



Introdução a Ciência dos Materiais

Propriedades Mecânicas II

Professora: Maria Ismenia Sodero

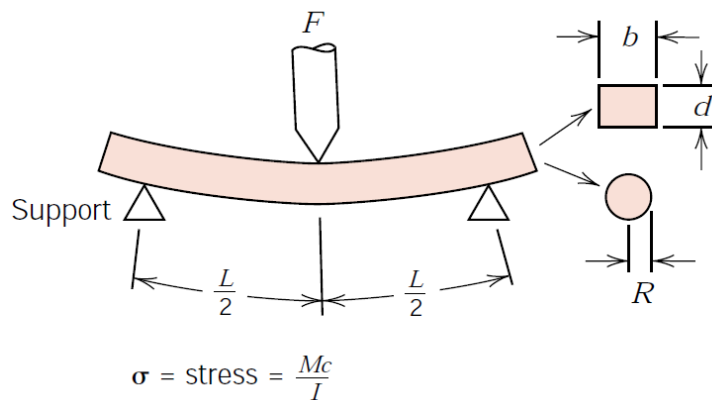
maria.ismenia@usp.br



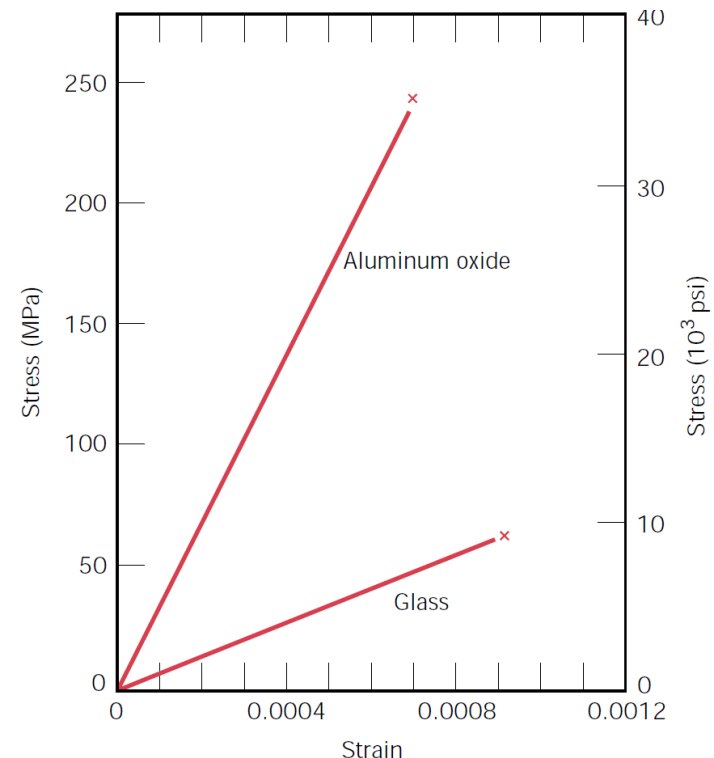
Comportamento mecânico

Materiais cerâmicos

- Resistência à flexão mais comum;
- Ensaio de tração não é muito comum para materiais frágeis;
- Comportamento é usualmente elástico com fratura frágil.



Onde M= momento fletor máximo
c= distância do centro do corpo de prova até as fibras mais externas.
I= momento de Inércia da seção reta
F=Carga aplicada.



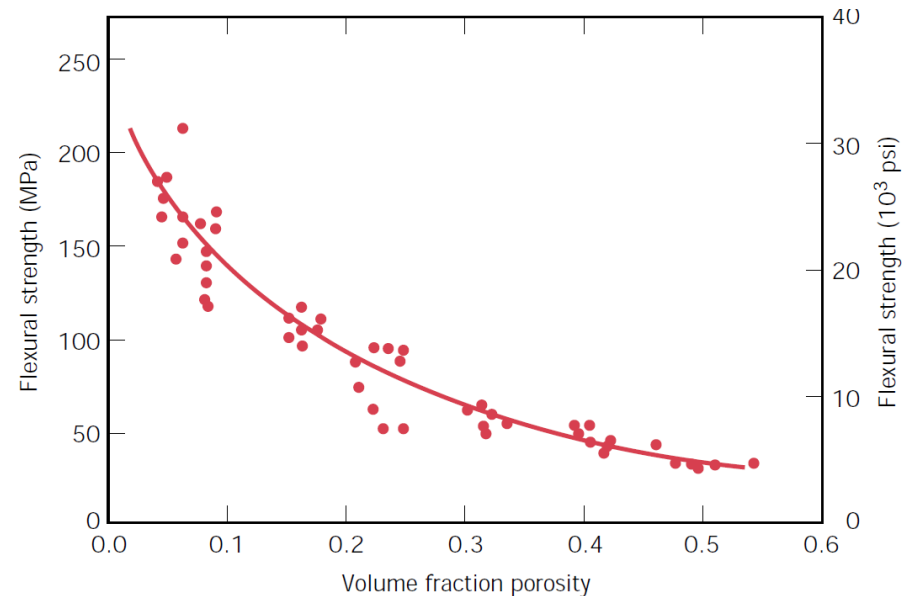
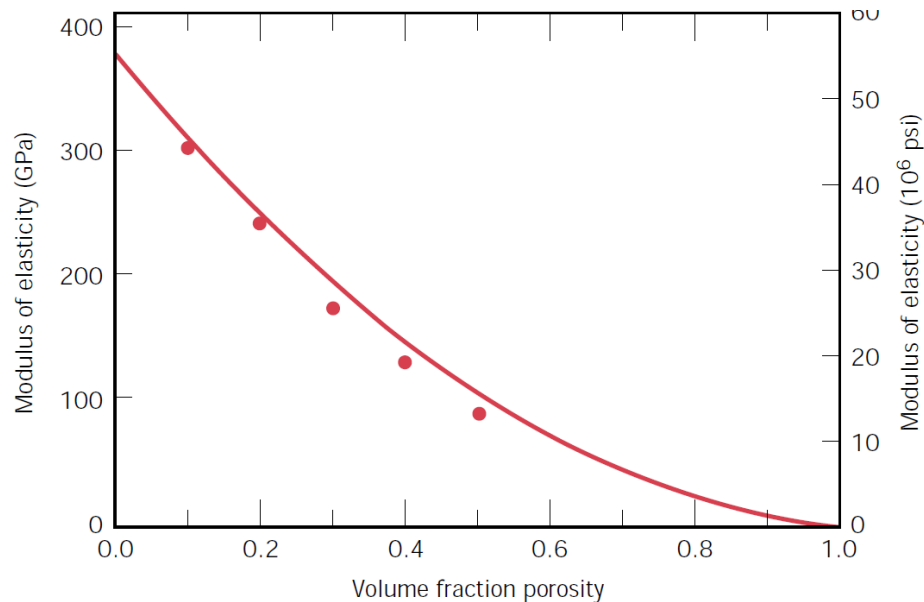
Comportamento tensão-deformação típico até o momento da fratura de óxido de alumínio e vidro.



Comportamento mecânico

Materiais cerâmicos

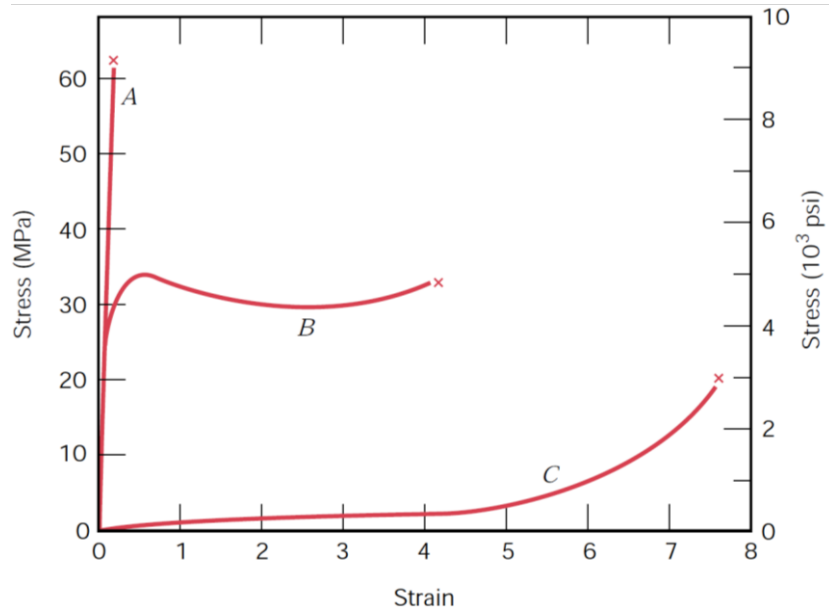
- Porosidade tem influência sobre as propriedades elásticas como sobre a resistência.
- E diminui em função da fração volumétrica da porosidade;
- A porosidade exerce influência negativa sobre a resistência à flexão: poros reduzem a área da seção reta e atuam como concentradores de tensão;





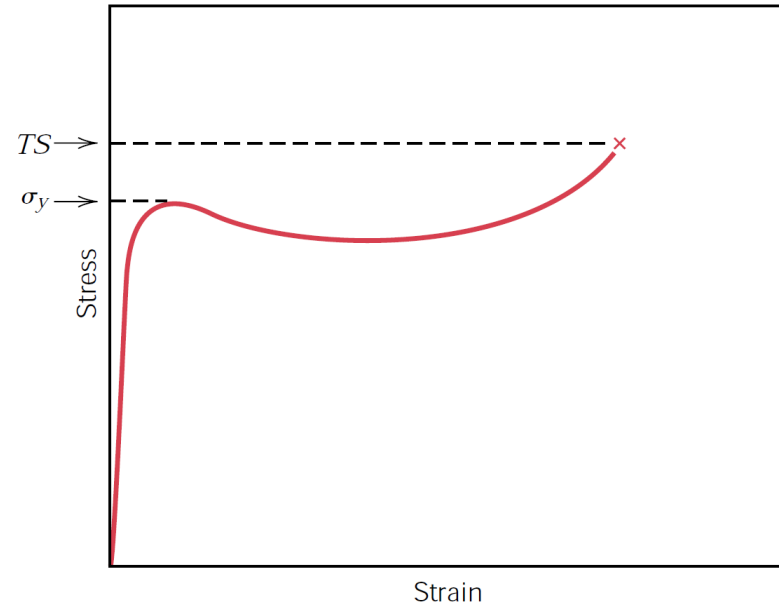
Comportamento mecânico

Materiais poliméricos



Comportamento tensão-deformação para polímeros:

- A: fratura frágil
- B: início elástico e depois deformação plástica
- C: totalmente elástica - elastômeros



Curva tensão deformação esquemática para um polímero plástico, mostrando os limites de escoamento e o limite de resistência a tração.



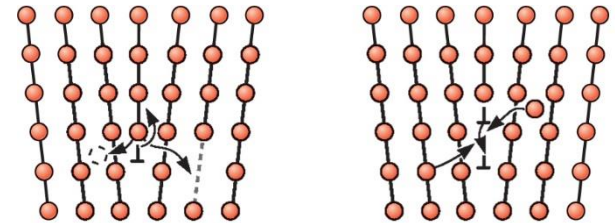
Influência da Temperatura na resistência dos metais

A resistência dos metais ↓ com o ↑ T:

↑ T - > mobilidade das discordâncias, devido ao mecanismo da escalagem (que permite às discordâncias moverem-se para outros planos quando um obstáculo é encontrado) - > concentração de lacunas em equilíbrio;

Pode ocorrer mudança no sistema de deslizamento ou são introduzidos sistemas de deslizamento adicionais;

Sabemos também que os metais trabalhados a frio irão se recristalizar e podem experimentar crescimento de grão e perder resistência mecânica



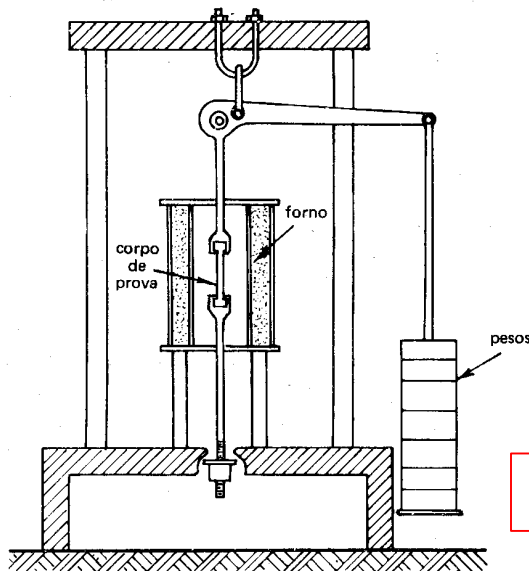
Escalagem de discordâncias (a) ocorre quando átomos da rede deixam a linha de discordância para preencher lacunas ou para ocupar locais intersticiais, (b) quando átomos são atraídos para a linha de discordância, mediante a criação de lacunas ou com a saída de átomos intersticiais.

A elevadas temperaturas, a resistência torna-se muito dependente da taxa de deformação, como do tempo de exposição.



Fluência

- Fluência (creep) é a **deformação plástica** que ocorre em um material sob **tensão ou carga constante** em **função do tempo (ocorre gradualmente ao longo do tempo)**, a uma temperatura constante.
- Deformação progressiva de uma material sob tensão constante.
- Para os metais se torna importante para $T > 0,4T_f$ - Existem metais que exibem o fenômeno de fluência mesmo à temperatura ambiente, enquanto outros resistem a essa deformação mesmo a temperatura elevadas.



Mecanismos teóricos:

Difusão de lacunas induzida por deformação;
Difusão do contorno de grão;
Movimento de discordâncias
Escorregamento do contorno de grão;

Ensaio de fluência

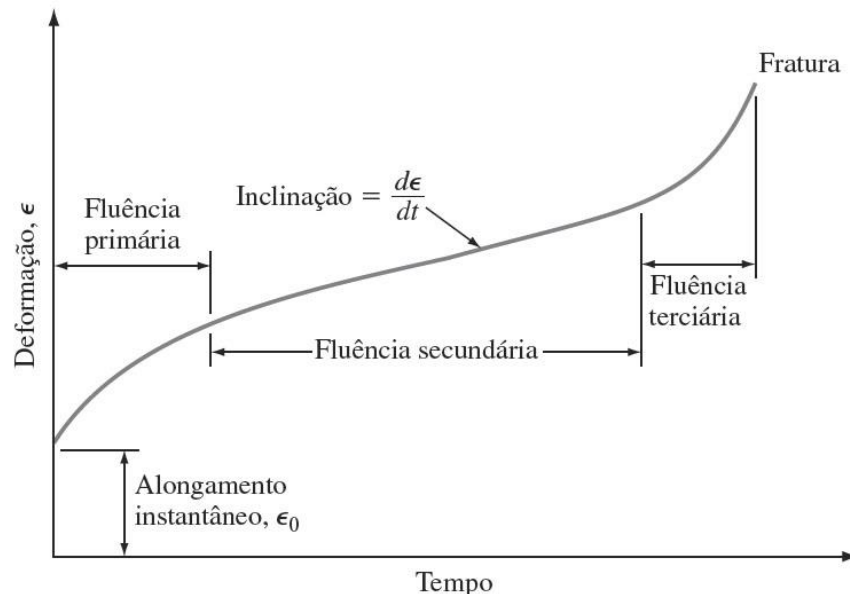


Curva típica de fluência

Fluência primária: representa uma região de taxa de deformação decrescente. Neste estágio, a resistência do material à fluência aumenta devido à sua própria deformação.

Fluência secundária: taxa de fluência aproximadamente constante, que resulta de um processo competitivo entre mecanismos de encruamento e de recuperação. Fluência em estado de equilíbrio e o valor médio da taxa de fluência neste estágio é denominado taxa de fluência mínima.

Fluência terciária: ocorre para altas tensões e altas temperaturas. $d\epsilon/dt$ crescente desenvolvimento de cavidades (poros), formação de trincas e vazios, que levam à ruptura do material.



$$\dot{\epsilon}_M = \text{taxa mínima de fluência} = \frac{d\epsilon}{dt}$$

$$\dot{\epsilon}_M = K \sigma^n \exp\left(\frac{-Q_c}{RT}\right)$$

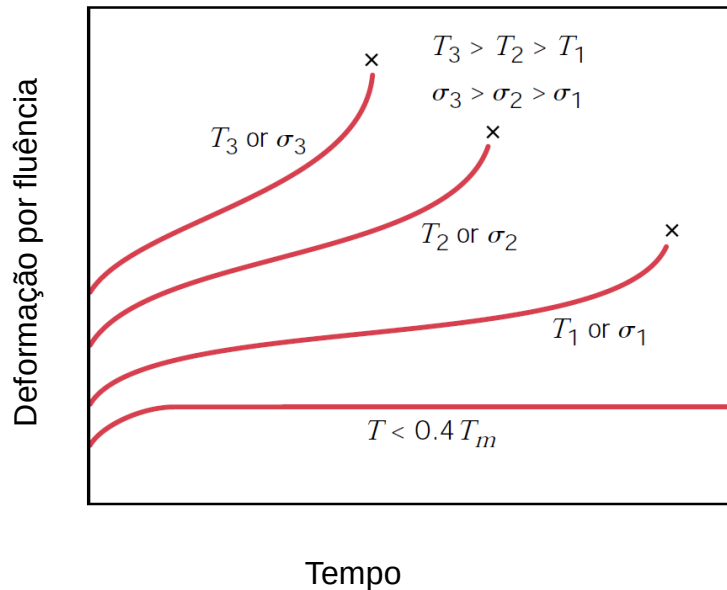
$$\ln \dot{\epsilon}_M = \ln k + n \ln \sigma - \frac{Q_c}{RT}$$

Onde K e n são constantes de pendentes do material
 Q_c é a energia de ativação para a fluência
R é a constante universal dos gases
T é temperatura

Curva de fluência típica do metal. Representa a deformação do metal ou da liga em questão em função do tempo sob a ação de uma carga constante em uma temperatura também constante.



Efeito da Temperatura e Tensão



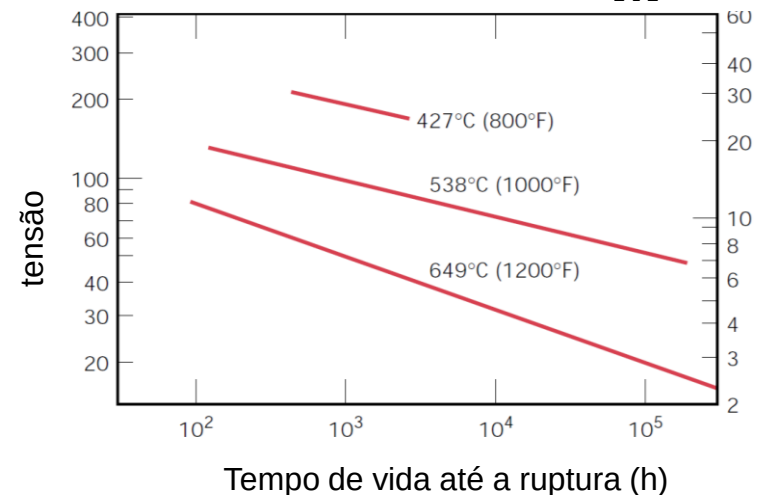
Tempo de vida diminui: $t_{f,4} < t_{f,3} < t_{f,2}$

Taxa de fluência aumenta: $(\dot{\epsilon}_{\min})_1 < (\dot{\epsilon}_{\min})_2 < (\dot{\epsilon}_{\min})_3 < (\dot{\epsilon}_{\min})_4$

Obs: no caso 1 o material não rompe neste intervalo e poderia permanecer por todo o tempo de operação sem quebrar.

$$\dot{\epsilon}_M = K \sigma^n \exp\left(\frac{-Q_c}{RT}\right)$$

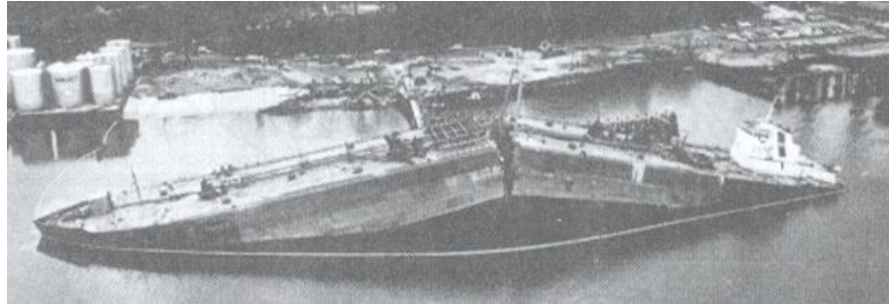
$$\ln \dot{\epsilon}_M = \ln k + n \ln \sigma - \frac{Q_c}{RT}$$



Os resultados de ensaio de ruptura por fluência são comumente apresentados na forma do logaritmo da tensão em função do logaritmo do tempo de vida até a ruptura.

Contornos de grão: $\uparrow$ tamanho de grão $\Rightarrow \uparrow$ resistência à fluência

Comportamento sob Impacto



‘Liberty ships’ = navios que rompiam ao meio durante a fabricação por soldagem. Os navios foram fabricados para transportar alimentos, remédios e vestimentas para os aliados dos EUA na Europa. Alguns navios romperam ao meio durante a fabricação, outros durante a viagem e outros chegaram intactos.

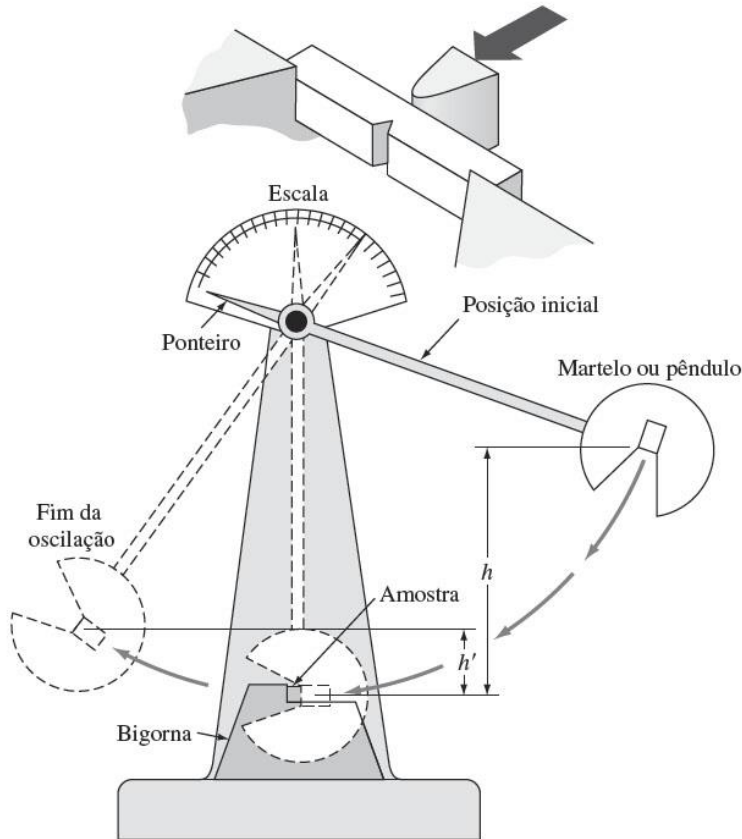
Em algumas ocasiões, metais que são normalmente dúcteis, fraturam abruptamente e com muito pouca deformação plástica:

- Deformação a uma temperatura relativamente baixa;
- Elevada taxa de deformação (velocidade de aplicação da carga);
- Estado de tensão triaxial (introduzido pela presença do entalhe);

Exemplo: polietileno for estirado lentamente, as moléculas poliméricas terão condições de desembaraçar-se ou as cadeias poderão deslizar uma sobre as outras e resultar em grandes deformações plásticas. Porém, se uma carga de impacto for aplicada, não haverá tempo para ocorrência de tais fenômenos e o material se romperá de forma frágil.

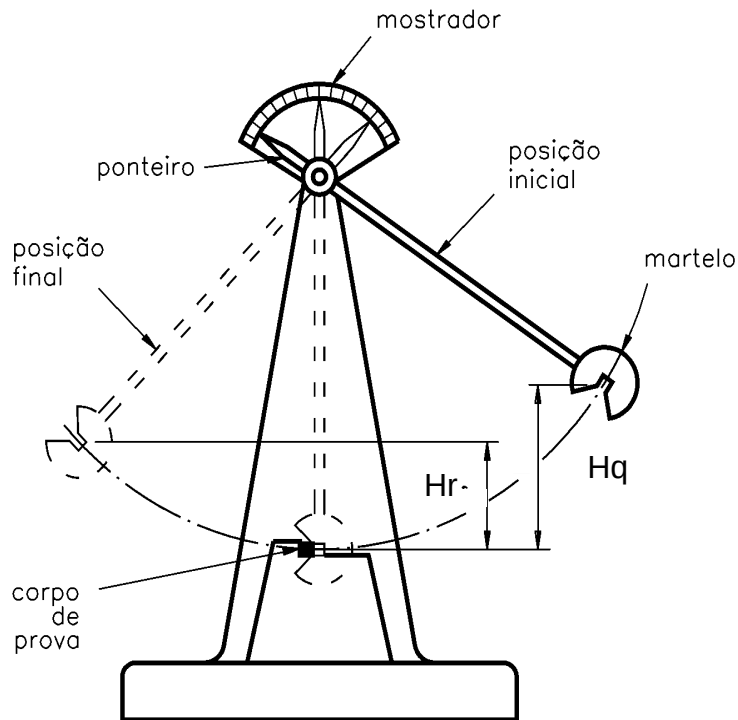
Ensaio de Impacto

- Estuda os efeitos das cargas dinâmicas.
- É usado para medir a tendência de um metal de se comportar de maneira frágil.
- Consiste em medir a **quantidade de energia absorvida** por uma amostra do material, quando submetida à ação de um esforço de choque de valor conhecido.
- O corpo de prova é padronizado e provido de um entalhe para localizar a sua ruptura e produzir um estado triaxial de tensões;
- Não se pode medir satisfatoriamente os componentes das tensões existentes, que podem variar conforme o material utilizado/estrutura interna do material – comparação de materiais usados nas mesmas condições





O Ensaio



$$\Delta E = E1_{\text{potencial}} - E2_{\text{potencial}}$$

$$\Delta E = M.g.h_1 - M.g.h_2$$

Resultado: medida de energia absorvida



$$E_{\text{impacto}} = M.g.(H_q - h_r)$$

Onde:

E – energia absorvida no impacto (j);

M – massa

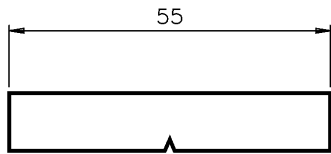
g – aceleração da gravidade (9,81 m/s²)

H_q – altura de liberação do pêndulo (posição inicial);

h_r – altura de rebote (posição final).



Ensaio Charpy



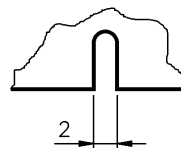
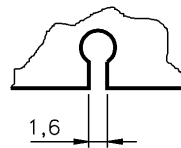
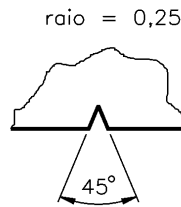
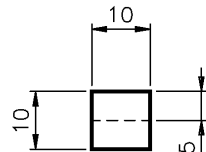
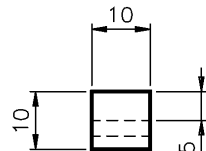
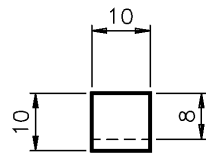
charpy tipo A



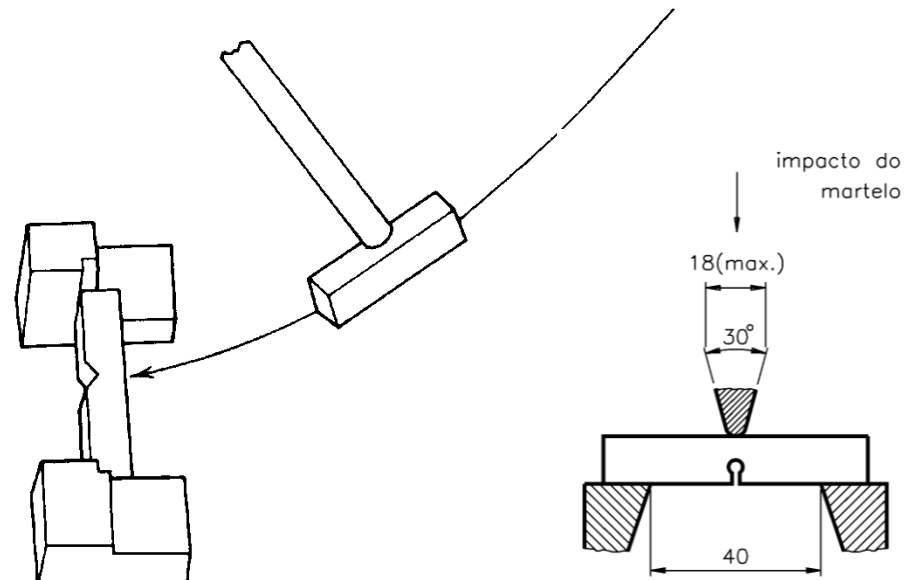
charpy tipo B

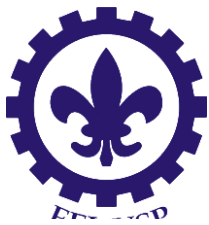


charpy tipo C

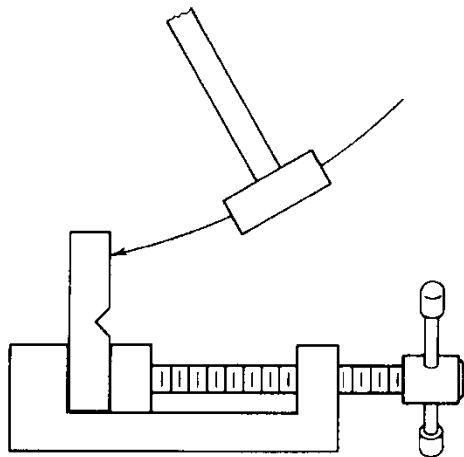
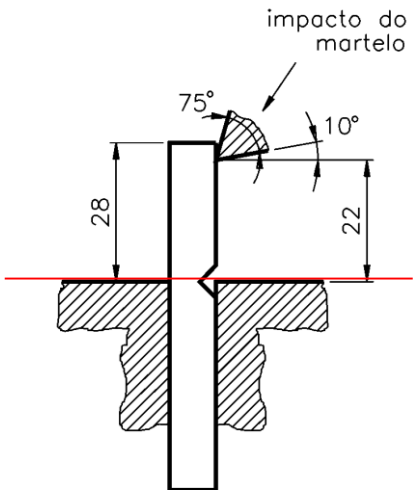


- Os corpos de prova Charpy compreendem três subtipos (A, B e C), de acordo com a forma do entalhe.
- Posição horizontal de montagem dos cdp Charpy.



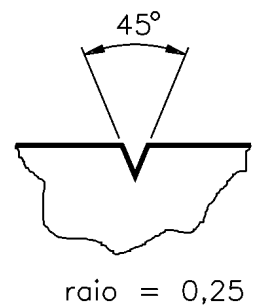
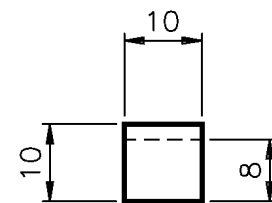
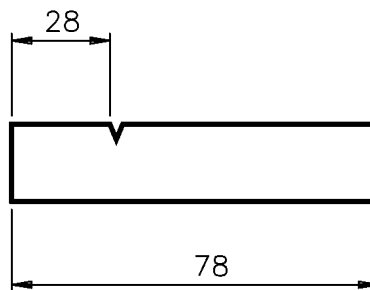


Ensaio Izod



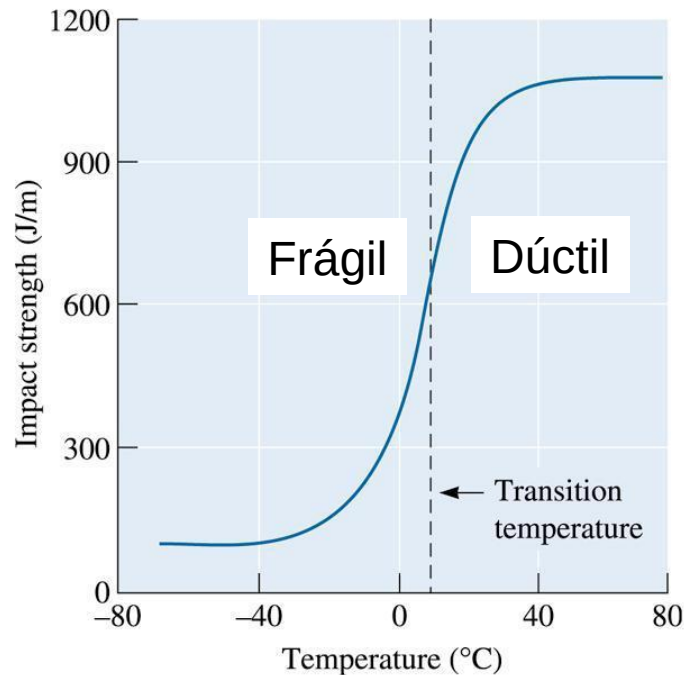
- Posição de montagem vertical do cdp Izod.
- O corpo de prova Izod tem a mesma forma de entalhe do Charpy tipo A, localizada em posição diferente (não centralizada).

izod tipo D





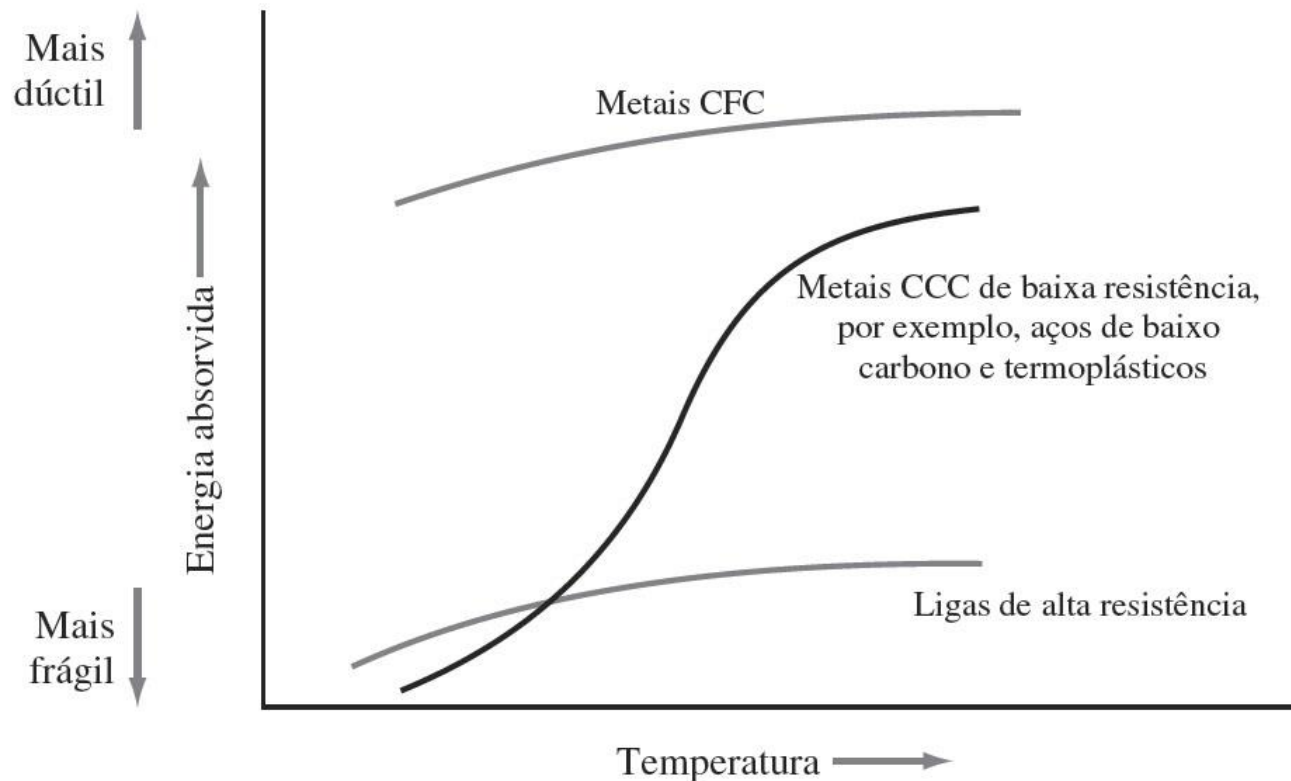
Temperatura de Transição



- Define-se temperatura de transição, como a temperatura, onde há uma mudança no caráter de ruptura do material, passando de dúctil a frágil e vice-versa.
 - Entretanto, essa passagem não é repentina e o melhor seria definir intervalo de transição dos metais.
-
- Essa determinação é importante porque só é conveniente utilizar um material numa região de temperatura onde se tenha a certeza de que a fratura frágil não ocorrerá, quando esse material for solicitado a níveis de tensão no seu campo elástico.



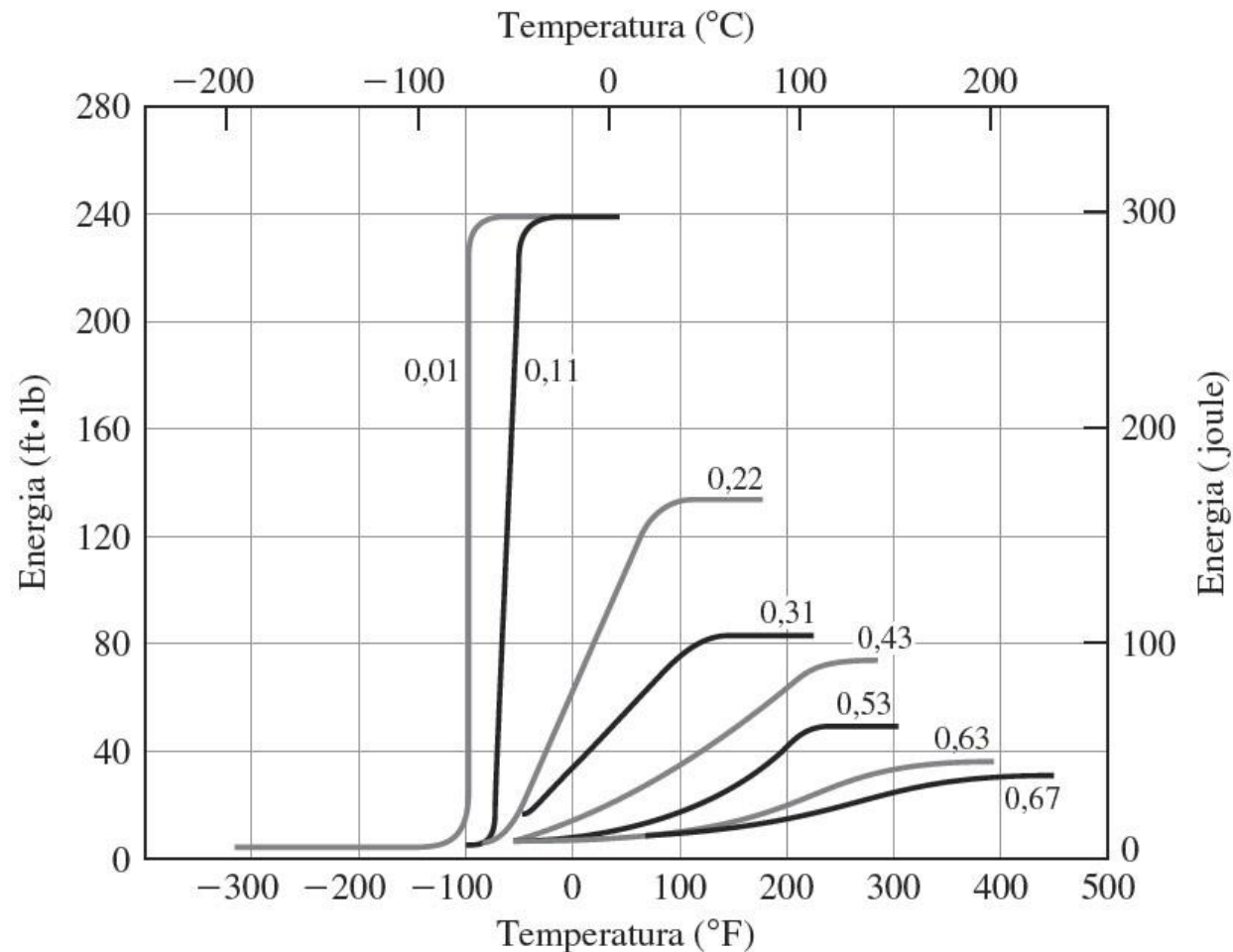
Efeito da temperatura na energia absorvida por impacto para diferentes materiais.



(G. Dieter, "Mechanical Metallurgy", 2. ed., McGraw-Hill, 1976, p. 278. Reimpresso com a permissão da McGraw-Hill Companies.)

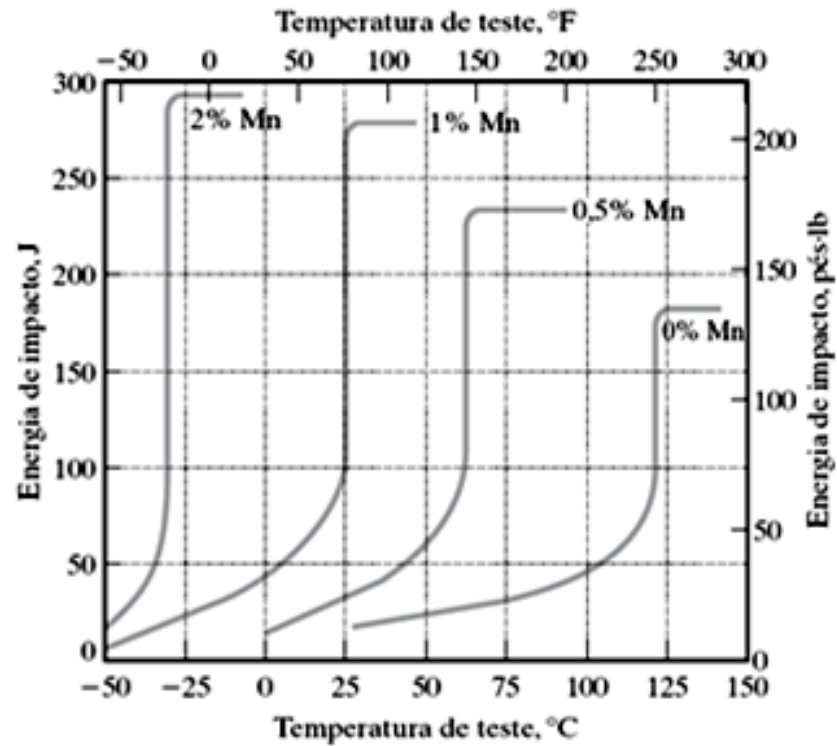


Efeito do teor de carbono de aços recozidos nas curvas da energia de impacto em função da temperatura





Considere o gráfico abaixo para sugerir a quantidade de Mn que deve ser adicionada a liga Fe-C para elaborar uma liga Fe-Mn-C de características dúcteis, para ser utilizada a uma temperatura de 0°C.



(b)



Referências Bibliográficas

- 1) Askeland, D. R.; Phule, P. P. Ciência e engenharia dos materiais. São Paulo: CENGAGE, 2008;
- 2) Callister Jr., W. D. Fundamentos da ciência e engenharia de materiais. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2006;
- 3) Callister Jr., W. D. Ciência e engenharia de materiais. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2008;
- 4) Shackelford, J. E. Ciência dos materiais. São Paulo: Prentice Hall, 2008;
- 5) Smith, W. Hashemi, J. Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais – MacGrawHill