

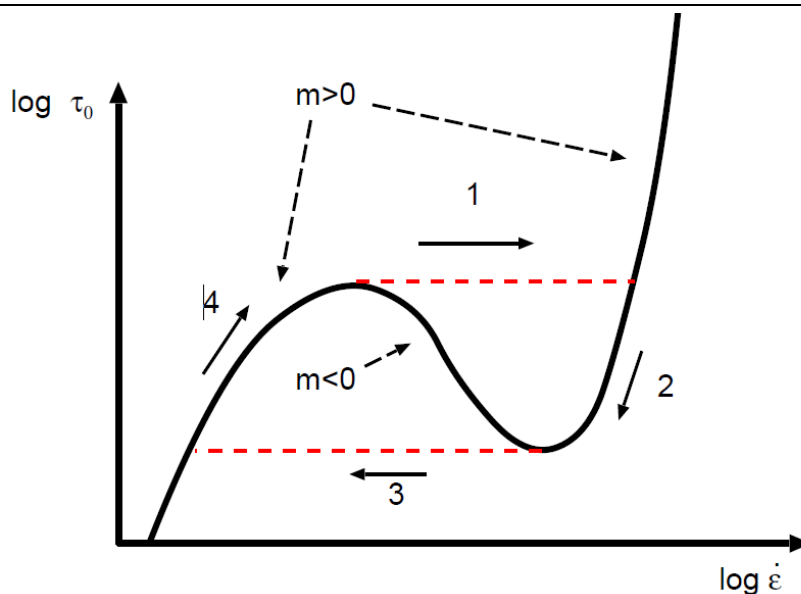
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

GABARITO

ENGENHARIA DE MATERIAL

Questão	Resposta
1 (8,0 pontos)	<p>Resposta:</p> <p>a) O efeito Portevin-Le Chatellier é causado pela associação e átomos de soluto a linhas de discordância. Com a associação dos átomos de soluto, a tensão necessária para o escorregamento dessas discordâncias é maior. Para que o átomo acompanhe a linha de discordância, é necessário que ele se movimente por difusão. Se não ocorre difusão suficiente para que o átomo acompanhe a linha de discordância no seu escorregamento, ao desvencilhar-se do átomo de soluto, a tensão necessária para escorregamento da linha de discordância cai, e isso é percebido na curva tensão-deformação como uma queda localizada na resistência mecânica do material.</p> <p>b) Segundo Schön, " materiais que apresentam PLC possuem uma dependência atípica da tensão de escoamento com a taxa de deformação. Materiais "convencionais" apresentam uma tensão de escoamento crescente com a taxa de deformação (isto é, $m > 0$). Materiais que apresentam PLC possuem uma região no domínio das taxas de deformação onde a tensão de escoamento é decrescente (isto é, com $m < 0$)". Enquanto os átomos de soluto encontram-se associados às discordâncias, a deformação plástica ocorre com baixa taxa de deformação, sob uma taxa compatível com a difusividade do soluto, que tem que acompanhar a discordância. Ao se dissociar do soluto, a discordância pode escorregar a uma velocidade muito mais alta, pois a resistência imposta pelo soluto desaparece. Desta maneira, a taxa de deformação torna-se crescente. A figura ilustra o comportamento da taxa de deformação com a tensão. É indispensável que o candidato associe a velocidade de escorregamento das discordâncias ao efeito de arraste causado pelo soluto. Porém, só é imperioso citar a difusividade do mesmo no item (c)</p>

1
(continuação)



c) Com o aumento da temperatura, o coeficiente de difusão do soluto aumenta, e ele passa a ter mais mobilidade. Isso permite que o átomo acompanhe a linha de discordância, resultando em menos ocorrências de desprendimento das linhas de discordâncias das atmosferas de soluto. Em temperaturas altas o suficiente, o soluto tem difusividade suficiente para acompanhar a movimentação das linhas de discordância, e o escoamento serrilhado tende a desaparecer por completo. Podem ser aceitas respostas compostas apenas pelas curvas, sem texto escrito. A questão não permite pontuação parcial.

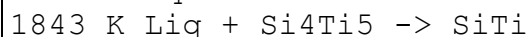
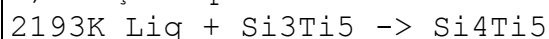
2
(8,0 pontos)

Respostas:

Respostas:

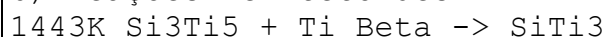
O candidato deve saber que fases estequiométricas têm como campos no diagrama de fases uma linha.

a) Reações peritéticas:



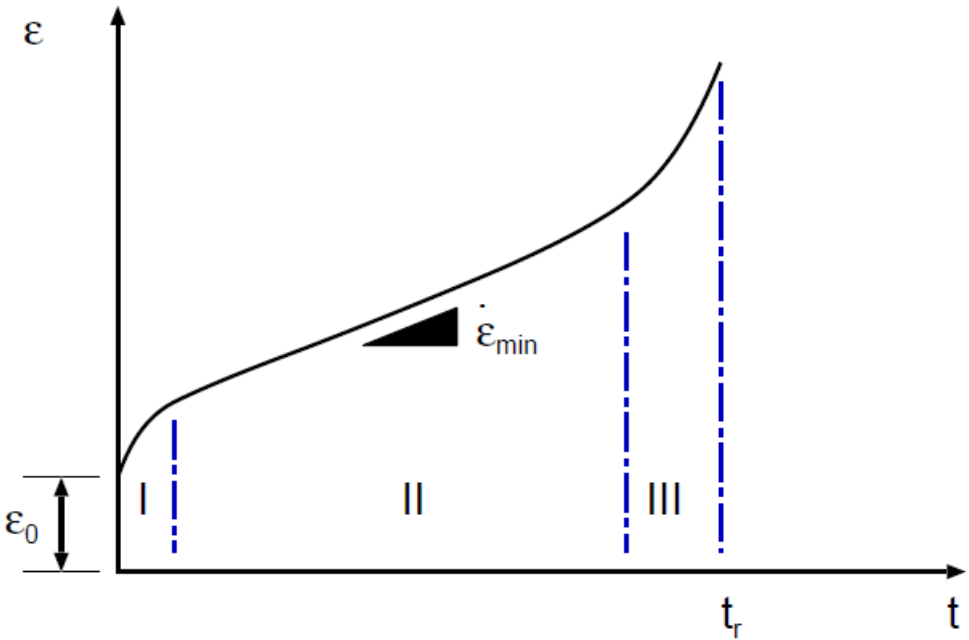
2,0 pontos para cada reação, sendo 1,0 para temperatura e 1,0 para fases

b) Reações Peritetóides



1,0 ponto para temperatura e 1,0 para fases envolvidas

<p>2 (continuação)</p>	<p>c) A ocorrência da reação peritética ou peritetóide pode ser identificada pela formação de uma "casca" da fase peritetética/peritetóide envolvendo a fase primária ou properitetóide. Isso se deve ao fato de a solidificação fora do equilíbrio não permitir difusão em escala suficiente para que a homogeneização de composição transforme a fase primária ou properitetóide na fase peritética ou peritetóide. A resposta necessariamente deve passar pela informação de que o não-equilíbrio não permite tempo para homogeneização da temperatura. Se for mencionada apenas a "casca", deve-se atribuir 1,0 ponto.</p>
<p>3 (8,0 pontos)</p>	<p>Respostas:</p> <p>a) O ensaio de tração não é adequado pois em geral são utilizadas taxas de deformação muito mais baixas do que aquelas encontradas nos processos de conformação. Além disso, as deformações obtidas neste ensaio são também muito menores do que aquelas encontradas no processo de conformação, de forma que o ensaio não reproduz as condições de solicitação que serão impostas ao material. Deve-se atribuir 1,0 ponto a cada uma das duas deficiências citadas.</p> <p>b) Pode ser feito ensaio de compressão ou ensaio de torção</p> <p>c) O ensaio de compressão consiste em aplicar sobre uma amostra cilíndrica uma carga de compressão uniaxial. Obtém-se uma curva tensão deformação similar à curva do ensaio de tração. No ensaio de tração podem-se obter taxas de deformação e valores de deformação muito mais altos do que os obtidos nos ensaios de tração. Uma deficiência do ensaio de compressão em metais muito dúcteis é que o material pode seguir deformando sem que chegue efetivamente a uma tensão de ruptura. Idealmente, a amostra deve ser recalcada sem sofrer abaulamento das superfícies laterais.</p> <p>O ensaio de torção consiste em aplicar um momento torsor em uma amostra padrão (que pode ser cilíndrica maciça ou um tubo com entalhe), em geral com velocidade angular constante. Normalmente, uma das pontas do corpo de prova permanece fixa ao passo que a ponta oposta é ligada a um cabeçote rotativo. Uma grande vantagem deste ensaio é a possibilidade de se obterem grandes deformações, bastante similares às aquelas encontradas em processos de conformação mecânica</p> <p>Atribuir 1,50 ponto para cada ensaio adequadamente descrito</p>

<p>3 (continuação)</p>	<p>d) Para se avaliar as condições de atrito, pode-se usar o teste de compressão de anel. Neste ensaio, a amostra é um anel cilíndrico caracterizado pelos raios interno e externo e pela altura. Executa-se nessa amostra um ensaio de compressão, com o cuidado de evitar abaulamento das faces laterais. A variação do diâmetro interno do anel dará uma indicação do atrito: se houver diminuição do diâmetro interno, o atrito na superfície é alto. Se houver aumento do diâmetro interno, o atrito é baixo.</p> <p>Descrição do ensaio: 1,0 ponto; avaliação do atrito por meio do diâmetro interno: 1,0 ponto.</p>
<p>4 (8,0 pontos)</p>	<p>Respostas:</p> <p>Respostas:</p> <p>a) A curva deve ter o seguinte formato:</p>  <p>Os parâmetros que podem ser tirados da curva são a taxa mínima de fluência, correspondente à inclinação da curva no estágio II. Essa é a taxa de deformação durante o regime estacionário. O segundo parâmetro é o tempo de ruptura, que equivale ao tempo total do ensaio, e indica a vida útil total da amostra até sua fratura.</p> <p>Atribui-se 1,4 ponto à curva e 0,8 ponto a cada parâmetro. O candidato descrever os estágios I, II e III é indiferente para a avaliação</p>

4
(continua
ção)

b) Mecanismo de Nabarro Herring: Mecanismo baseado em fenômenos de difusão. Segundo esse mecanismo, lacunas são geradas nas superfícies livres e contornos de grão paralelas À aplicação do esforço, e migram para as superfícies e contornos de grão perpendiculares.

Mecanismo de Harper Dorn - O mecanismo de Harper Dorn é baseado na ascensão de discordâncias em cunha controlada pela difusão de lacunas. Esse mecanismo independe de tamanho de grão. A discordância apenas sofre ascensão, e não escorregamento.

O mecanismo de Dislocation Creep está baseado na ascensão de discordâncias em cunha como forma de contornar obstáculos intransponíveis frente da linha. Ele não é análogo a HD pois neste caso a discordância também escorrega.

Deve-se atribuir 1,0 ponto a cada mecanismo citado

c) O Mecanismo Nabarro-Herring é observado em altas temperaturas homólogas (que favorecem fenômenos de difusão) e baixas tensões

O mecanismo Harper-Dorn é observado em materiais monocristalinos ou de grão grande, quando não há uma geração intensa de lacunas nos contornos de grão. Ocorre com temperaturas elevadas e tensões baixas, mas é muito menos eficiente que o mecanismo NH, sobressaindo-se quando este é minimizado por meio do controle de tamanho de grão.

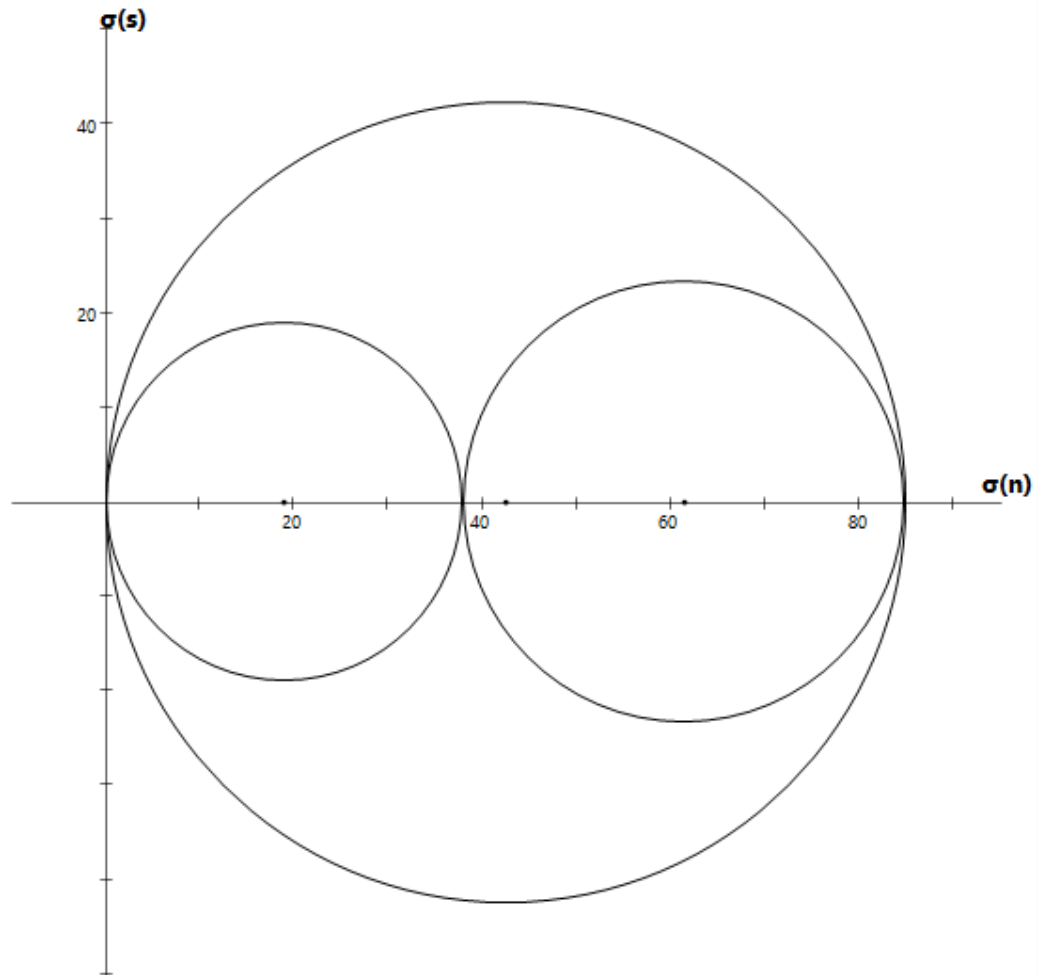
O mecanismo de Dislocation Creep é observada em tensões mais altas, em que, após a ascensão, a discordância encontra-se a uma certa distância do plano original de escorregamento, de tal forma que a tensão projetada no novo plano é maior do que a tensão contrária exercida pelo obstáculo.

No caso de o candidato errar algum dos 3 mecanismos, atribui-se 0,7 a cada mecanismo explicado corretamente. Pontuação cheia se acertar todos.

5
(8,0
pontos)

Respostas:

a) O candidato precisa estar atento ao fato de, rigorosamente, mesmo o estado de plano de tensões ser tridimensional, com uma das tensões normais sendo nula. Por convenção, $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$. Assim, a tensão σ_3 será 0, mas não deve ser desconsiderada. Se apenas traçar o círculo σ_1 - σ_2 , descontar 75%.



b) A tensão máxima de cisalhamento no plano da chapa será o ponto máximo do círculo referente ao par σ_1/σ_2 . O valor da tensão será de cerca de 42,5 MPa. Como se pede uma determinação gráfica, aceita-se uma tolerância nos valores (até 2 MPa de diferença). A determinação pode ser feita também pelo cálculo do raio do círculo maior.

c) As tensões principais são facilmente determinadas pelos pontos em que os círculos cruzam o eixo das abscissas.

σ_1 : Aproximadamente 85 MPa (valor exato = 84,98)

σ_2 : Aproximadamente 38 MPa (valor exato = 38,02)

σ_3 : 0 MPa

6
(8,0
pontoss)

a)

Haverá duas contribuições para o aumento do diâmetro da haste; a primeira é devido à expansão térmica (que será denotada como Δd_1), enquanto a segunda é a partir da expansão lateral de Poisson como resultado da deformação elástica das tensões que são estabelecidas a partir da incapacidade da haste de alongar à medida que é aquecida (denotada como Δd_2). A magnitude de Δd_1 pode ser calculada usando a formula fornecida no exercício:

$$\frac{L_F - L_0}{L_0} = \alpha_L (T_F - T_0) \quad (1)$$

Como temos uma haste cilíndrica, a fórmula acima precisa ser modificada, trocando comprimento por diâmetro.

$$\Delta d_1 = d_0 - d_f / d_0 = \alpha_L (T_F - T_0) = 10,00 \text{ mm} \times (95 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) \times (90^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = \mathbf{0,0665 \text{ mm}}$$

O candidato que calculou, sem erros, o valor do aumento de diâmetro referente à expansão térmica obtém 3,0 pontos.

Agora, Δd_2 está relacionado com a deformação

transversal (ϵ_x), de acordo com a equação fornecida no exercício:

$$\epsilon_x = \Delta d / d_0 = \Delta d_2 / d_0 \quad (2)$$

E a deformação transversal e longitudinal, estão relacionadas pela equação:

$$\nu = - \epsilon_x / \epsilon_z \quad (3)$$

Substituindo a equação (3) na equação (2), temos:

$$\Delta d_2 / d_0 = - \nu \times \epsilon_z \quad (4)$$

Também, a deformação longitudinal ϵ_z está relacionada com o módulo de elasticidade pela lei de Hooke:

$$\sigma = E \times \epsilon_z \quad (5)$$

6
(continua
ção)

Substituindo a equação (5) na equação (4), temos:

$$\Delta d_2/d_0 = - \nu \times (\sigma/E) \quad (6)$$

Agora, com a equação para Módulo, fornecida no exercício:

$$\sigma = E\alpha_L(T_0 - T_F) \quad (7)$$

Substituindo a equação (7) na equação (6):

$$\begin{aligned} \Delta d_2/d_0 &= - \nu \times ((E \times \alpha_L \times (T_0 - T_F))/E) = \\ &= - \nu \times (\alpha_L \times (T_0 - T_F)) \end{aligned}$$

Para o polímero em questão, $\nu = 0,33$

$$\Delta d_2/d_0 = - \nu \times (\alpha_L \times (T_0 - T_F)) = -0,33 \times (95 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}) \times (20^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}) = 2,1945 \times 10^{-3}$$

$$\Delta d_2 = 10,00 \text{ mm} \times 2,1945 \times 10^{-3} = \mathbf{0,02195 \text{ mm}}$$

$$\begin{aligned} \text{Então, o aumento do diâmetro da haste total} &= \Delta d_1 + \Delta d_2 \\ &= 0,0665 \text{ mm} + 0,02195 \text{ mm} = 0,0885 \text{ mm} \end{aligned}$$

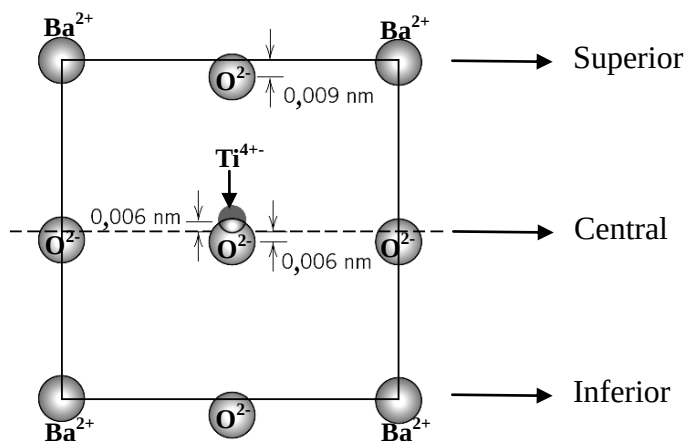
O candidato que determinou, sem erros, o valor de Δd_2 , ou seja, o aumento em diâmetro devido a incapacidade da haste de alongar à medida que é aquecida obtém mais 3,0 pontos. O candidato que calculou, sem erros, o aumento total em diâmetro, obtém mais 2,0 pontos.

7
(8,0 pontos)

Resposta:

(a)

a magnitude do momento de dipolo associado a cada célula unitário do titanato de bário



No plano superior, temos 4 átomos de bário em cada vértice, cada um com valência 2+. No entanto, cada Ba^{2+} é compartilhado com 8 células unitárias. Então, nesse plano temos:

$$(4 \times 2) \times \frac{1}{8} = 1 \text{ carga positiva}$$

No plano 0,009nm abaixo do plano superior, temos 1 íon O^{2-} , que é compartilhado com uma célula vizinha. Então, nesse plano temos:

$$2 \times \frac{1}{2} = 1 \text{ carga negativa (logo, temos um dipolo: com igual quantidade, em módulo, de carga negativa e positiva)}$$

O momento de dipolo seria, portanto, igual a:

$$p_{BaO} = 1 \times q_e d_{Ba-O} = 1 \times (1,6 \times 10^{-19}) \times (0,009 \times 10^{-9}) = 1,44 \times 10^{-30} C.m$$

0,006nm abaixo do plano central, temos 4 átomos de oxigênio, cada um com valência 2-. No entanto, cada O^{2-} é compartilhado com duas células unitárias. Então, nesse plano temos:

$$(4 \times 2) \times \frac{1}{2} = 4 \text{ cargas negativas}$$

No plano 0,006nm acima do plano central [III], temos 1 íon Ti^{4+} , que está inteiro dentro da cela unitária.

Então, nesse plano temos:

1 x 4 = 4 cargas positivas (temos um dipolo: cargas iguais)

O momento de dipolo seria, portanto, igual a:

$$p_{TiO_2} = 1 \times q_e d_{Ti-O} = 4 \times (1,6 \times 10^{-19}) \times (0,012 \times 10^{-9}) = 7,68 \times 10^{-30} C.m$$

No plano inferior, temos a mesma condição descrita para o plano superior.

$$p_{BaO} = 1 \times q_e d_{Ba-O} = 1 \times (1,6 \times 10^{-19}) \times (0,009 \times 10^{-9}) = 1,44 \times 10^{-30} C.m$$

Como a direção dos 3 dipolos é a mesma, eles devem ser somados.

O momento de dipolo será, portanto, igual a:

$$p = \sum qd = (7,68 \times 10^{-30} + 2,88 \times 10^{-30}) = 10,56 \times 10^{-30} C.m$$

(b)

A magnitude da máxima polarização para este material será:

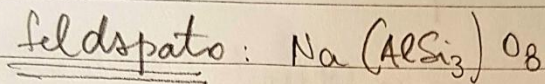
$$P = \frac{1}{V_{c.u.}} \sum p_i \Rightarrow P = \frac{(7,68 \times 10^{-30} + 2,88 \times 10^{-30})}{0,403 \times 10^{-9} \times (0,398 \times 10^{-9})^2} = \frac{1,05 \times 10^{-29}}{6,39 \times 10^{-29}} = 0,164 C.m^{-2}$$

(a) O candidato que montou e calculou corretamente o momento de dipolo, sem erros, obtém 5,0 pontos. O candidato que errou os valores dos momentos de dipolo parciais (dos planos inferior ou superior ou do plano intermediário), obtém 1,0 ponto.

(b) O candidato que acertou a montagem da fórmula obtém 1,0 ponto. O candidato que acertou o cálculo, sem erros, obtém 3,0 pontos.

8
(8,0 pontos)

Resposta:



a fórmula também pode ser escrita: $0.5\text{Na}_2\text{O} \cdot 0.5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$

peso molar: 61.98 $2 \times 26.98 + 3 \times 16$ $28.09 + 2 \times 16$
 101.96 60.09

$$\text{TOTAL} = 0.5 \times 61.98 + 0.5 \times 101.96 + 3 \times 60.09 = \underline{\underline{262.24}}$$

ou seja, 100 Kg de feldspato trazem:

$$\frac{0.5 \times 61.98}{262.24} \times 100 = 11.82 \text{ Kg Na}_2\text{O}$$

$$\frac{0.5 \times 101.96}{262.24} \times 100 = 19.44 \text{ Kg Al}_2\text{O}_3$$

$$\frac{3 \times 60.09}{262.24} \times 100 = 68.74 \text{ Kg SiO}_2$$

100.00 Kg

Assim, nova composição do vidro:

	<u>1000kg vidro</u>	+	<u>100 kg feldspato</u>	=	<u>novo vidro</u>
SiO ₂	750kg		68.74kg		818.74kg
Na ₂ O	150kg		11.82kg		161.82kg
CaO	100kg		—		100.00kg
Al ₂ O ₃	—		19.44kg		19.44kg
					<hr/> 1100kg ✓

em % mássicas:

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{818.74}{1100} = 0.7443 = 74.43\%$$

$$\% \text{Na}_2\text{O} = \frac{161.82}{1100} = 0.1471 = 14.71\%$$

$$\% \text{CaO} = \frac{100}{1100} = 0.0909 = 9.09\%$$

$$\% \text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{19.44}{1100} = 0.0176 = 1.76\%$$

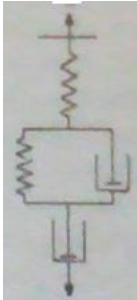
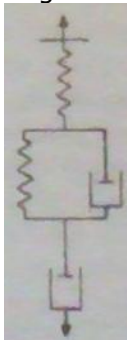
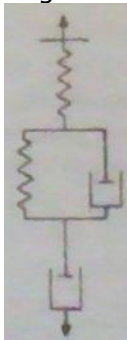
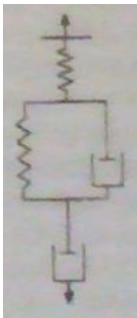
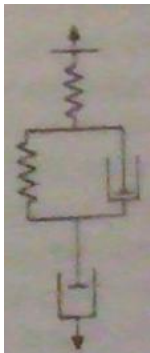
99.99%

A percentagem mássica correta de cada óxido vale 2,0 pontos, e como temos 4 óxidos, o candidato que acertou a percentagem de todos os óxidos obtém 8,0 pontos.

9
(8,0 pontos)

Resposta

(a)

OA:	<p>Mola₁ alongada Mola₂-Amortecedor₁ contraídos Amortecedor₂ contraído</p> 
AB	<p>Mola₁ alongada Mola₂-Amortecedor₁ alongados Amortecedor₂ alongado</p> 
BC	
CD:	<p>M₁ contraída M₂-A₂ alongados A₃ alongado</p> 
s DE:	<p>Mola₁ contraída Mola₂-Amortecedor₂ contraídos A₃ alongado</p> 

O candidato que conseguir descrever as cinco regiões, sem erros, obterá 4,0 pontos. O candidato que errar a descrição das regiões AO, AB e BC, CD, DE perderá 1,0 ponto em cada item.

<p>9 (continuação)</p> <p>A</p>	<p>(b)</p> <p>As mudanças que acontecem na região OA e CD correspondem à resposta elástica de um polímero, ou seja, ao comportamento de um sólido Hookeano, representado pela mola. As mudanças que acontecem nas regiões AB e DE, uma associação em paralelo entre mola e amortecedor, correspondem ao modelo mecânico proposto por Voigt-Kevin, e as mudanças que acontecem na região BC correspondem ao fluxo viscoso, representado pelo amortecedor.</p> <p>No início, o sistema está em repouso (antes de aplicar a tensão constante). Com a deformação produzida pela aplicação de tensão de tração, a deformação inicial corresponde a região <u>OA da curva</u>, a Mola 1 é alongada, ou seja, esta região corresponde a <u>região elástica do polímero</u>, que responde imediatamente a tensão aplicada (comportamento de sólido Hookeano: quando a tensão é mantida constante a deformação também se mantém constante e quando a tensão é reduzida a zero a deformação também é reduzida a zero).</p> <p>A resposta rápida, AO, é seguida pela região de fluência, região AB da curva, que é inicialmente rápida, mas a taxa de deformação decresce com o tempo, até atingir um valor de taxa constante, na região BC. Na região AB, como há um estado de isodeformação, Mola 2 e Amortecedor 1 apresentam a mesma deformação. E a deformação segue o modelo de Voigt-Kevin::</p> $\varepsilon(t) = (\sigma_0/E_{Mola2})\{1-\exp(-t/\tau_R)\}$ <p>Onde σ_0 é a tensão aplicada, E_{Mola2} é o Módulo de elasticidade da Mola 2 e τ_R é o tempo de retardação, ou seja, o tempo necessário para a Mola 2 e Amortecedor 1 atingirem 0,632 da deformação total.</p> <p>Na região AB há uma redução na taxa de fluência, com progressivo aumento da quantidade de tensão carregada pela Mola 2, até que nenhuma tensão seja carregada pelo Amortecedor 1, quando a Mola 2 estará totalmente estendida. Quando a Mola 2 é totalmente estendida o ensaio de fluência atinge a região de taxa de deformação constante, correspondente ao movimento do Amortecedor 2, região BC. O fluxo viscoso continue a o Amortecedor 2 é deformado até que a tensão seja removida, no ponto C.</p>
-------------------------------------	--

<p>9 (continuação)</p>	<p>Com a retirada da tensão, na <u>região CD</u>, há <u>recuperação elástica</u>, correspondente a <u>deformação elástica presente na região AO</u>. Novamente o polímero apresenta comportamento de sólido Hookeano, e a Mola 1 contrai. Na região DE, como a Mola 2 está em paralelo com o Amortecedor 1, a Mola 2 força o Amortecedor 1 voltar para o seu estado original. Essa recuperação observada na região DE é equivalente a deformação observada na região AB. <u>Como não há força atuando no Amortecedor 2, ele permanece no estado estendido, e representa o fluxo viscoso não recuperável</u>. A deformação não recuperável, é então, equivalente a deformação observada na região BC.</p> <p>O candidato que responder os principais pontos sublinhados obterá 4,0 pontos.</p>
----------------------------	---

10
(8,0 pontos)

Resposta

(a)

Para calcular o valor de 2θ precisamos utilizar a lei de Bragg

$$n\lambda = 2 d_{hkl} \sin\theta$$

Para o plano (311) o valor de $d_{hkl} = 1,0828 \text{ \AA} = 0,10828 \text{ nm}$. Pelo enunciado do exercício, $n=1$ e $\lambda=0,154188 \text{ nm}$.

$$\text{Então: } \sin\theta = 1 \times 0,154188 \text{ nm} / 2 \times (0,10828)$$

$$\sin\theta = 0,711987$$

$$\theta = \sin^{-1}(0,711987)$$

$$\text{Logo, } 2\theta = \mathbf{2 \times (\sin^{-1}(0,711987))}$$

$$\theta = 45,4^\circ$$

Como os candidatos não possuem calculadora científica, considera-se que a resposta final seja expressa utilizando a função seno, como descrito no enunciado da questão.

O candidato que acertou todos os passos e determinou o valor de 2θ sem erro, obtém nota 4,0. O candidato que errou qualquer passo durante a montagem do item obtém nota zero.

(b)

Para determinarmos o valor do raio atômico, precisamos primeiro determinar o valor do parâmetro de rede, **a**.

No enunciado do exercício foi fornecida a relação entre o valor do espaçamento interplanar, para estruturas cristalinas, o parâmetro de rede, **a**, e o índice de Miller:

$$d_{hkl} = \frac{a}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}}$$

Utilizando, por exemplo, o mesmo plano do item (a), o plano (311), temos:

$$\mathbf{a = 0,10828 \text{ nm} \times (\sqrt{(3)^2 + (1)^2 + (1)^2}) = 0,359124 \text{ nm}}$$

<p>10 (continuação)</p>	<p>(b)</p> <p>Como a célula unitária é CFC, $a = 2R\sqrt{2}$</p> <p>Então: R (raio atômico) $= a / (2 \times \sqrt{2})$</p> <p>$R = 0,12697 \text{ nm}$ ou $R = 0,13 \text{ nm}$</p> <p>Ou $R = 0,179562/\sqrt{2}$</p> <p>Os candidatos podem obter o valor do raio atômico utilizando outros planos fornecidos no exercício. O candidato que acertar, <u>sem erros</u>, o valor do raio atômico obtém 4,0 pontos. O candidato que errar a relação entre o parâmetro de rede e o raio atômico da célula unitária CFC, obtém zero no item. O candidato que cometer outro erro, como erro nas unidades utilizadas, obtém 0,0 ponto.</p>
-----------------------------	--