

Lista de exercícios – SMM 0193

Data de entrega: dia da prova P1, em papel.

Questão 01. Indique se as afirmações apresentadas a seguir são VERDADEIRAS ou FALSAS. Caso a afirmação seja falsa, justifique a respostas.

	Verdadeiro / Falso
a. Materiais cerâmicos, devido ao caráter direcional de suas ligações, sempre apresentam estruturas mais abertas.	()
b. Materiais poliméricos são constituídos por compostos orgânicos de baixo peso molecular. Quando o peso molecular dos componentes orgânicos aumenta, esses materiais são chamados de compósitos	()
c. Materiais metálicos são bons condutores térmicos e elétricos devido à presença de elétrons delocalizados (i.e., elétrons que estão fortemente ligados ao núcleo) no sólido.	()
d. Materiais poliméricos são em geral flexíveis e fáceis de conformar devido ao caráter iônico das ligações que existem entre as macromoléculas que os constituem.	()
e. Metais podem ser dúcteis ou rígidos, dependendo do grau de direcionalidade das ligações entre os elementos que os constituem.	()
f. Materiais compósitos são formados por ao menos dois tipos de materiais: o componente de maior proporção, que é chamado de matriz (que somente pode ser polimérica ou metálica), e o componente em menor proporção, que é chamado de fase dispersa ou reforço (que pode ser somente metálica ou cerâmica).	()
g. Um dos principais objetivos da Engenharia dos Materiais é o desenvolvimento de técnicas de processamento de materiais, baseadas nas relações entre composição, estrutura e propriedades.	()
h. O termo “estrutura cristalina” tem o mesmo significado que “rede cristalina”, sendo ambos relacionados ao arranjo atômico periódico observado por longas distâncias atômicas.	()
i. Os termos “propriedade” e “desempenho”, quando empregados em Ciência e Engenharia de Materiais, são sinônimos.	()

Questão 02. (a) Cite dois conceitos quânticos-mecânicos importantes associados ao modelo atômico de Bohr. (b) Cite dois importantes refinamentos adicionais resultantes do modelo mecânico-ondulatório.

Questão 03. A energia potencial resultante (E_T) entre dois íons adjacentes pode ser representada pela soma das equações 1 e 2 a seguir:

$$E_A = -\frac{A}{r} \quad (1)$$

$$E_R = \frac{B}{r^n} \quad (2)$$

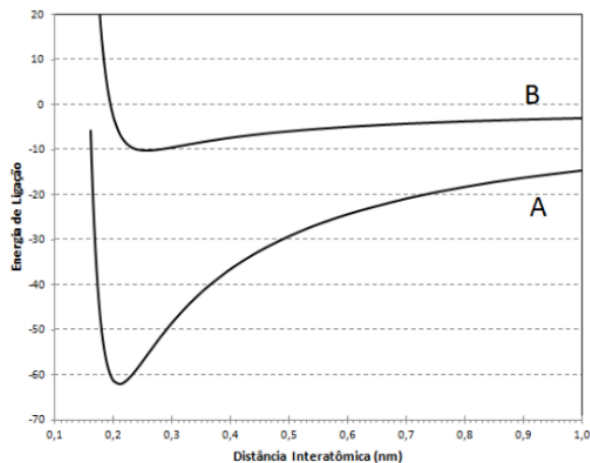
Onde E_A = Energia de Atração, E_R = Energia de Repulsão, r é a distância interatômica e A , B e n são constantes cujos valores dependem de cada sistema iônico particular.

$$E_T = -\frac{A}{r} + \frac{B}{r^n} \quad (3)$$

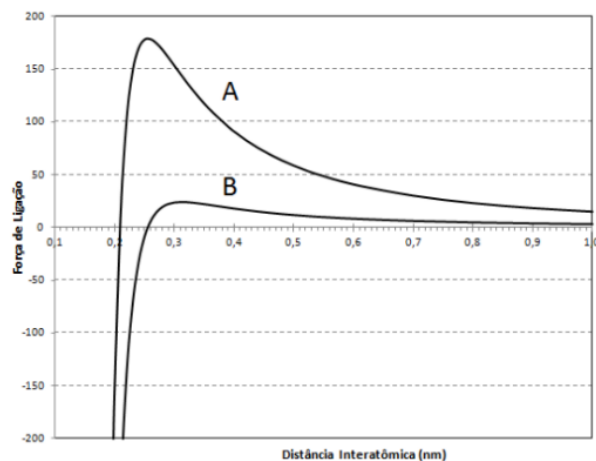
Calcule a energia de ligação E_0 em termos de A , B e n , usando os procedimentos a seguir:

- Derive E_T em relação a r iguale a expressão resultante a zero, uma vez que a curva de E_T em função de r apresenta um mínimo em E_0 .
- Resolva a equação encontrada em a) para r em termos de A , B e n , o que fornecerá r_0 (espaçamento interiônico de equilíbrio).
- Determine a expressão para E_0 pela substituição de r_0 na equação (3).

Questão 04. Considerando as curvas de energia de ligação e de força de ligação apresentadas a seguir, escolha um dos dois materiais nelas representados (material A ou material B), justificando a sua escolha. (a) material para aplicação na qual a resistência mecânica seja fundamental (ou seja, deseja-se o material com a maior resistência mecânica dentre os dois considerados). (b) material para uma aplicação na qual ocorre uma variação lenta da temperatura, e para a qual a estabilidade dimensional do corpo é fundamental (ou seja, deseja-se o material que sofra a menor variação dimensional com a temperatura). (c) material para uma aplicação onde é necessária uma certa flexibilidade (ou seja, deve ser escolhido o material, dentre os dois considerados, que apresente o menor módulo de elasticidade).



Curvas de Energia de Ligação



Curvas de Força de Ligação

Questão 05. (a) Cite sucintamente as principais diferenças entre as ligações iônicas, covalente e metálica. (b) Defina o princípio de exclusão de Pauli.

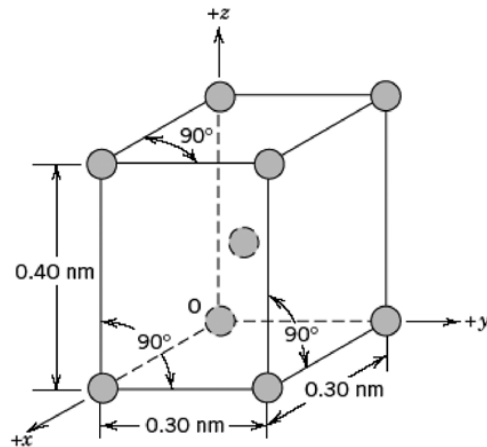
Questão 06. Para a estrutura cristalina HC, mostre que a razão c/a ideal vale 1,633. Além disso, mostre que o fator de empacotamento atômico para essa estrutura cristalina vale 0,74.

Questão 07. Calcule o raio de um átomo de paládio, dado que o Pd tem estrutura cristalina CFC, uma massa específica de $12,0 \text{ g/cm}^3$ e um peso atômico de $106,4 \text{ g/mol}$.

Questão 08. A seguir estão listados o peso atômico, a massa específica e o raio atômico de três ligas hipotéticas. Para cada uma delas, determine se a sua estrutura cristalina é CFC, CCC, ou cúbica simples, justificando a sua determinação.

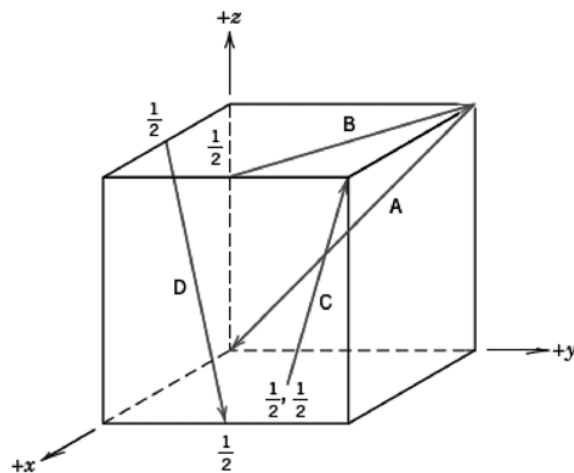
<i>Alloy</i>	<i>Atomic Weight (g/mol)</i>	<i>Density (g/cm³)</i>	<i>Atomic Radius (nm)</i>
<i>A</i>	<i>77.4</i>	<i>8.22</i>	<i>0.125</i>
<i>B</i>	<i>107.6</i>	<i>13.42</i>	<i>0.133</i>
<i>C</i>	<i>127.3</i>	<i>9.23</i>	<i>0.142</i>

Questão 09. A seguir é apresentada a célula unitária para um metal hipotético. (a) A qual sistema cristalino pertence essa célula unitária? (b) Como essa estrutura cristalina seria chamada? (c) Calcule a massa específica do material, dado que seu peso atômico é 141 g/mol.

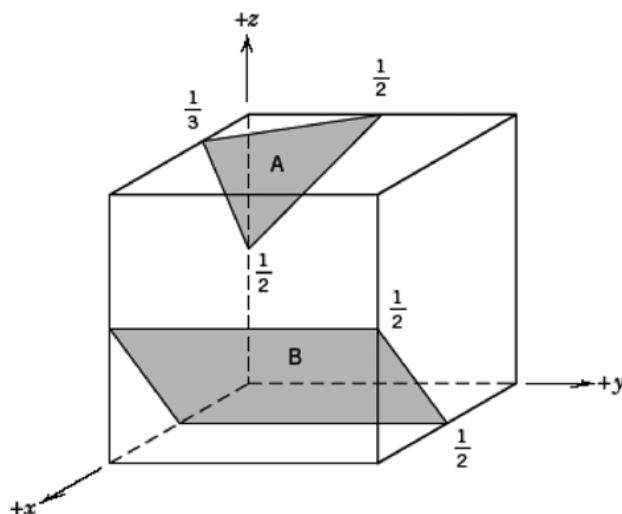


Questão 10. Liste as coordenadas dos pontos para todos os átomos que estão associados à célula unitária CFC.

Questão 11. Determine os índices para as direções que estão mostradas na seguinte célula unitária cúbica:



Questão 12. Determine os índices de Miller para os planos que estão apresentados na célula unitária a seguir:



Questão 13. Qual a diferença entre polimorfismo e alotropia? Cite um exemplo de cada um.

Questão 14. Quais as diferenças, em termos de estrutura, entre um sólido monocristalino, um sólido policristalino e um sólido amorfo?

Questão 15. Quais são os principais tipos de defeitos pontuais encontrados nos sólidos cristalinos? Defina uma solução sólida substitucional. O que deve ocorrer na microestrutura de um sólido, quando o limite de solubilidade de um soluto em um solvente é excedido?

Questão 16. Calcule a energia de formação de lacunas no alumínio, sabendo que o número de lacunas em equilíbrio na temperatura de 500 °C (773 K) é $7,57 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$. O peso atômico e a massa específica do alumínio (a 500 °C) são, respectivamente, 26,98 g/mol e 2,62 g/cm³.

Questão 17. Para as estruturas cristalinas CFC e CCC, existem dois tipos diferentes de sítios intersticiais. Em cada caso, um tipo de sítio é maior do que o outro e é ocupado normalmente por átomos de impurezas. Na estrutura CFC, esse sítio maior está localizado no centro de cada uma das arestas da célula unitária. Ele é denominado sítio intersticial octaédrico. Por outro lado, na estrutura CCC, o maior tipo de sítio é encontrado nas posições 0, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, ou seja, sobre as faces {100} e está situado a meio caminho entre duas arestas da célula unitária sobre essa face e a um quarto da distância entre as outras duas arestas da célula unitária. Ele é denominado sítio intersticial tetraédrico. Tanto para as estruturas cristalinas CFC quanto para as CCC, calcule o raio r de um átomo de impureza que irá se ajustar exatamente no interior desses sítios, em termos do raio atômico R do átomo hospedeiro.

Questão 18. O carbono é um dos principais solutos intersticiais presentes nos aços e possuem enorme importância no comportamento mecânico desses materiais. O Fe, principal constituinte dos aços, possui estrutura CCC em temperatura ambiente e CFC em temperaturas acima de 912 °C. Em ambas as estruturas do Fe, o carbono se aloja nos interstícios do tipo octaedral. No caso da estrutura CFC, o interstício octaedral foi definido na questão anterior. Na estrutura CCC os interstícios octaedrais podem ser definidos pelo ponto de rede do tipo $\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}$ (isto é, no centro das faces). Considere que o carbono tem raio atômico de 0,077 nm e que o Fe na estrutura CFC possui raio atômico de 0,127 nm e na estrutura CCC possui raio atômico de 0,124 nm. Qual tipo de estrutura do Fe deve ser capaz de dissolver mais carbono em seus interstícios?

Questão 19. (a) Qual a composição, em porcentagem em peso, de uma liga que contém 218 kg de titânio, 14,6 kg de alumínio e 9,7 kg de vanádio? **(b)** Calcule o comprimento da aresta da célula unitária para uma liga composta por 85%p Fe e 15%p V. Todo o Vanádio está em solução sólida e, a temperatura ambiente, a estrutura cristalina dessa liga é CCC.

Questão 20. (a) Compare os mecanismos atômicos para as difusões intersticial e por lacunas. **(b)** Cite duas razões pelas quais a difusão intersticial é normalmente mais rápida do que a difusão por lacunas.

Questão 21. Uma chapa de ferro CCC, com 1 mm de espessura, foi exposta, a 725 °C, a uma atmosfera gasosa carbonetante em um de seus lados e a uma atmosfera descarbonetante no outro lado. Após ter atingido uma condição de regime estacionário, o ferro foi resfriado rapidamente até a temperatura ambiente. As concentrações de carbono nas duas superfícies da chapa foram determinadas como 0,012 e 0,0075%p. Calcule o coeficiente de difusão se o fluxo de difusão é de $1,4 \times 10^{-8}$ kg/m²s.

Questão 22. Determine o tempo de carbonetação necessário para atingir uma concentração de carbono de 0,30%p em uma posição a 4 mm da superfície de uma liga ferro-carbono contendo inicialmente 0,10%p C. A concentração na superfície deve ser mantida em 0,90%p C e o tratamento conduzido a 1100 °C. Utilize os dados de difusão para o Fe- γ dado a seguir.

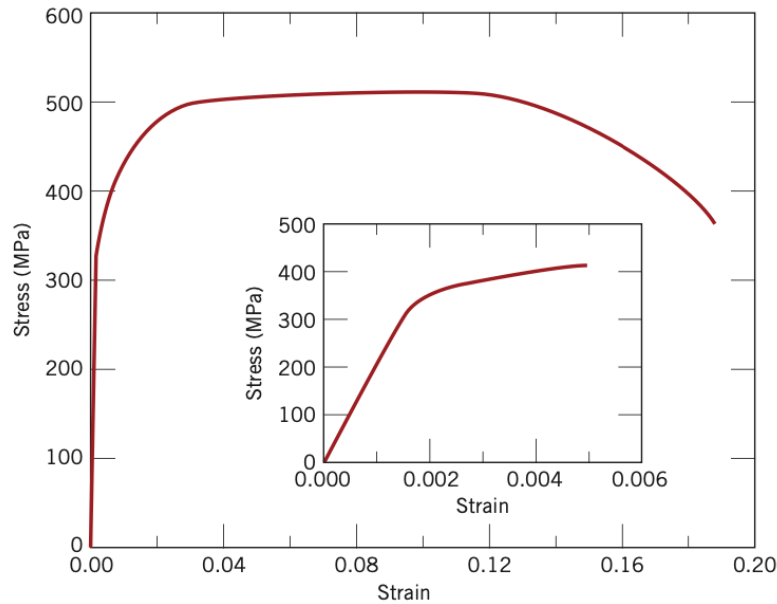
Tabela 5.2 Tabulação de Dados de Difusão

<i>Espécie em Difusão</i>	<i>Metal Hospedeiro</i>	$D_0(m^2/s)$	<i>Energia de Ativação Q_d</i>		<i>Valores Calculados</i>	
			<i>kJ/mol</i>	<i>eV/atom</i>	<i>T(°C)</i>	<i>D(m²/s)</i>
Fe	Fe- α (CCC)	$2,8 \times 10^{-4}$	251	2,60	500	$3,0 \times 10^{-21}$
					900	$1,8 \times 10^{-15}$
Fe	Fe- γ (CFC)	$5,0 \times 10^{-5}$	284	2,94	900	$1,1 \times 10^{-17}$
					1100	$7,8 \times 10^{-16}$
C	Fe- α	$6,2 \times 10^{-7}$	80	0,83	500	$2,4 \times 10^{-12}$
					900	$1,7 \times 10^{-10}$
C	Fe- γ	$2,3 \times 10^{-5}$	148	1,53	900	$5,9 \times 10^{-12}$
					1100	$5,3 \times 10^{-11}$
Cu	Cu	$7,8 \times 10^{-5}$	211	2,19	500	$4,2 \times 10^{-19}$
Zn	Cu	$2,4 \times 10^{-5}$	189	1,96	500	$4,0 \times 10^{-18}$
Al	Al	$2,3 \times 10^{-4}$	144	1,49	500	$4,2 \times 10^{-14}$
Cu	Al	$6,5 \times 10^{-5}$	136	1,41	500	$4,1 \times 10^{-14}$
Mg	Al	$1,2 \times 10^{-4}$	131	1,35	500	$1,9 \times 10^{-13}$
Cu	Ni	$2,7 \times 10^{-5}$	256	2,65	500	$1,3 \times 10^{-22}$

Fonte: E. A. Brandes and G. B. Brook (Editores), *Smithells Metals Reference Book*, 7th edition, Butterworth-Heinemann, Oxford, 1992.

Questão 23. Para uma liga de bronze, a tensão na qual deformação plástica começa é de 275 MPa (40.000 psi), e o módulo de elasticidade é de 115 GPa (16,7x106 psi). **(a)** Qual é a carga máxima que pode ser aplicada a um corpo de prova com área de seção transversal de 325 mm² (0,5 pol²) sem causar deformação plástica? **(b)** Se o comprimento original do corpo de prova é de 115 mm (4,5 pol.), qual é o comprimento máximo ao qual ele pode ser esticado sem causar deformação plástica?

Questão 24. Considere um corpo de prova cilíndrico de uma liga de aço com 10,0 mm (0,39 pol.) de diâmetro e 75 mm (3,0 pol.) de comprimento, que é tracionado conforme a curva tensão-deformação a seguir. **(a)** Determine seu alongamento quando uma carga de 20.000 N (4.500 lbf) é aplicada. **(b)** Este material é dúctil ou frágil? **(c)** Qual é o limite de resistência a tração? **(d)** Explique a razão da tensão, mostrada no gráfico, diminuir após o limite de resistência máxima, este comportamento é coerente com a realidade? **(e)** determine o limite de escoamento determinado em um deslocamento de 0,002.



Questão 25. Um corpo de prova cilíndrico de alumínio com diâmetro de 19 mm (0,75 pol.) e comprimento de 200 mm (8,0 pol.) é deformado elasticamente por tração com uma força de 48.800 N (11.000 lbf). Usando os dados da Tabela abaixo, determine: **(a)** A quantidade pela qual esse corpo de prova se alongará na direção da tensão aplicada. **(b)** A variação no diâmetro do corpo de prova. O diâmetro irá aumentar ou diminuir?

<i>Metal Alloy</i>	<i>Modulus of Elasticity</i>		<i>Shear Modulus</i>		<i>Poisson's Ratio</i>
	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>	<i>GPa</i>	<i>10⁶ psi</i>	
Aluminum	69	10	25	3.6	0.33
Brass	97	14	37	5.4	0.34
Copper	110	16	46	6.7	0.34
Magnesium	45	6.5	17	2.5	0.29
Nickel	207	30	76	11.0	0.31
Steel	207	30	83	12.0	0.30
Titanium	107	15.5	45	6.5	0.34
Tungsten	407	59	160	23.2	0.28

Questão 26. Um corpo de prova cilíndrico de alumínio com diâmetro de 0,505 pol. (12,8 mm) e comprimento útil de 2,000 pol. (50,800 mm) é tracionado. Utilize as características carga–alongamento mostradas na tabela a seguir para responder os itens de (a) a (f). **(a)** Represente os dados em um gráfico de tensão de engenharia versus deformação de engenharia. **(b)** Calcule o módulo de elasticidade. **(c)** Determine o limite de escoamento com um deslocamento de

deformação de 0,002. **(d)** Determine a resistência à tração dessa liga. **(e)** Qual é a ductilidade aproximada, em percentual de alongamento? **(f)** Calcule o módulo de resiliência.

<i>Load</i>		<i>Length</i>	
<i>N</i>	<i>lb_f</i>	<i>mm</i>	<i>in.</i>
0	0	50.800	2.000
7,330	1,650	50.851	2.002
15,100	3,400	50.902	2.004
23,100	5,200	50.952	2.006
30,400	6,850	51.003	2.008
34,400	7,750	51.054	2.010
38,400	8,650	51.308	2.020
41,300	9,300	51.816	2.040
44,800	10,100	52.832	2.080
46,200	10,400	53.848	2.120
47,300	10,650	54.864	2.160
47,500	10,700	55.880	2.200
46,100	10,400	56.896	2.240
44,800	10,100	57.658	2.270
42,600	9,600	58.420	2.300
36,400	8,200	59.182	2.330
Fracture			

Questão 27. **(a)** Compare as densidades planares para os planos (100), (110) e (111) na estrutura CFC (cúbica de face centrada). **(b)** Compare as densidades planares para os planos (100), (110) e (111) na estrutura CCC (cúbica de corpo centrado). **(c)** Compare as densidades planares para os planos (100), (110) e (111) na estrutura CS (cúbica simples). **(d)** Dentre estes planos analisados, quais os mais propensos a sofrer escorregamento em cada estrutura cristalina?

Questão 28. Considere um monocristal de prata orientado de tal forma que uma tensão de tração é aplicada ao longo da direção [001]. Se o escorregamento ocorre em um plano (111) e em uma direção [-101], e é iniciado com uma tensão de tração aplicada de 1,1 MPa (160 psi), calcule a tensão de cisalhamento resolvida crítica.

Questão 29. Descreva a diferença entre o processo de recuperação e de recristalização.

Questão 30. A seguir estão os dados tabulados obtidos a partir de uma série de ensaios de impacto Charpy em um ferro fundido dúctil. **(a)** Represente os dados em um gráfico de energia de impacto versus temperatura. **(b)** Determine a temperatura de transição dúctil-frágil como sendo a temperatura correspondente à média entre as energias de impacto máxima e mínima. **(c)** Determine a temperatura de transição dúctil-frágil como sendo a temperatura na qual a energia de impacto é 80 J.

<i>Temperature (°C)</i>	<i>Impact Energy (J)</i>
100	89.3
75	88.6
50	87.6
25	85.4
0	82.9
−25	78.9
−50	73.1
−65	66.0
−75	59.3
−85	47.9
−100	34.3
−125	29.3
−150	27.1
−175	25.0