h}{RT}\right)$$

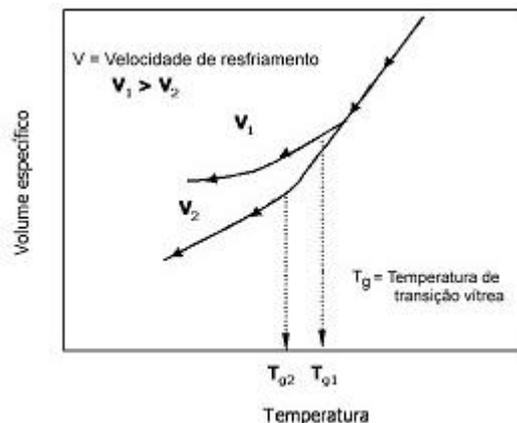
onde η é a viscosidade do vidro na temperatura T, η_0 é uma constante, R é igual a 8,314 J/mol.K e E_h é a energia de ativação do fluxo viscoso (relacionada com a facilidade com a qual os grupos de átomos se movem uns em relação aos outros).

Com base na figura ao lado, sabendo-se que o valor de η_0 para a sílica fundida é $8,926 \times 10^{-9}$ Pa.s calcule o valor da energia de ativação E_h para esse material.
Sugestão: tome o valor da viscosidade e da temperatura no “annealing point”, pois nesse ponto a viscosidade é bem definida.



2. Considerando a figura dada na questão 2, explique a principal dificuldade de conformação da sílica fundida em relação ao vidro de borossilicato.

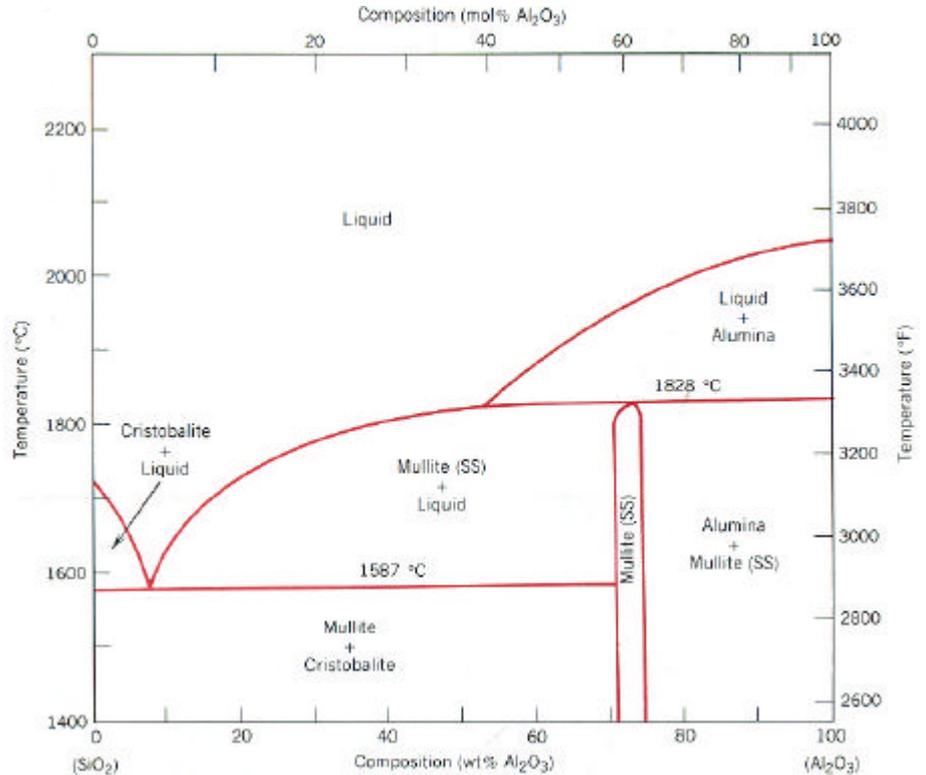
3. Como pode ser produzido o vidro temperado? Justifique sua resposta com base na figura ao lado.



4. Por que os materiais cerâmicos cristalinos geralmente não podem ser fabricados como os materiais poliméricos e os materiais metálicos? Quais são os processos de fabricação utilizados na fabricação de materiais cerâmicos cristalinos?

5. Por meio de ensaios de fluência, sabe-se que um refratário sílico-aluminoso constituído essencialmente de mullita pode trabalhar satisfatoriamente a 1700°C mesmo quando existe até 20% de uma fase líquida envolvendo as partículas sólidas cristalinas de mullita.

Com base nessa informação, e considerando o diagrama de fases apresentado ao lado, qual seria a composição das matérias primas, em termos de porcentagem de Al_2O_3 , que deveria existir para que a condição de operação a 1700°C fosse atendida?



Extra 1. Quais as principais diferenças existentes entre um produto cerâmico constituído essencialmente de fases cristalinas (por exemplo, um tijolo, uma vela de automóvel, uma pia ou uma telha) e um produto cerâmico não cristalino (por exemplo, uma garrafa de cerveja, um vidro plano em uma janela) ?

Lista de Exercícios

Materiais Cerâmicos - Resolução

1

Seguindo a sugestão apresentada no enunciado, pode-se observar no gráfico que a temperatura na qual a viscosidade η é igual a 10^{12} Pa.s é aproximadamente igual a 1180°C. Como o valor de η_0 é dado, basta entrar com os valores na equação e fazer os cálculos:

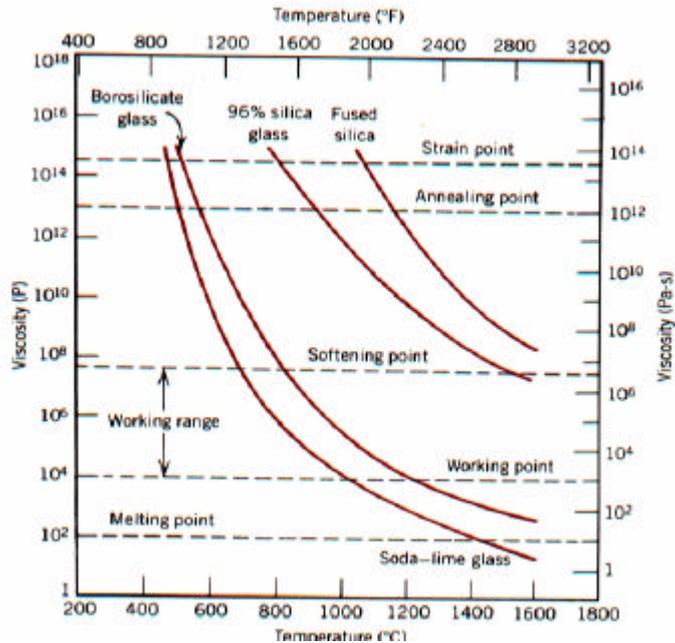
$$h = h_0 \exp\left(\frac{E_h}{RT}\right) \Rightarrow 10^{12} = (8,926 * 10^{-9}) \exp\left(\frac{E_h}{8,314 * 1180}\right)$$

$$\ln(1,120 \cdot 10^{20}) = \left(\frac{E_h}{8,314 \cdot 1180} \right) \Rightarrow E_\eta = 452,9 \text{ kJ/mol}$$

2

A principal dificuldade de conformação da sílica fundida com relação aos outros vidros de sílica se deve a sua alta viscosidade (baixa fluidez) mesmo em temperaturas muito elevadas (temperaturas de trabalho acima de 1800°C). Desta forma, este material não pode ser trabalhado facilmente.

Já o vidro de borossilicato apresenta viscosidade que permite a sua conformação relativamente fácil entre as temperaturas de 800°C a 1200°C.

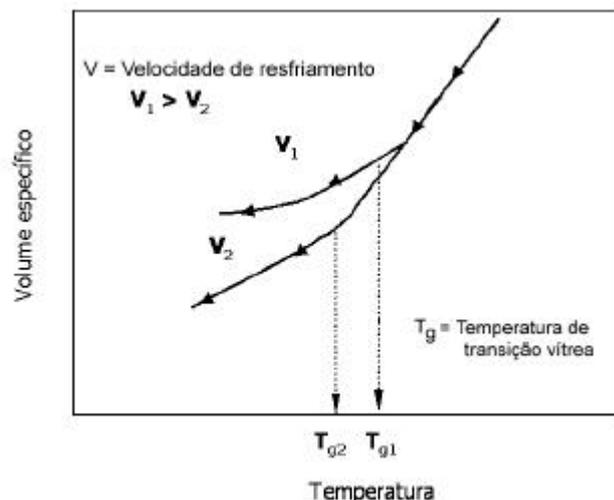


3

O vidro temperado pode ser obtido pelo aquecimento da peça de vidro conformada a uma temperatura abaixo do ponto de fusão, seguido de um resfriamento superficial rápido.

Como pode ser visto na figura na próxima página, quando a velocidade de resfriamento é mais rápida, a densidade final do vidro é menor (volume específico maior). Como a superfície é resfriada muito mais rapidamente que o interior sua densidade fica maior que a do interior do vidro que resfria lentamente. Isso ocorre porque *o vidro é um mau condutor de calor*.

Desta forma, a superfície do vidro fica sob compressão em relação ao seu interior, e é esse fato que melhora as propriedades mecânicas do vidro temperado. É importante lembrar que o comportamento mecânico do vidro é fortemente influenciado pelos seus defeitos superficiais. Estando a superfície sob compressão, é mais difícil ocorrer a propagação de trincas, e, dessa forma, as propriedades mecânicas são melhoradas.



4

Os materiais cerâmicos cristalinos apresentam alto ponto de fusão e uma baixa ductilidade. Desta forma, não podem ser fundidos ou amolecidos a temperaturas ordinárias e não podem ser deformados a frio.

Os processos de fabricação necessitam então de uma via alternativa onde o pó das matérias primas é misturado a um meio fluído (como a água), e esta suspensão viscosa (que, de acordo com a viscosidade pode ser chamada de massa ou pasta, quando se trata de misturas com comportamento plástico, ou ainda de barbotina, no caso de suspensões fluídas) apresenta plasticidade ou fluidez suficiente para ser conformada.

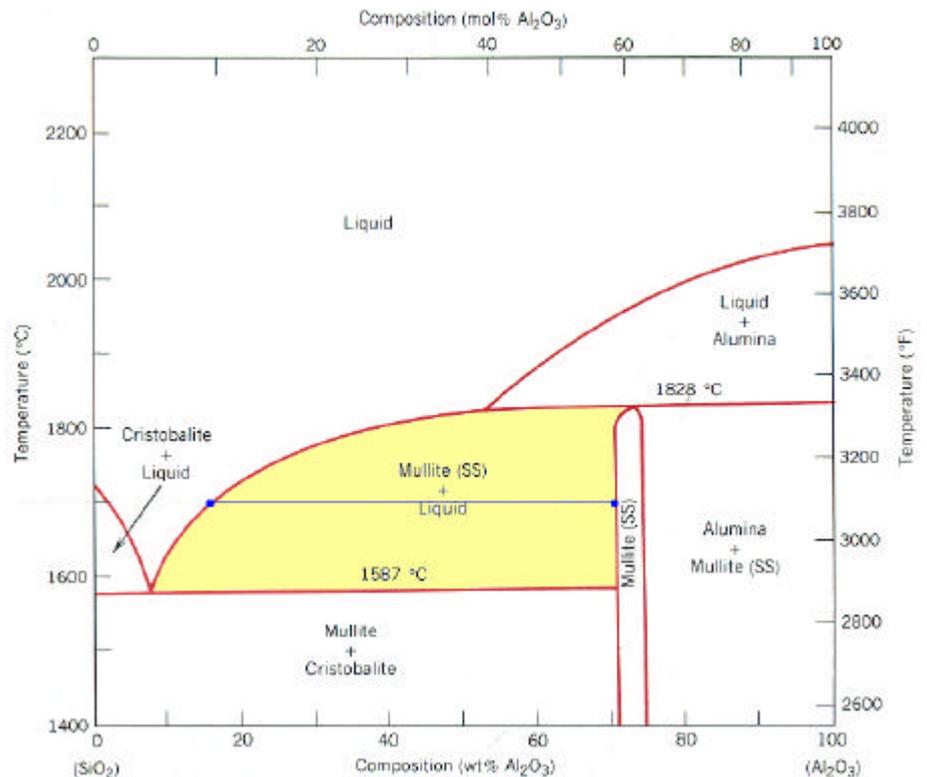
Os processos de fabricação mais importantes são:

- prensagem simples ou uniaxial
- prensagem isostática
- extrusão
- injeção
- colagem de barbotina
- torneamento
- combinações entre os processos anteriores.

5

Em primeiro lugar, é necessário localizar a região do diagrama de fases na qual coexistem a mulita e a fase líquida na temperatura indicada, 1700°C.

A faixa de concentrações onde coexistem essas duas fases a 1700°C é indicada na figura ao lado, e a faixa de composições nas quais essas duas fases coexistem é limitada entre 16%p de Al_2O_3 (composição da fase líquida) e 71%p de Al_2O_3 (composição da mulita).



A porcentagem de alumina (Al_2O_3) que corresponde a uma porcentagem de 20% de fase líquida (%L) pode ser calculada através da regra da alavanca:

$$\%L = 20 = \frac{71 - x}{71 - 16} * 100$$

$$\text{Assim : } 71 - x = (0,20) (71-16)$$

$$x = 60\% \text{ Al}_2\text{O}_3$$

Dessa forma, se a composição da matéria prima do refratário contiver entre 60% e 71% de Al_2O_3 , a porcentagem da fase líquida presente será sempre igual ou inferior a 20%.

Para porcentagens maiores que 71%, não haverá a formação de fase líquida a 1700°C: ou teremos apenas mulita (para porcentagens de Al_2O_3 entre 71% e 75,8%), ou então teremos alumina e mulita, para porcentagens de Al_2O_3 superiores a 75,8%.

Extra 1

Os **vidros** não são materiais cristalinos. Eles são materiais amorfos, apresentando à temperatura ambiente uma estrutura desordenada, similar à dos líquidos, porém com uma viscosidade extremamente alta, o que lhes confere para todos os efeitos o comportamento de sólidos frágeis.

Os vidros, diferentemente dos materiais cerâmicos cristalinos, não apresentam ponto de fusão definido, mas sim uma temperatura (ou uma faixa de temperaturas) a partir da qual seu volume específico aumenta mais rapidamente e sua viscosidade diminui a ponto de permitir sua conformação. Essa temperatura é denominada temperatura de transição vítrea.

No Callister, podem ser encontradas informações mais detalhadas a respeito dos vidros nos itens 13.3, 14-2, 14.3 e 14.4.

Os produtos cerâmicos compostos essencialmente de fases cristalinas tem a maior parte de seus corpos formada de cristais, constituídos de elementos metálicos ou semi-metálicos e elementos não metálicos, ligados por ligações de caráter misto, iônico-covalente. Devido à natureza de suas ligações químicas (que são fortes e direcionais, como visto no início do curso), os cristais que compõem esses materiais não são dúcteis e apresentam temperaturas de fusão elevadas, não podendo dessa forma os produtos cerâmicos essencialmente constituídos por cristais serem conformados da mesma forma que os metais, os polímeros e mesmo os produtos cerâmicos vítreos (vidros).

Ao longo do seu processo de fabricação, em muitos produtos cerâmicos essencialmente constituídos por cristais pode ser formada também uma certa quantidade de fase vítrea, que pode afetar ou até mesmo controlar o desempenho do produto acabado: por exemplo, em produtos cerâmicos que devem trabalhar em alta temperatura, observa-se geralmente que quanto maior a porcentagem de fase vítrea presente, menor é a temperatura máxima de trabalho e maior é a fluência do material.

No Callister, podem ser encontradas informações mais detalhadas a respeito dos materiais cerâmicos cristalinos nos itens 13.1, 13.3, 13.7 a 13.10, 14.6 a 14.9.