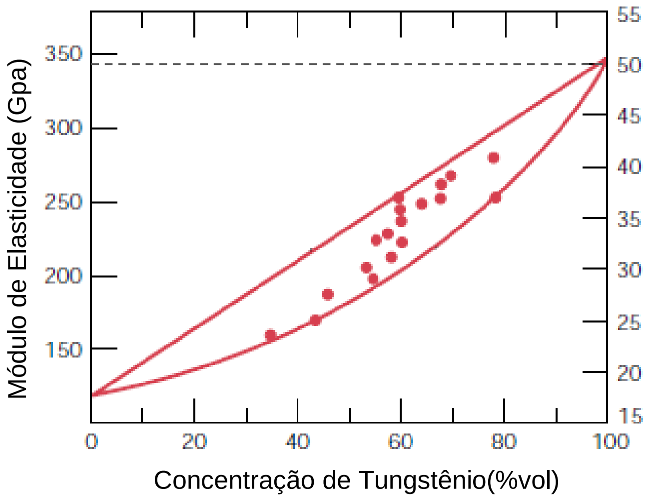
ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Depertamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
PMT 2200
Exercícios – Materiais Compósitos

1) Calcular o módulo de elasticidade de um compósito de matriz de cobre contendo 50%, em volume, de tungstênio, utilizando as equações do limite inferior e superior do módulo de elasticidade.

Dado:



<u>Solução:</u>

Da curva Módulo de elasticidade do compósito x concentração de tungstênio (%vol), temos:

Módulo de elasticidade do cobre (0% de tungstênio) ≅ 120 GPa
Módulo de elasticidade do tungstênio (100% de tungstênio) ≅ 340 GPa

Dessa forma:

$$E_c(u) = E_m V_m + E_p V_p = 120.0{,}50 + 340.0{,}50 \cong 230\ GPa$$

e

$$E_c(l) = \frac{E_m E_p}{V_m E_p + V_p E_m} = \frac{120.340}{0{,}50.340 + 0{,}50.120} \cong 177\ GPa$$

2) A Figura abaixo (Figura 1) representa duas configurações possíveis de carregamento em compósitos reforçados por fibra: longitudinal (a) e transversal (b). Deduza para cada caso a relação entre o módulo de Young do compósito na configuração longitudinal e transversal em função das propriedades do reforço (E_f) e da matriz (E_m) e de suas respectivas frações volumétricas (V_f e V_m).

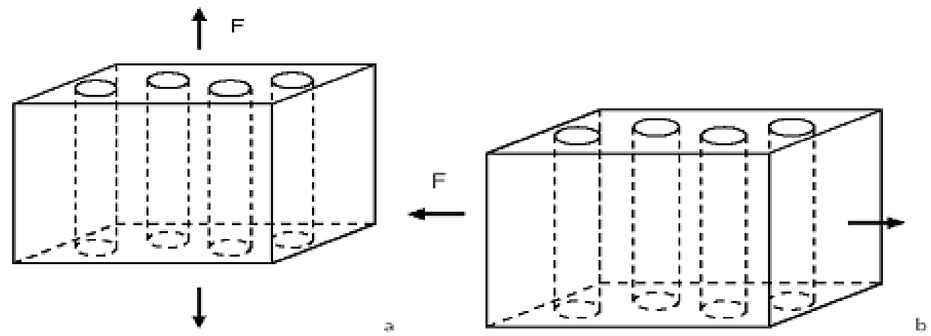


Figura 1: Modos de carregamento de compósitos reforçados por fibras contínuas. (a) longitudinal e (b) transversal.

Solução:

a) Carregamento longitudinal

Assumindo-se uma condição de isodeformação (a deformação na matriz e nas fibras é a mesma, temos:

$$F_c = F_m + F_f \qquad (1)$$

onde: F_c = força total suportada pelo compósito
F_m = força suportada pela matriz
F_f = força suportada pelas fibras

Tomando-se a definição de tensão ($\sigma = \frac{F}{A}$), a equação (1) pode ser escrita da seguinte maneira:

$$\sigma_c A_c = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f \qquad (2)$$

Isolando-se σ_c no 1º membro, temos:

$$\sigma_c = \sigma_m \frac{A_m}{A_c} + \sigma_f \frac{A_f}{A_c} \qquad (3)$$

As expressões A_m/A_c e A_f/A_c representam as frações volumétricas da matriz (V_m) e da fribra (V_f), ou seja:

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f \qquad (4)$$

Considerando-se a premissa inicial de isodeformação ($\varepsilon_c = \varepsilon_m = \varepsilon_f$), a equação (4) pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{\sigma_c}{\varepsilon_c} = \frac{\sigma_m}{\varepsilon_m} V_m + \frac{\sigma_f}{\varepsilon_f} V_f \qquad (5)$$

Lembrando novamente a definição de módulo de elasticidade ($E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$) e assumindo-se que ambas, fase matriz e fase reforço (fibras) estão no regime elástico, podemos reescrever a equação (5):

$$E_{cl} = E_m V_m + E_f V_f$$

onde E_{cl} é o módulo do compósito, em carregamento longitudional.

b) <u>carregamento transversal</u>

Neste caso, assume-se que a tensão nas fibras e na matriz é a mesma e que, portanto, o alongamento do compósito (Δl_c) é a soma dos alongamentos da fibra (Δl_f) e da matriz (Δl_m), ou seja:

$$\Delta l_c = \Delta l_m + \Delta l_f \qquad (1)$$

Lembrando a definição de deformação de engenharia ($\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$) e tomando as espessuras de cada fase como o comprimento original (l_0), temos:

$$\varepsilon_c t_c = \varepsilon_m t_m + \varepsilon_f t_f \qquad (2)$$

onde ε representa a deformação do compósito (c), da matriz (m) e da fibra (f) e t representa as respectivas espessuras.

Sejam as frações volumétricas dadas pelas seguintes expressões (verifique!)

$$V_m = \frac{t_m}{t_c} \text{ (matriz) e } V_f = \frac{t_f}{t_c} \text{ (fibra).}$$

Substituindo em (2):

$$\varepsilon_c = \varepsilon_f V_f + \varepsilon_m V_m \qquad (3)$$

Da definição de módulo e novamente assumindo-se que ambas, fase matriz e fase reforço (fibras), estão no regime elástico, temos:

$$\varepsilon_f = \frac{\sigma_f}{E_f} \qquad \text{e} \qquad \varepsilon_m = \frac{\sigma_m}{E_m}$$

Lembrando-se a premissa inicial ($\sigma_c = \sigma_m = \sigma_f$), a equação (3) pode ser reescrita da seguinte forma:

$$\frac{1}{E_{ct}} = \frac{1}{E_f} V_f + \frac{1}{E_m} V_m$$

onde E_{ct} é o módulo do compósito, em carregamento transversal

3) Calcule os dois módulos para um compósito de Epóxi (E_m = 4 GPa) com 40% em volume de fibra de vidro (E_f = 80 GPa) e comente.

<u>Solução</u>:

Carregamento longitudinal:

$$E_{cl} = E_m V_m + E_f V_f = 4.0,6 + 80.0,4 = 34,4\ GPa$$

Carregamento transversal:

$$\frac{1}{E_{ct}} = \frac{1}{E_f} V_f + \frac{1}{E_m} V_m \Rightarrow \frac{1}{E_{ct}} = \frac{1}{80} 0.40 + \frac{1}{4} 0,60 \Rightarrow E_{ct} = 6,5\ GPa$$

4) Quer-se produzir um compósito com fibras contínuas e alinhadas. O compósito é formado por 30% em volume de fibras aramida e 70% em volume de uma matriz a base de policarbonato (PC); as características mecânicas desses dois materiais são:

•Material	E (GPa)	LR (MPa)
•Fibras aramida	131	3600
•Policarbonato	2,4	65

Ainda, a tensão sobre a matriz de PC, quando as fibras aramida falham, é de 45MPa.
Para esse compósito, calcule o limite de resistência à tração longitudinal.

<u>Solução</u>:

Tomando-se a expressão para a resistência longitudinal do compósito (vide notas de aula):

$$\sigma^*_{cl} = \sigma'_m (1 - V_f) + \sigma^*_f V_f$$

onde σ'_m é a tensão na matriz quando a fibra falha e σ^*_f é a resistência à tração da fibra, temos:

$$\sigma^*_{cl} = 45.0,70 + 3600.0,30 = 1100\ MPa$$

5) Em relação a compósitos, podemos afirmar:

i) Pode-se considerar um compósito como sendo um material multifásico que é projetado para combinar as propriedades das fases que o constituem.
ii) As propriedades dos compósitos são uma função das propriedades das fases constituintes, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa.
iii) Nos compósitos reforçados com fibras, um certo comprimento crítico de fibra é necessário para que exista um efetivo aumento da resistência e um enrijecimento do material.
iv) As propriedades mecânicas dos compósitos dependem muito das propriedades das matrizes e não são influenciadas pelos comprimentos críticos das fibras que o compõem.
v) Os compósitos reforçados com fibras são sempre materiais isotrópicos.

Assinale a alternativa correta:

a) i,ii, iii são verdadeiras
b) só i e ii são verdadeiras
c) apenas iv é falsa
d) apenas v é falsa
e) só ii e iii são verdadeiras