

PROPRIEDADES MECÂNICAS parte II

Defeitos Cristalinos

1. Aplica-se uma tensão de 50 MPa segundo a direcção $[001]$ de um monocristal CFC. Calcule a tensão tangencial resolvida que actua em cada um dos seguintes sistemas de escorregamento:

a) $(111) [\bar{1}10]$; **b)** $(111) [1\bar{1}0]$; **c)** $(111) [\bar{1}01]$; **d)** $(111) [10\bar{1}]$.

2. Determine a tensão de tracção que deverá ser aplicada segundo a direcção $[1\bar{1}0]$ de um monocristal de cobre, de modo a provocar escorregamento no sistema $(1\bar{1}\bar{1}) [0\bar{1}1]$. A tensão tangencial resolvida crítica do cristal é 0.70 MPa.

3. Num metal com estrutura c.f.c., uma deslocação de vector de Burgers $\frac{a}{2}[1\bar{1}0]$ é paralela à intersecção de dois planos $\{111\}$, respectivamente (111) e $(11\bar{1})$.

a) Classifique a deslocação.

b) Mostre que a deslocação em causa pode mover-se em qualquer dos dois planos referidos.

4. Calcule o raio do maior interstício na estrutura CCC do ferro- α . Nesta estrutura, o raio atómico do Fe- α é 0.124 nm e sabe-se que os maiores interstícios ocorrem em posições do tipo: $(1/4, 1/2, 0)$; $(1/2, 3/4, 0)$; $(3/4, 1/2, 0)$; $(1/2, 1/4, 0)$; etc.

Fractura, Fluência, Fadiga

5. Os resultados seguintes foram obtidos num ensaio de fluência de uma liga de Alumínio submetida à tensão de 2,75 MPa, à temperatura de 480 °C.

Tempo (min)	Extensão	Tempo (min)	Extensão	Tempo (min)	Extensão	Tempo (min)	Extensão
0	0,001	10	0,55	20	0,88	30	1,36
2	0,22	12	0,62	22	0,95	32	1,53
4	0,34	14	0,68	24	1,03	34	1,77
6	0,41	16	0,75	26	1,12		
8	0,48	18	0,82	28	1,22		

a) Trace a curva de fluência.

b) Determine a velocidade de fluência estacionária.

PROPRIEDADES MECÂNICAS parte II

6. Considere uma chapa de um aço ligado cuja tenacidade à fractura é $K_{IC} = 82.4 \text{ MPa m}^{1/2}$. Se durante a sua utilização a chapa for submetida a uma tensão de tracção de 400 MPa, determine o comprimento máxima de fenda que pode existir na chapa sem que ocorra fractura catastrófica para a tensão aplicada. Considere $Y = 1,0$.

Propriedades Mecânicas de Materiais Compósitos

7. Um compósito unidireccional de fibras de alumina (Al_2O_3) e resina epoxídica contém 24% em volume de fibras. As densidades das fibras de Al_2O_3 e da resina epoxídicas são, respectivamente, $3,97 \text{ g/cm}^3$ e $1,1 \text{ g/cm}^3$.

- a) Quais são as percentagens em peso de fibra de Al_2O_3 e de resina epoxídica no material compósito?
- b) Calcule a densidade média do material compósito.

8. Um compósito de matriz metálica, desenvolvido para aplicações espaciais, é constituído por uma matriz de alumineto de titânio (Ti_3Al) reforçada com fibras contínuas de carboneto de silício (SiC). O compósito é do tipo unidireccional (isto é, as fibras contínuas de SiC estão todas dispostas numa única direcção). Se o módulo de elasticidade do compósito em condições de isodeformação for $E = 210 \text{ GPa}$ qual será a percentagem (em volume) de fibras de SiC no compósito? Dados: $E_{\text{Ti}_3\text{Al}} = 145 \text{ GPa}$; $E_{\text{SiC}} = 390 \text{ GPa}$.

9. Considere um compósito unidireccional de fibras de Kevlar 49 numa matriz de resina epoxídica contendo 60% em volume de fibras, que é solicitado em condições de isodeformação. Os módulos de elasticidade das fibras e do compósito são, respectivamente, 175 GPa e 123 GPa.

- a) Calcule o módulo de elasticidade da resina epoxídica.
- b) Qual a percentagem em volume de fibras que conduziria a um módulo de elasticidade do compósito de 150 GPa?
- c) Resolva as alíneas anteriores para a situação em que o material em causa fosse solicitado em condições de isotensão.

PROPRIEDADES MECÂNICAS parte II**Outros problemas (exames e testes anteriores; alguns problemas cobrem matéria de mais que um capítulo do programa da disciplina)**

10. Num metal com estrutura c.f.c., uma deslocação é paralela à intersecção de dois planos $\{111\}$, respectivamente (111) e $(1\bar{1}\bar{1})$. O vector de Burgers da deslocação é: $b = \frac{a}{2}[110]$.

- a) Classifique a deslocação e indique os índices de Miller do plano de escorregamento. Justifique.
 b) Suponha que se aplica uma tensão normal de valor $\sigma = 100$ MPa, sendo a respectiva força aplicada ao longo da direcção $[111]$. Usando a lei de Schmid, $\tau = \sigma \cos \lambda \cos \phi$, calcule a tensão de corte que actua no sistema de escorregamento formado pelo plano de escorregamento que determinou na alínea a) e pela direcção de escorregamento $[110]$.

11. Realizou-se o ensaio de tracção a uma amostra de um material cerâmico (nitreto de silício), tendo-se obtido os seguintes resultados (no final o provete fracturou):

σ / MPa	0	150	300	450	600	750	900
ε / %	0	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30

- a) Com base na tabela acima, trace o gráfico tensão / estensão e determine algumas das propriedades mecânicas do material (determine o máximo número de propriedades possível).
 b) Caracterize este material do ponto de vista do seu comportamento mecânico. Justifique esse comportamento, com base naquilo que sabe acerca da estrutura dos materiais cerâmicos.
 c) Realizou-se outro ensaio mecânico a uma nova peça de nitreto de silício, sendo que neste caso a amostra fracturou aos 500 MPa. Visto que um exame visual prévio do seu estado de superfície não tinha revelado nenhum defeito, explique (de forma qualitativa e quantitativa) o motivo do material ter fracturado muito antes dos 900 MPa. Sabe-se que a tenacidade à fractura é $K_{IC} = 6$ MPa $m^{1/2}$. Considere $Y = 1,0$ na expressão: $Y \sigma \sqrt{\pi a}$.
 d) Deduza a expressão que dá o módulo de Young dum compósito laminado, ou com fibras unidireccionais, em condições de iso-deformação, em que os índices “f” e “m” indicam a fibra (ou reforço) e a matriz, respectivamente $E_C = E_f v_f + E_m v_m$.
 e) Imagine que se consegue obter o nitreto de silício na forma de fibras. Sugira (de forma qualitativa e quantitativa) uma maneira de obter um material com módulo de Young 100 GPa, usando como matriz uma resina epoxídica com módulo de Young igual 4 GPa.

12. Classifique os defeitos cristalinos quanto à sua dimensão macroscópica. Dê um exemplo de cada um desses defeitos (ou seja, basta indicar um membro de cada classe de defeitos, de acordo com a classificação que enunciou) e indique (justificando, de forma sucinta) qual será o respectivo efeito no comportamento mecânico dos materiais metálicos.

13. Determine, em função do raio atómico R, o raio do maior interstício nas estruturas:

- i) CCC; ii) CFC.

Sabe-se que para a estrutura CCC os maiores interstícios ocorrem em posições do tipo:

$(1/4, 1/2, 0)$; $(1/2, 3/4, 0)$; $(3/4, 1/2, 0)$; $(1/2, 1/4, 0)$; etc, e que para a estrutura CFC os maiores interstícios ocorrem no centro das arestas do cubo.

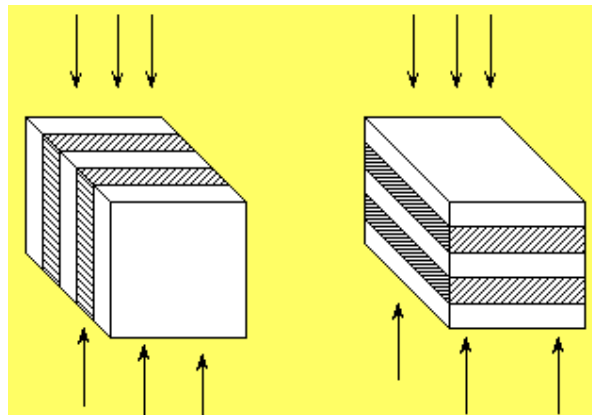
PROPRIEDADES MECÂNICAS parte II

14. Num dado metal, uma deslocação é paralela à direcção $[111]$ e o seu vector de Burgers é: $\mathbf{b} = \frac{a}{2}[110]$.

a) Classifique a deslocação e indique os índices de Miller do plano de escorregamento. Justifique.

b) Suponha que se aplica uma tensão normal de valor $\sigma = 100$ MPa, sendo a respectiva força aplicada ao longo da direcção $[\bar{2}10]$. Usando a lei de Schmid, $\tau = \sigma \cos \lambda \cos \phi$, calcule a tensão de corte que actua no sistema de escorregamento formado pelo plano de escorregamento que determinou na alínea a) e pela direcção de escorregamento $[110]$.

15. Considere o compósito laminado representado na figura abaixo, sujeito a dois sistemas de cargas uniaxiais. Sabendo que a tensão aplicada é, nos dois casos, de 100 MPa, calcule qual a extensão sofrida por essas peças, ao longo da direcção de aplicação do sistema de forças. Sabe-se que os módulos de elasticidade das fibras e da matriz são, respectivamente, 72.3 GPa e 3.1 GPa., sendo a fracção volúmica de fibra de 60%.



16. Considere um veio que transmite potência mecânica numa determinada máquina, rodando segundo o seu eixo de forma alternada, sendo a frequência associada à mudança de sentido de rotação de 20 s^{-1} (ou seja, em termos do ciclo completo, a frequência é de 10 s^{-1}). Sabendo que a tensão máxima no veio é de 200 MPa, e que na curva de fadiga desse material, esse valor da tensão corresponde a 10^8 ciclos, diga qual o tempo máximo de serviço dessa peça, em dias.

17. Versão I. a) Represente no mesmo cubo unitário o plano $(1\bar{1}1)$ e a direcção $[110]$.

b) Represente no mesmo cubo unitário o plano $(\bar{1}01)$ e a direcção $[11\bar{2}]$.

c) Relativamente às alíneas a) e b), e no(s) caso(s) em que tal associação plano-direcção seja um possível sistema de escorregamento*, calcule a tensão de corte que actua nesse sistema, no caso em que um monocristal é traccionado ao longo da direcção $[\bar{1}20]$ usando uma tensão normal de 100 MPa.

(*nos casos em que tal não seja possível, justifique sucintamente tal conclusão)

$$\tau = \sigma \cos \lambda \cos \phi$$

d) Reescreva a seguinte frase, usando os termos mais correctos/adequados. Explique de forma sucinta as razões que o levaram a fazer tais correcções.

“Os deslocamentos em parafuso são defeitos planares que se caracterizam pelo facto do ângulo entre o vector de Bragg e a linha da deslocação ser de 45° .”

PROPRIEDADES MECÂNICAS parte II

17 e) O 2º pico dum espectro de difracção de um elemento com estrutura cristalina CFC ou CCC tem para o respectivo ângulo de difracção o valor: 35.698°. Foram utilizados raios-X de comprimento de onda $\lambda=0,144$ nm. Utilizando a lei de Bragg: $n \lambda = 2 d_{hkl} \text{sen}(\theta)$, determine o parâmetro de rede do elemento. Nota: para o sistema cúbico: $d = a / (h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}$

17. Versão II. a) Represente no mesmo cubo unitário o plano $(1 \bar{1} 1)$ e a direcção $[1 1 0]$.

b) Represente no mesmo cubo unitário o plano $(\bar{1} 0 1)$ e a direcção $[1 1 \bar{2}]$.

c) Relativamente às alíneas a) e b), e no(s) caso(s) em que tal associação plano-direcção seja um possível sistema de escorregamento*, calcule a tensão de corte que actua nesse sistema, no caso em que um monocristal é traccionado ao longo da direcção $[\bar{1} 2 0]$ usando uma tensão normal de 50 MPa.

(*nos casos em que tal não seja possível, justifique sucintamente tal conclusão)

$$\tau = \sigma \cos \lambda \cos \phi$$

d) Reescreva a seguinte frase, usando os termos mais correctos/adequados. Explique de forma sucinta as razões que o levaram a fazer tais correcções.

“Os deslocamentos em cunha são defeitos planares que se caracterizam pelo facto do ângulo entre o vector de Bragg e a linha da deslocação ser de 45°.”

e) O 2º pico dum espectro de difracção de um elemento com estrutura cristalina CFC ou CCC tem para o respectivo ângulo de difracção o valor: 35.698°. Foram utilizados raios-X de comprimento de onda $\lambda=0,164$ nm. Utilizando a lei de Bragg: $n \lambda = 2 d_{hkl} \text{sen}(\theta)$, determine o parâmetro de rede do elemento. Nota: para o sistema cúbico: $d = a / (h^2 + k^2 + l^2)^{1/2}$

18. Versão I. a) Deduza a fórmula que dá o valor do módulo de Young dum compósito laminado

em condições de isotensão.

$$E_C = E_f v_f + E_m v_m$$

$$\frac{1}{E_C} = \frac{v_f}{E_f} + \frac{v_m}{E_m}$$

b) Considere um compósito reforçado com partículas, com fracção volúmica de partículas $v_f = 0.40$. Calcule um majorante e um minorante para o valor do respectivo módulo de Young. Sabe-se que os módulos de Young da matriz e reforço são, respectivamente: $E_m = 125$ GPa, $E_f = 350$ GPa.

18. Versão II. a) Deduza a fórmula que dá o valor do módulo de Young dum compósito laminado

em condições de isodeformação.

$$E_C = E_f v_f + E_m v_m$$

$$\frac{1}{E_C} = \frac{v_f}{E_f} + \frac{v_m}{E_m}$$

b) Considere um compósito reforçado com partículas, com fracção volúmica de partículas $v_f = 0.60$. Calcule um majorante e um minorante para o valor do respectivo módulo de Young. Sabe-se que os módulos de Young da matriz e reforço são, respectivamente: $E_m = 125$ GPa, $E_f = 350$ GPa.

19. Reescreva a seguinte frase, usando os termos mais correctos/adequados:

Os metais em geral são frágeis pois normalmente contêm no seu interior desligamentos, que são defeitos cristalinos planares; tais defeitos movem-se em planos de escorregamento, que são preferencialmente os planos mais difractores, desde que se exceda a tensão de rotura resolvida crítica.