

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA DO BRASIL

GABARITO DESENVOLVIDO

CP-CEM/ 2020 - ENGENHARIA DE MATERIAIS

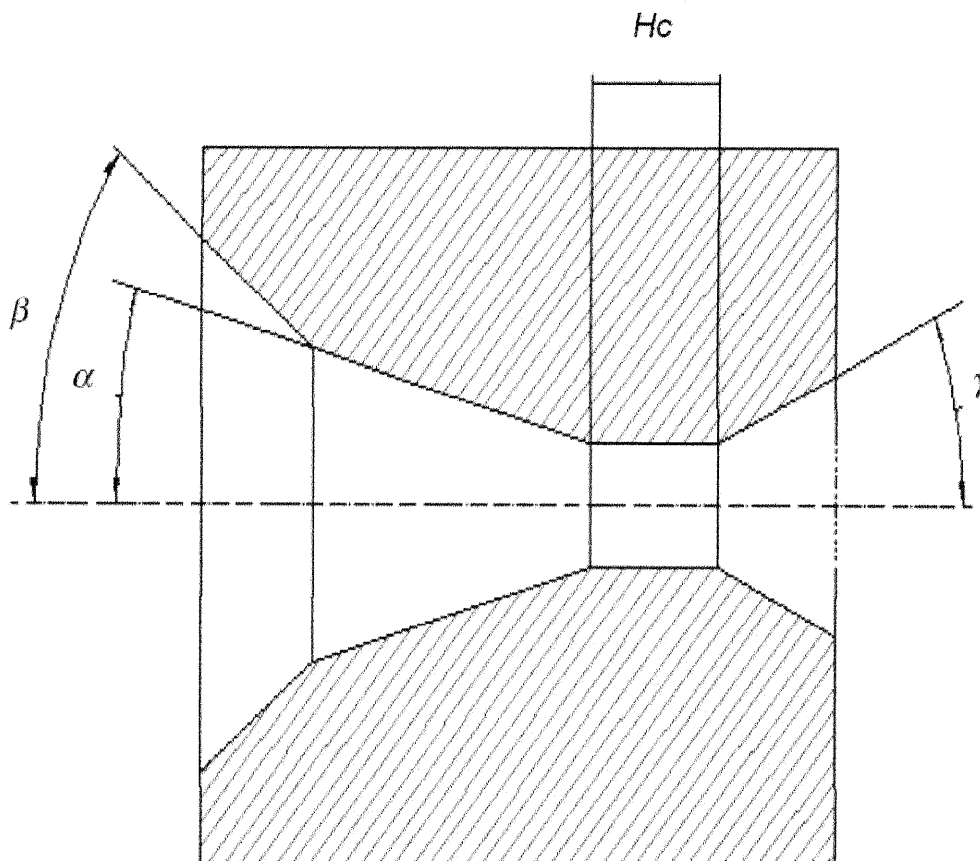
1ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3 pontos)

O processo de trefilação consiste em puxar um produto metálico através de uma ferramenta (normalmente chama da fieira ou trefila), de modo a diminuir sua seção de área. O processo não se limita a geometrias de seção redonda. Portanto, falar em diminuição do diâmetro consiste de resposta incompleta. O processo é considerado compressivo indireto, pois não há aplicação direta de força pela ferramenta. O material está submetido a tensões de compressão pela ferramenta, mas também está submetido a tensões de tração pela puxada do material através da fieira.

b) (2 pontos)

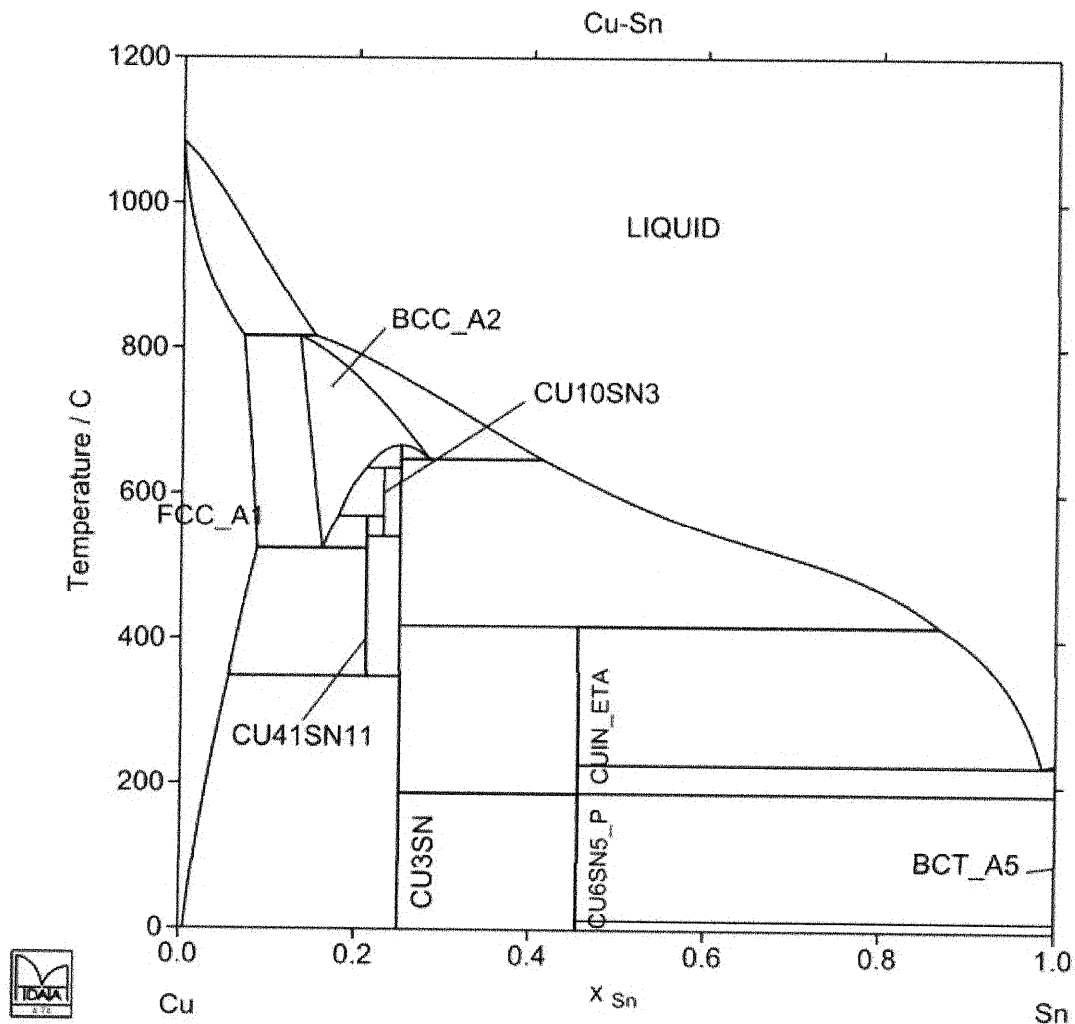
A ferramenta é composta por uma região de entrada, que apenas guia o material, caracterizada pelo ângulo β ; uma região de trabalho, caracterizada por um ângulo α entre o eixo central e o ponto de entrada do material, que é onde ocorre a redução de área; uma região de calibração, de paredes retas, caracterizada por seu comprimento H_c ; e uma região de saída, onde ocorre o retorno elástico, caracterizada pelo ângulo γ .



c) (3 pontos)

Para uma mesma redução de diâmetro, um ângulo menor corresponde a um comprimento maior da região de trabalho, aumentando a região onde o material está sujeito ao atrito. Assim, ângulos menores correspondem a maiores perdas por atrito.

2ª QUESTÃO (8 pontos)



O candidato deve saber que fases estequiométricas têm como campos no diagrama de fases uma linha reta.

a) (6 pontos)

Para a liga Cu-20%Sn:

O início da solidificação se dá a cerca de 810°C

810°C – L → L + BCC A2 (Cu – CCC)

~750°C L + BCC A2 → BCC A2 (solidificação termina com a fase Cu CCC)

A partir daí:

~610-620°C BCC A2 → BCC A2 + Cu₁₀Sn₃

~570°C BCC A2 + Cu₁₀Sn₃ → BCC A2 + Cu₄₁Sn₁₁

~520°C BCC A2 + Cu₄₁Sn₁₁ → FCC A1 + Cu₄₁Sn₁₁ (FCC a1 = Cu CFC)

~350°C FCC A1 + Cu₄₁Sn₁₁ → FCC A1 + Cu₃Sn

b) (2 pontos)

A reação eutéide ocorre a cerca de 520°C, e é $\text{Cu CCC} \rightarrow \text{Cu CFC} + \text{Cu}_{41}\text{Sn}_{11}$. Quando se menciona Cu CCC e Cu CFC, refere-se a fases ricas em cobre, mas contendo cerca de 22% Sn (CCC) e 10%Sn (CFC)

3ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3 pontos)

Isso ocorre porque o carbono é um elemento de liga intersticial, ao passo que o ferro é substitucional. A difusão substitucional ocorre por troca de lugar com lacunas. Por envolver átomos de mesmo raio atômico, a distorção da rede cristalina é muito maior do que no caso da difusão de átomos intersticiais. Além disso, depende da concentração de lacunas no material (a difusão intersticial depende da presença de um interstício vizinho em condições de ser ocupado). A difusão intersticial causa distorções menores, e tem uma energia de ativação muito mais baixa.

b) (3 pontos)

Os átomos podem se movimentar ao longo de defeitos de linha, como linhas de discordâncias, ou ao longo de superfícies como contornos de grão e a superfície externa. Essas regiões são caracterizadas por um espaçamento maior dos átomos devido, por exemplo, ao desajuste de redes cristalinas de grãos vizinhos. Assim, a distorção elástica associada com um salto atômico é menor, e o salto é mais provável. Assim sendo, esses caminhos aceleram o processo de difusão, e são conhecidos como caminhos de difusão rápida.

c) (2 pontos)

Nesse caso, deve-se usar um marcador, ou seja, avaliar isótopos radioativos do metal em questão como espécie que se difunde. Os isótopos radioativos são facilmente rastreáveis, e sua difusão pode ser avaliada e considerada comparável à dos átomos "típicos"

4ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (4 pontos)

A recristalização dinâmica descontínua pode não acontecer se: 1) a deformação aplicada for menor do que a deformação crítica para deflagração do processo, ou 2) se ocorrer recuperação dinâmica a tal ponto que a força motriz para recristalização não seja suficiente para deflagrá-la.

b) (4 pontos)

A característica do metal a que a questão se refere é a energia de falha de empilhamento. Quando um metal tem alta energia de falha de empilhamento, as linhas de discordância parciais não se distanciam muito, tendendo a rapidamente se recombinar. Esse comportamento favorece a movimentação de linhas de discordância, aumentando o escorregamento com desvio e os fenômenos de movimentação de discordâncias termicamente ativados. Como resultado, há maior tendência de aniquilação de discordâncias e formação de células, favorecendo o fenômeno da recuperação. Metais com alta energia de falha de empilhamento têm maior tendência à ocorrência de recuperação dinâmica, de forma que a força motriz para recristalização dinâmica descontínua pode ser muito baixa para a deflagração efetiva do fenômeno.

5ª QUESTÃO (8 pontos)

a) (3 pontos)

Entre as vantagens, podem ser citadas:

- 1) maior correspondência com situações reais, uma vez que a maior parte dos processos de conformação são compressivos por natureza;
- 2) maiores deformações obtidas durante o ensaio;
- 3) não há instabilidade plástica (estricção);
- 4) maior facilidade de se variar condições de ensaios;
- 5) não há possibilidade de deslizamento do material nas garras de fixação; e
- 6) aplicabilidade a materiais frágeis.

b) (3 pontos)

Os ensaios devem ser realizados o mais próximo possível das situações reais, incluindo: velocidade de deformação, temperatura de deformação, condições de atrito, temperatura da ferramenta.

c) (2 pontos)

Se o atrito for excessivo, há a tendência de abaulamento das laterais da amostra para pequenas deformações, devido ao surgimento de um campo de velocidades entre a ferramenta e a meia-altura da amostra. Espera-se que, em um ensaio de compressão, a amostra se deforme cerca de 50% antes que comece a ocorrer abaulamento das faces da amostra.

6ª QUESTÃO (8 pontos)

A	B
Condição 1 $x = 5 \text{ mm}$ $t = 20 \text{ h}$ $B = 2,5 \%$ $T = 800 \text{ }^\circ\text{C}$	Condição 2 $x = 2 \text{ mm}$ $t = 20 \text{ h}$ $B = 2,5 \%$ $T = ?$

Nas 2 condições, para $x=5 \text{ mm}$ e $x=2 \text{ mm}$:

$C_x = 2,5\%$; $C_0 = 0$ e $C_s=1$ ou 100% (temos 2 metais puros que foram colocados em contato, formando o par de difusão). Então:

$$\frac{C_x - C_0}{C_s - C_0} = \text{constante}$$

De acordo com a solução da 2ª lei de Fick,

$$\frac{C_s - C_x}{C_s - C_0} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right)$$

Se lado esquerdo da equação é uma constante,

$$\left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right) = \text{constante}$$

Para a condição 1, $x = 5\text{mm}$, temos:

$$T = 800 \text{ }^\circ\text{C} \text{ ou } 1073 \text{ K}; \quad t = 20\text{h} = 72.000\text{s} \text{ e } D_{1073\text{K}} = 1,5 \times 10^{-4} \exp(-125.000/8,31 \times 1073)$$

Para a condição 2, $x = 2\text{mm}$, temos:

$$T = ?; \quad t = 20\text{h} = 72.000\text{s} \text{ e } D_T = 1,5 \times 10^{-4} \exp(-125.000/8,31 \times T)$$

Então:

$$\frac{x_{T=1073\text{K}}}{2 \cdot \sqrt{D_{T=1073\text{K}} \cdot t}} = \frac{x_T}{2 \cdot \sqrt{D_T \cdot t}} \quad (4 \text{ pontos})$$

$$\frac{(x_{T=1073\text{K}})^2}{4 \cdot D_{T=1073\text{K}} \cdot t} = \frac{(x_T)^2}{4 \cdot D_T \cdot t}$$

$$\frac{(x_{T=1073\text{K}})^2}{D_{T=1073\text{K}}} = \frac{(x_T)^2}{D_T}$$

$$\frac{(x_{T=1073\text{K}})^2}{(x_T)^2} = \frac{D_{T=1073\text{K}}}{D_T}$$

$$\frac{(5 \cdot 10^{-3})^2}{(2 \cdot 10^{-3})^2} = \frac{D_{T=1073K}}{D_T}$$

$$6,25 = \frac{D_{T=1073K}}{D_T}$$

$$6,25 = \frac{1,5 \times 10^{-4} \exp\left(-\frac{125000}{R \cdot 1073}\right)}{1,5 \times 10^{-4} \exp\left(-\frac{125000}{R \cdot T}\right)}$$

$$6,25 = \exp\left(-\frac{125.000}{R \cdot 1073} + \frac{125.000}{R \cdot T}\right)$$

$$6,25 = \exp\left(-14,0188 + \frac{125.000}{R \cdot T}\right)$$

$$\ln(6,25) = \left(-14,0188 + \frac{125.000}{8,31 \cdot T}\right)$$

$$T = \left(\frac{15.042,1179}{(\ln(6,25) + 14,0188)}\right) K \quad (4,0 \text{ pontos})$$

7ª QUESTÃO (8 pontos)

Primeiro precisamos determinar o estado de tensão no ponto P, do plano de corte, ou seja, o Tensor Tensão:

A tensão = F/a

Os componentes do Tensor Tensão, T_{ij} , utilizando notação matricial, são:

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} F/a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Ou, $T = (f/a) \hat{x}\hat{x}$ (1 ponto)

O vetor tensão, t_n , atuando no plano cujo vetor normal é $\hat{n} = \cos\theta \hat{x} + \sin\theta \hat{y}$

pode ser obtido, usando multiplicação de matrizes, por:

$$t_n = \hat{n} \cdot T = (\cos\theta, \sin\theta, 0) \cdot \begin{bmatrix} F/a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{F}{a} \cos\theta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1,0 \text{ ponto})$$

Então, a Tensão normal ao plano cujo vetor normal é \hat{n} é a projeção de t_n em \hat{n}

$$\text{Tensão normal} = \hat{n} \cdot t_n = (\cos\theta, \sin\theta, 0) \cdot \begin{bmatrix} \frac{F}{a} \cos\theta \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \left(\frac{F}{a}\right) \cos^2\theta \quad (3,0 \text{ pontos})$$

Tensão de cisalhamento pode ser obtida por subtração de vetores:

t_n – tensão normal \hat{n} = tensão de cisalhamento \hat{c}

$$\left(\left(\frac{F}{a}\right) \cos\theta, 0, 0 \right) - \left(\left(\frac{F}{a}\right) \cos^3\theta, \left(\frac{F}{a}\right) \cos^2\theta \sin\theta, 0 \right) = \left(\left(\frac{F}{a}\right) \cos\theta \sin^2\theta, \left(\frac{F}{a}\right) \cos^2\theta \sin\theta, 0 \right)$$

Como $\hat{c} = \sin\theta \hat{x} - \cos\theta \hat{y}$

$$\text{Tensão de cisalhamento} = (F/a) \cos\theta \sin\theta \quad (3 \text{ pontos})$$

8ª QUESTÃO (8 pontos)

Para possuir característica refratária, o material, depois do processo de fabricação, deve resistir à alta temperatura, sendo desejável a ausência de fase líquida. Caso a fase líquida esteja presente, que se apresente na menor fração possível, portanto temos:

a) a composição 99,8% SiO₂–0,2% Al₂O₃ é a mais indicada. Ambas formam fase líquida a partir de 1587°C, porém a fração de líquido formado é menor para a composição 99,8% SiO₂ – 0,2% Al₂O₃ (3 pontos)

b) A composição 75% Al₂O₃ – 25% SiO₂ é a mais indicada, porque para essa composição não há formação de fase líquida até aproximadamente 1750°C e para a composição 70% Al₂O₃ – 30% SiO₂ a fase líquida é formada a uma temperatura muito menor, em aproximadamente 1587°C. (2 pontos)

c) A composição 95% Al₂O₃ – 5% SiO₂ é a mais indicada por formar menor proporção de fase líquida a 1890°C. (3 pontos)

9ª QUESTÃO (8 pontos)

Espessura da parede da garrafa = h

Espessura do Parison no capilar, antes de sair da extrusora: h_d

Como o tubo sai de um capilar anular, ele deve possuir a espessura desse anular, ou seja,

$$h_d = (30 - 27)/2 = 1,50 \text{ mm (ver Figura)} \quad (1 \text{ ponto})$$

O Parison ao sair capilar expande (die swell) e sua espessura é alterada em razão de 2, ou seja, B_{SH} = h₁/h_d=2

Como $B_{SH} = B_{ST}^2$

Então: $B_{ST} = \sqrt{B_{SH}} = \sqrt{2} = 1,414$ (3 pontos)

D_d é o diâmetro do Parison no capilar, no seu ponto médio = $(30+27)/2 = 28,50$ mm

D_m é o diâmetro do molde, ou seja, da garrafa = 50 mm

Assim
$$h = B_{ST}^3 h_d \left(\frac{D_d}{D_m} \right)$$

$$h = (1,414)^3 (1,50) \left(\frac{28,50}{50} \right)$$

$h = 2,42 \text{ mm}$ (4 pontos)

10ª QUESTÃO (8 pontos)

a) Para Ca^{2+} substituindo Li^+ em Li_2O , seriam criadas lacunas de lítio. Para cada Ca^{2+} que substituir o Li^+ , uma carga positiva será adicionada. Para manter a neutralidade da carga, uma única carga positiva deve ser removida. As cargas positivas são eliminadas pela criação de lacunas de lítio. Assim, para cada íon Ca^{2+} adicionado, é formada uma única lacuna de íon lítio. (4 pontos)

b) Para O^{2-} substituindo Cl^- em CaCl_2 , seriam criadas lacunas de cloro. Para cada O^{2-} substituindo um Cl^- , uma carga negativa é adicionada. As cargas negativas são eliminadas criando lacunas de cloro. Para manter a neutralidade da carga, cada íon O^{2-} adicionado levará à formação de uma lacuna de íon cloro.

(4 pontos)