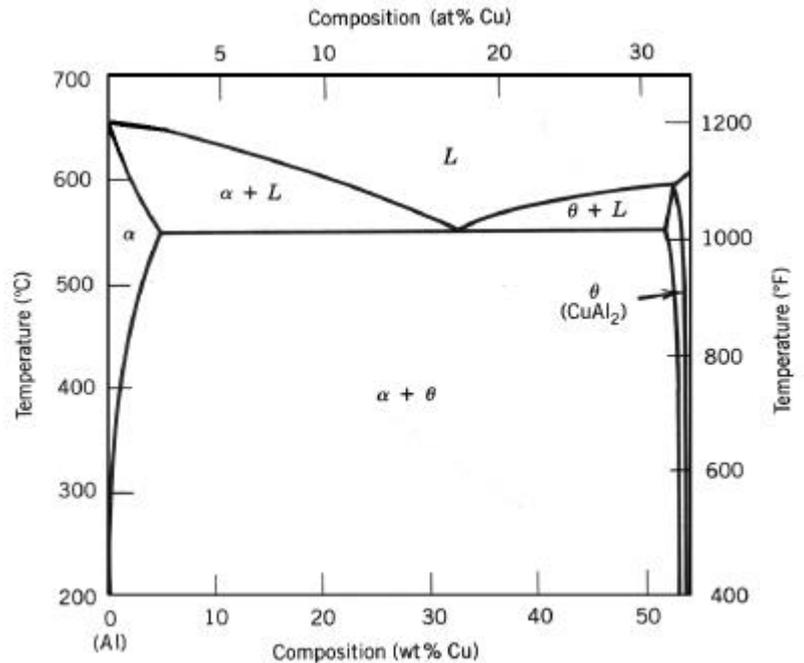


Lista de Exercícios

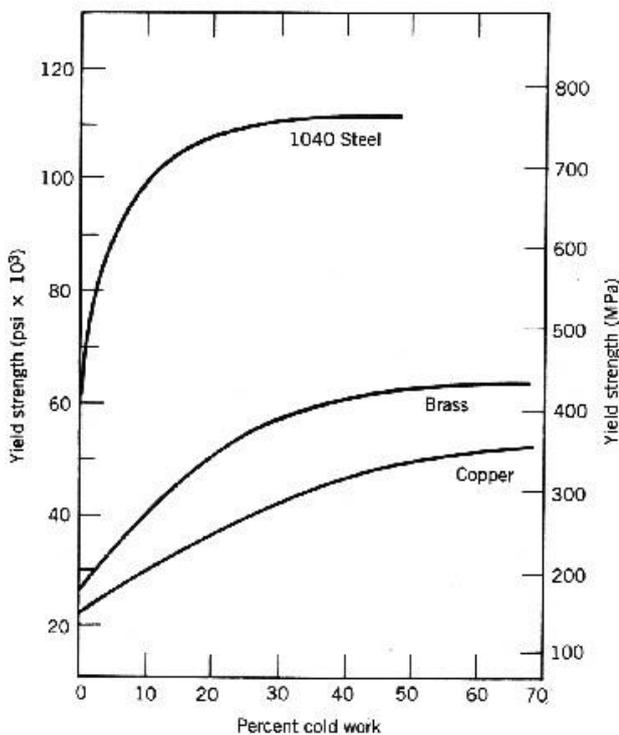
**Defeitos e deformação plástica
Propriedades Mecânicas II**

1. Considerando o diagrama de fases Al-Cu dado ao lado, escolha, justificando a sua resposta, a melhor composição de liga Al-Cu para endurecimento por precipitação.

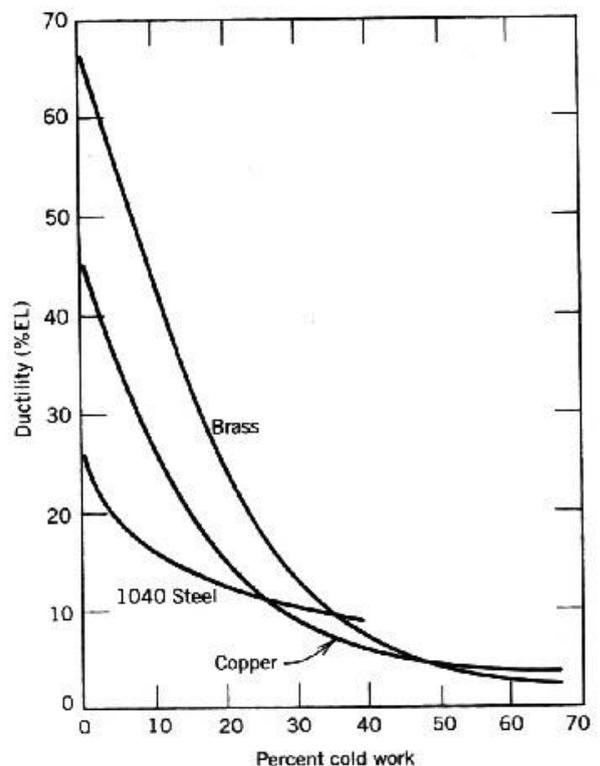


2. Considere as figuras dadas a seguir. Uma barra cilíndrica de latão de diâmetro inicial igual a 30,0mm sofreu uma deformação plástica a frio, sendo o diâmetro final depois da deformação igual a 26,8 mm. Pede-se :

- (a) Determine o grau de deformação, em % de redução de área (“% cold work”).
- (b) Estime, utilizando as figuras, o limite de escoamento e a ductilidade dessa liga depois da deformação a frio.



Varição do limite de escoamento com o grau de deformação, em % de redução de área, %CW, para Cu e ligas trabalhados a frio.



Varição da ductilidade (%EL) com o grau de deformação, em % de redução de área, %CW, para Cu e ligas trabalhados a frio.

3. Você é o responsável do projeto de um a turbina a gás funcionando a 800°C. As paletas do rotor serão construídas em uma superliga de níquel, que, nessa temperatura, apresenta um módulo de Young igual a 180 GPa. Quando colocadas em serviço, e sob o efeito da força centrífuga, as paletas são submetidas a um esforço que gera uma tensão normal de 450 MPa. Você dispõe dos dados experimentais apresentados abaixo, relativos ao estágio II das curvas de fluência desse material.

Tempo (h)	Deformação plástica em fluência (ϵ_p , em %)		
	Temperatura (°C)		
	700	800	900
1000	0,100	0,500	0,900
11000	0,200		22,036

Pergunta-se:

- Qual é a deformação elástica instantânea que sofrem as paletas quando são colocadas em serviço?
- Qual é o valor da velocidade de fluência $d\epsilon/dt$ (em h^{-1}) para o estágio II de fluência dessa superliga a 700°C e a 900°C?
- Qual é o valor da energia aparente de ativação (em kJ/mol) da velocidade de fluência no estágio II para essa superliga, sabendo-se que a equação abaixo é válida?

$$\left(\frac{d\epsilon}{dt}\right)_T = C \exp\left(\frac{-Q}{RT}\right)$$

onde **T** é a temperatura absoluta; **C** é uma constante característica do material; **R** é a constante dos gases (**R** = 8,314 J/mol); **e** é a deformação em fluência; **t** é o tempo; **Q** é a energia aparente de ativação que se deseja calcular.

- Com os dados experimentais, e com os resultados calculados nos itens anteriores, calcule o valor da deformação plástica depois de 11000h de operação a 800°C.
- Se a velocidade em serviço da turbina fosse mais elevada, a deformação calculada no item anterior seria atingida depois de um tempo de operação maior ou menor que 11000h? Justifique a sua resposta.

4. Para uma liga de alumínio, ensaios de fadiga em flexão rotativa foram realizados em corpos de prova com seção transversal constante **d**, e apresentaram os resultados dados na tabela a seguir. Os valores apresentados representam a média aritmética de dois ensaios realizados à mesma temperatura.

- Traçar a curva S-N para essa liga.
- Determinar o limite de fadiga para um número de ciclos aplicado igual a 10^7 .

Amplitude da tensão $\Delta\sigma$ (MPa)	400	350	300	250	220	180	170	160
N (número de ciclos na ruptura)	$1,8 \times 10^4$	$4,5 \times 10^4$	$2,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$	$5,5 \times 10^6$	$5,0 \times 10^7$	$1, \times 10^8$	$7,0 \times 10^8$

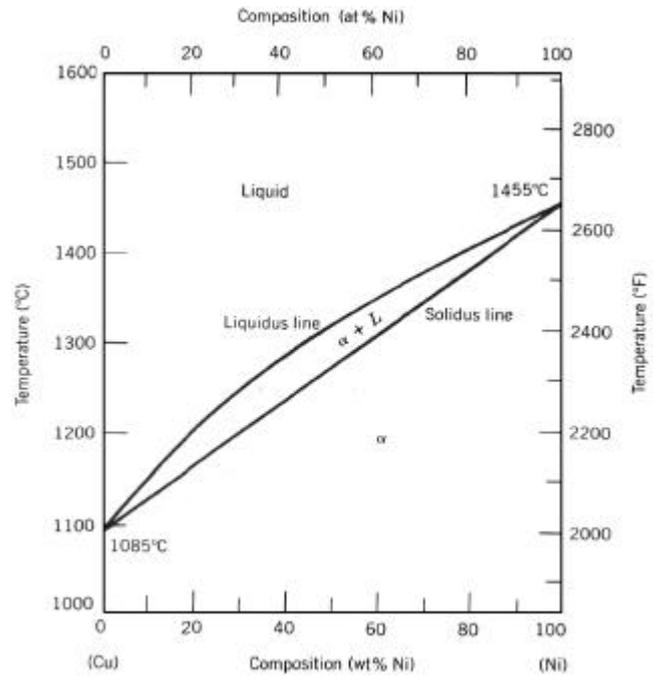
5. Você deseja determinar a temperatura de transição frágil-dúctil de um aço. Foram feitos 15 ensaios de impacto a cinco temperaturas diferentes (três ensaios por temperatura), segundo a tabela indicada abaixo. O pêndulo do ensaio de impacto caiu de uma altura inicial de 80cm, e a tabela mostra a altura final atingida pelo pêndulo a cada ensaio. Determine a temperatura de transição a partir desses dados experimentais, que será definida pela energia média entre as energias do “patamar frágil” e do “patamar dúctil”.

Temperatura (°C)	Altura h (cm) do pêndulo após impacto		
-60	70	75	65
-40	65	60	70
-20	20	25	25
0	5	não quebrou	10
+20	5	5	não quebrou

Exercícios Extras

**Defeitos e deformação plástica
Propriedades Mecânicas II**

E1. Considere o diagrama Cu-Ni dado ao lado. É possível endurecer por precipitação uma liga Cu-10%Ni? Justifique a sua resposta.

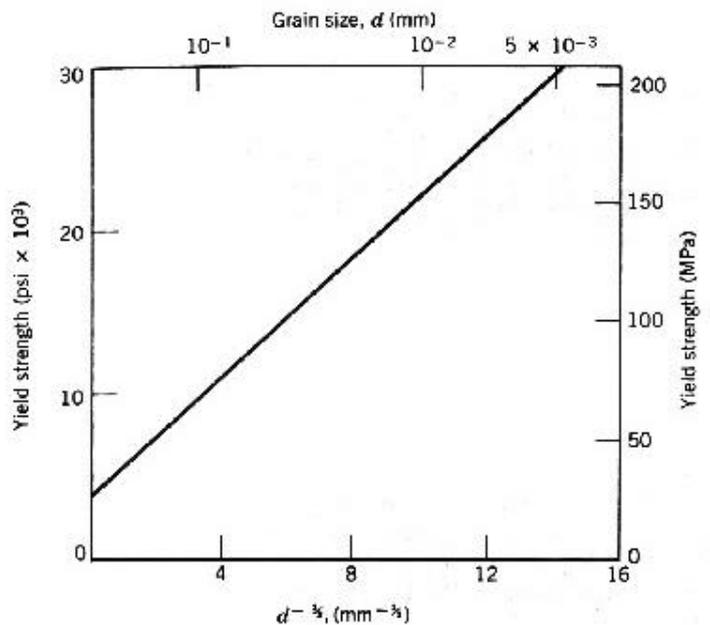


E2. Considere a figura dada ao lado [limite de escoamento *yield strength* x diâmetro médio de grão $d^{1/2}$], dada no verso da página, válida para uma liga 70 Cu-30 Zn.

- (a) Determine os valores das constantes σ_0 e k_y da relação de Hall-Petch.
- (b) Utilizando a relação de Hall-Petch, calcule o limite de escoamento para essa liga quando o diâmetro médio de grão for igual a $1,0 \times 10^{-3}$ mm.

Dado: relação de Hall-Petch :

$$s_y = s_o + k_y d^{-\frac{1}{2}}$$



Limite de escoamento ("yield strength") x (diâmetro médio de grão)^{1/2} para uma liga 70 Cu-30 Zn

E3. Considere duas discordâncias em cunha no mesmo plano de deslizamento e separadas por algumas distâncias interatômicas. O que pode ocorrer se devido a tensões aplicadas ao material essas discordâncias forem forçadas a se aproximar?

E4. Para uma liga de alumínio, ensaios de fadiga em flexão rotativa foram realizados em corpos de prova com seção transversal constante d , e apresentaram os resultados dados na tabela a seguir (são os mesmos relativos ao Exercício 4 da Lista). Os valores apresentados representam a média aritmética de dois ensaios realizados à mesma temperatura. Essa liga foi utilizada para construir um eixo de transmissão que é submetido a esforços de flexão rotativa, e que possui a forma dada pela Figura E4.1 ($d = 30\text{mm}$; $r = 6,6\text{mm}$). Para o caso de tensão em flexão rotativa submetida a um corpo com seção transversal variável, o limite de fadiga que o corpo pode efetivamente suportar varia com o raio r apresentado no esquema da peça segundo a curva apresentada na Figura E4.2, na qual σ_{fo} = limite de fadiga experimental obtido a partir de corpos de prova de seção transversal constante d ; σ_{fent} = limite de fadiga que corpos com seção transversal variável (como os dados na Figura E4.1) podem suportar nas mesmas condições; d e r dimensões indicadas na Figura E4.2. Considerando esses dados, qual é a tensão máxima em flexão rotativa que um eixo como o da Figura E4.2 pode suportar para que possa ter uma vida de 5×10^7 ciclos?

Amplitude da tensão $\Delta\sigma$ (MPa)	400	350	300	250	220	180	170	160
N (número de ciclos na ruptura)	$1,8 \times 10^4$	$4,5 \times 10^4$	$2,0 \times 10^5$	$1,0 \times 10^6$	$5,5 \times 10^6$	$5,0 \times 10^7$	$1, \times 10^8$	$7,0 \times 10^8$

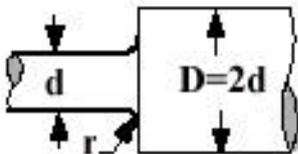


Figura E4.1

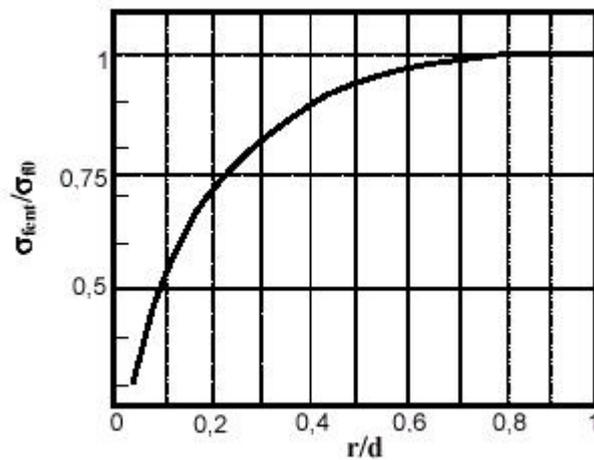


Figura E4.2

E5. O polietileno pode apresentar três tipos de comportamento segundo a temperatura:

- para uma temperatura $T < T_g$ (onde T_g é a temperatura de transição vítrea), ele tem um comportamento puramente elástico;
- para uma temperatura $T_g < T < T_m$ (onde T_m é a temperatura de fusão cristalina), ele tem um comportamento viscoelástico, chamado comumente de “borrachosos”;
- para uma temperatura $T > T_m$, ele tem um comportamento viscoplástico.

Considerando um esforço como o apresentado abaixo, onde é esquematizada uma curva de tensão σ x tempo, desenhe de forma esquemática como seria a curva de deformação ϵ x tempo para os três comportamentos do polietileno que acabaram de ser mencionados, assumindo que a tensão aplicada é menor que o limite de elasticidade do material.

