

04

SOLDAGEM

Engenharia Mecânica

Prof. Luis Fernando Maffeis Martins

Soldagem com eletrodo revestido



Eletrodo revestido

extremidade
não revestida



alma

revestimento

Eletrodo revestido

Alma metálica:

- conduzir a corrente elétrica
- fornecer metal de adição para a junta soldada

Eletrodo revestido

Alma metálica:

Como o material da alma metálica será adicionado à junta soldada, deve-se ter o cuidado de não conter elementos de impureza que fragilizem a junta. Pode conter elementos de liga para serem adicionados ao metal da junta soldada

Eletrodo revestido

Revestimento:

Tem as seguintes funções:

- Proteção do metal de solda
- Estabilização do arco
- Adição de elementos de liga ao metal da junta soldada
- Direcionamento do arco elétrico
- Função da escória como agente fluxante
- Característica da posição de soldagem
- Controle de integridade do metal de solda
- Propriedades específicas do metal de solda
- Isolamento da alma metálica

Eletrodo revestido

Revestimento:

proteção do metal de solda - a função mais importante do revestimento é proteger o metal de solda do oxigênio e do nitrogênio do ar quando ele está sendo transferido através do arco, e enquanto está no estado líquido. A proteção é necessária para garantir que o metal de solda seja íntegro, livre de bolhas de gás, e tenha a resistência e a ductilidade adequadas. Às altas temperaturas do arco, o nitrogênio e o oxigênio prontamente se combinam com o ferro e formam nitretos de ferro e óxidos de ferro que, se presentes no metal de solda acima de certos valores mínimos, causarão fragilidade e porosidade. O nitrogênio é o mais relevante, visto que é difícil controlar seu efeito uma vez que ele tenha entrado no depósito de solda. O oxigênio pode ser removido com o uso de desoxidantes adequados. Para evitar a contaminação da atmosfera o fluxo de metal fundido precisa ser protegido por gases que expulsem a atmosfera circundante do arco e do metal de solda fundido. Isso é conseguido usando-se no revestimento materiais que gerem gases e que se decomponham durante as atividades de soldagem e produzam a atmosfera protetora.

Eletrodo revestido

Revestimento:

estabilização do arco - um arco estabilizado é aquele que abre facilmente, queima suavemente mesmo a baixas correntes e pode ser mantido empregando-se indiferentemente um arco longo ou um curto.

Eletrodo revestido

Revestimento:

adições de elementos de liga ao metal de solda - uma variedade de elementos tais como cromo, níquel, molibdênio, vanádio e cobre podem ser adicionados ao metal de solda incluindo-os na composição do revestimento. É frequentemente necessário adicionar elementos de liga ao revestimento para balancear a perda esperada desses elementos da vareta durante a atividade de soldagem devido à volatilização e às reações químicas. Eletrodos de aço doce requerem pequenas quantidades de carbono, manganês e silício no depósito de solda para resultar em soldas íntegras com o nível desejado de resistência. Uma parte do carbono e do manganês provém da vareta, mas é necessário suplementá-la com ligas ferro-manganês e em alguns casos com adições de ligas ferro-silício no revestimento.

Eletrodo revestido

Revestimento:

direcionamento do arco elétrico - o direcionamento do fluxo do arco elétrico é obtido com a cratera que se forma na ponta dos eletrodos (veja a Figura 2a). O uso de aglomerantes adequados assegura um revestimento consistente que manterá a cratera e dará uma penetração adicional e melhor direcionamento do arco elétrico.



Figura 2 - Efeito da concentricidade do revestimento.

Eletrodo revestido

Revestimento:

função da escória como agente fluxante - a função da escória é (1) fornecer proteção adicional contra os contaminantes atmosféricos, (2) agir como purificadora e absorver impurezas que são levadas à superfície e ficam aprisionadas pela escória, e (3) reduzir a velocidade de resfriamento do metal fundido para permitir o escape de gases. A escória também controla o contorno, a uniformidade e a aparência geral do cordão de solda. Isso é particularmente importante nas juntas em ângulo.

Eletrodo revestido

Revestimento:

características da posição de soldagem - é a adição de certos ingredientes no revestimento, principalmente compostos de titânio, que tornam possível a soldagem fora de posição (posições vertical e sobrecabeça). As características da escória — principalmente a tensão superficial e a temperatura de solidificação — determinam fortemente a capacidade de um eletrodo ser empregado na soldagem fora de posição.

Eletrodo revestido

Revestimento:

controle da integridade do metal de solda - a porosidade ou os gases aprisionados no metal de solda podem ser controlados de uma maneira geral pela composição do revestimento. É o balanço de certos ingredientes no revestimento que tem um efeito marcante na presença de gases aprisionados no metal de solda. O balanço adequado desses ingredientes é crítico para a integridade que pode ser obtida para o metal de solda. O ferromanganês é provavelmente o ingrediente mais comum utilizado para se conseguir a fórmula corretamente balanceada.

Eletrodo revestido

Revestimento:

propriedades mecânicas específicas do metal de solda - propriedades mecânicas específicas podem ser incorporadas ao metal de solda por meio do revestimento. Altos valores de impacto a baixas temperaturas, alta ductilidade, e o aumento nas propriedades de escoamento e resistência mecânica podem ser obtidos pelas adições de elementos de liga ao revestimento.

Eletrodo revestido

Revestimento:

isolamento da alma de aço - o revestimento atua como um isolante de tal modo que a alma não causará curto-circuito durante a soldagem de chanfros profundos ou de aberturas estreitas; o revestimento também serve como proteção para o operador quando os eletrodos são trocados.

Composição do revestimento

- Elementos de liga
- Aglomerantes
- Formadores de gases
- Estabilizadores do arco
- Formadores da escória
- Plasticizantes

Composição do revestimento

- **elementos de liga** - elementos de liga como molibdênio, cromo, níquel, manganês e outros conferem propriedades mecânicas específicas ao metal de solda.
- **aglomerantes** - silicatos solúveis como os de sódio e potássio são empregados no revestimento dos eletrodos como aglomerantes. As funções dos aglomerantes são formar uma massa plástica de material de revestimento capaz de ser extrudada e secada no forno. O revestimento final após a passagem no forno deve apresentar uma dureza tal que mantenha uma cratera e tenha resistência suficiente para não se fragmentar, trincar ou lascar. Aglomerantes também são utilizados para tornar o revestimento não inflamável e evitar decomposição prematura.

Composição do revestimento

- **formadores de gases** - materiais formadores de gases comuns são os carboidratos, hidratos e carbonatos. Exemplos dessas substâncias são a celulose, os carbonatos de cálcio e de magnésio, e a água quimicamente combinada como a encontrada na argila e na mica. Esses materiais desprendem dióxido de carbono (CO_2), monóxido de carbono (CO) e vapor d'água (H_2O) às altas temperaturas do arco de soldagem. A umidade livre também é outro ingrediente formador de gases que é encontrado particularmente nos eletrodos do tipo celulósico e faz parte da formulação em quantidades de 2 - 3%. Ela apresenta uma influência marcante no arco e é um ingrediente necessário no eletrodo do tipo E6010.
- **estabilizadores do arco** - o ar não é suficientemente condutor para manter um arco estável, e então se torna necessário adicionar ao revestimento ingredientes que proporcionarão um caminho condutor para a corrente elétrica. Isso é particularmente verdadeiro durante a soldagem com corrente alternada. Materiais estabilizantes são os compostos de titânio, potássio e cálcio.

Composição do revestimento

- **formadores de fluxo e escória** - esses ingredientes são empregados principalmente para encorpar a escória e conferir propriedades como viscosidade, tensão superficial e ponto de fusão. A sílica e a magnetita são materiais desse tipo.
- **plasticizantes** - os revestimentos são frequentemente granulados e, para extrudá-los com sucesso, é necessário adicionar materiais lubrificantes e plasticizantes para fazer com que o revestimento flua suavemente sob pressão. Os carbonatos de cálcio e de sódio são os mais utilizados.

Composição do revestimento

Classe	Composição		Função	Proteção
E6010	celulose (C6H10O5)	35%	formador de gases	40% H ₂ 40% CO + CO ₂ 20% H ₂ O
	rutilo (TiO ₂)	15%	formador de escória -estabilizador do arco	
	ferro-manganês	5%	desoxidante - ferro-liga	
	talco	15%	formador de escória	
	silicato de sódio	25%	aglomerante – agente fluxante	
	umidade	5%		
E7018	carbonato de cálcio	30%	formador de gases – agente fluxante	80% CO 20% CO ₂
	fluorita (CaF ₂)	20%	formador de escória - agente fluxante	
	ferro-manganês	5%	desoxidante - ferro-liga	
	silicato de potássio	15%	aglomerante -estabilizador do arco	
	pó de ferro	30%	agente de deposição	
	umidade	0,1%		

Tipos de revestimento

Celulósico - O revestimento celulósico apresenta as seguintes características:

- elevada produção de gases resultantes da combustão dos materiais orgânicos (principalmente a celulose);
- principais gases gerados: CO₂, CO, H₂, H₂O (vapor);
- não devem ser ressecados;
- a atmosfera redutora formada protege o metal fundido;
- o alto nível de hidrogênio no metal de solda depositado impede o uso em estruturas muito restritas ou em materiais sujeitos a trincas por hidrogênio;
- alta penetração;
- pouca escória, facilmente destacável;
- muito utilizado em tubulações na progressão descendente;
- operando em CC+, obtém-se transferência por spray.

Tipos de revestimento

Rutílico - O revestimento rutílico apresenta as seguintes características:

- consumível de uso geral;
- revestimento apresenta até 50% de rutilo (TiO_2);
- média penetração;
- escória de rápida solidificação, facilmente destacável;
- o metal de solda pode apresentar um nível de hidrogênio alto (até 30 ml/100g);
- requer ressecagem a uma temperatura relativamente baixa, para que o metal de solda não apresente porosidades grosseiras.

Tipos de revestimento

Básico - O revestimento básico apresenta as seguintes características:

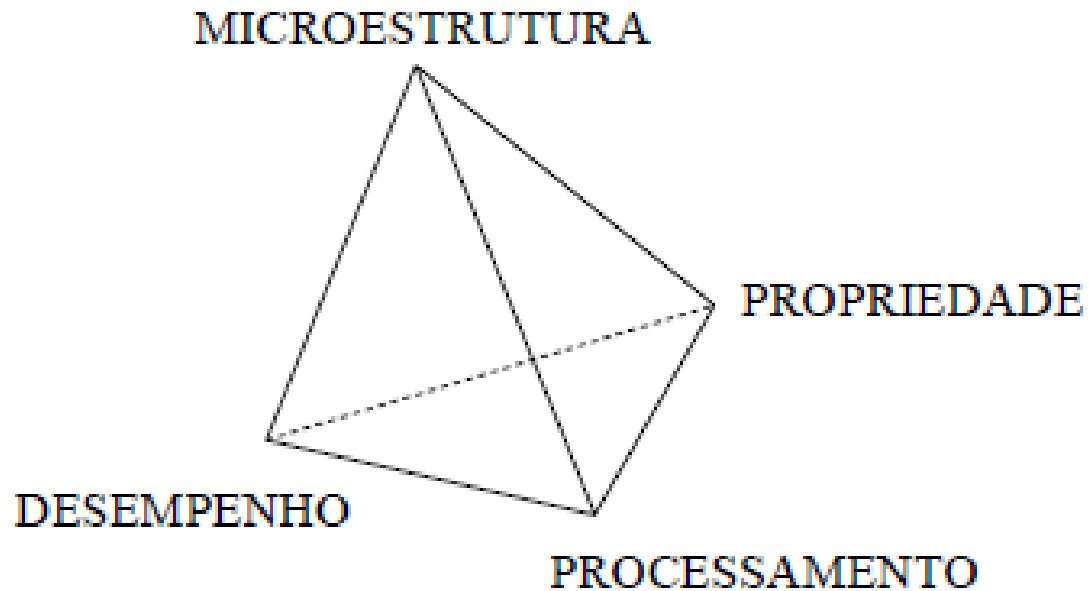
- geralmente apresenta as melhores propriedades mecânicometalúrgicas entre todos os eletrodos, destacando-se a tenacidade;
- elevados teores de carbonato de cálcio e fluorita, gerando um metal de solda altamente desoxidado e com muito baixo nível de inclusões complexas de sulfetos e fosfetos;
- não opera bem em CA, quando o teor de fluorita é muito elevado;
- escória fluida e facilmente destacável;
- cordão de média penetração e perfil plano ou convexo;
- requer ressecagem a temperaturas relativamente altas;
- após algumas horas de contato com a atmosfera, requer ressecagem por ser altamente higroscópico;

Tipos de revestimento

Altíssimo rendimento - O revestimento altíssimo rendimento apresenta as seguintes características:

- adição de pó de ferro (rutílico/básico);
- aumenta a taxa de deposição;
- pode ou não ser ligado;
- aumenta a fluidez da escória, devido à formação de óxido de ferro;
- melhora a estabilidade do arco e a penetração é reduzida, principalmente com alta intensidade de corrente, o que pode minimizar a ocorrência de mordeduras;
- possibilidade de soldar por gravidade (arraste);
- reduz a tenacidade do metal de solda.

Conceitos de Metalurgia



Conceitos de Metalurgia

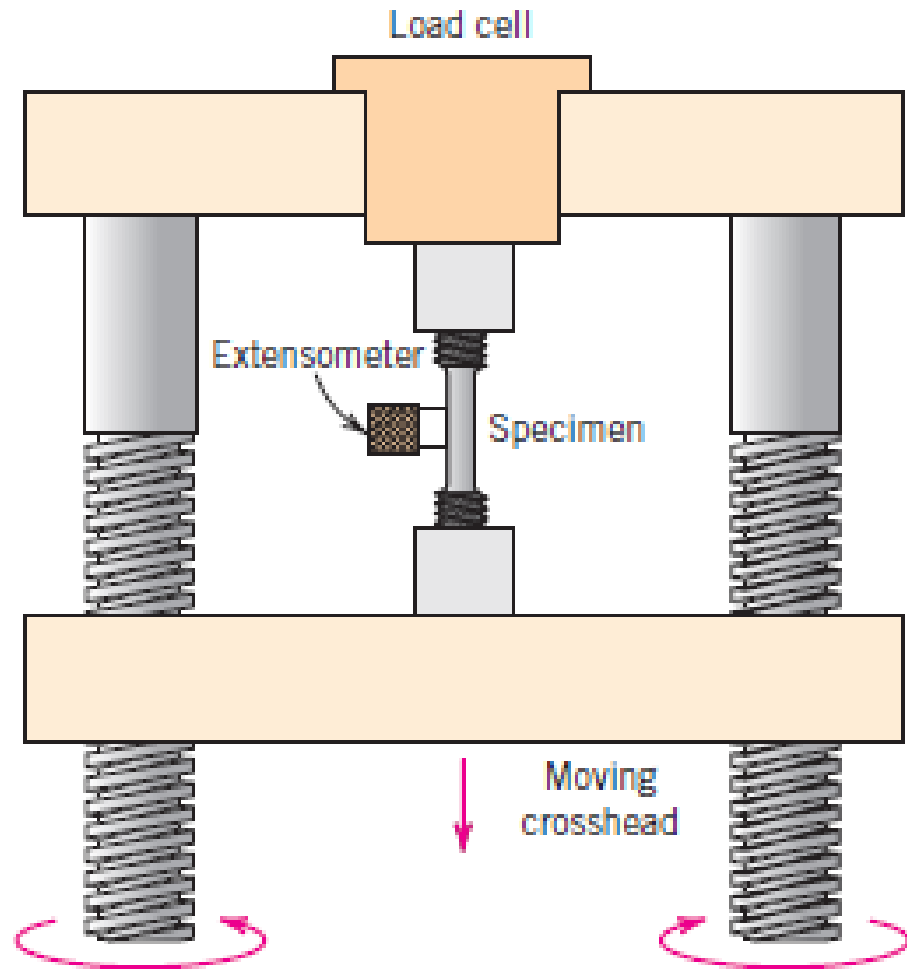
Deformação elástica

Deformação plástica



Conceitos de Metalurgia

- Ensaio de tração

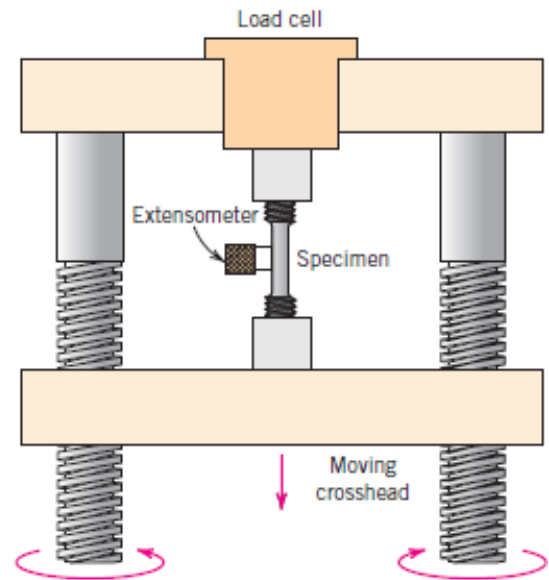


Conceitos de Metalurgia

- Ensaio de tração

Durante o ensaio de tração, duas grandezas são medidas:

- A força que está sendo exercida sobre o corpo de prova;
- A variação de comprimento do corpo de prova;

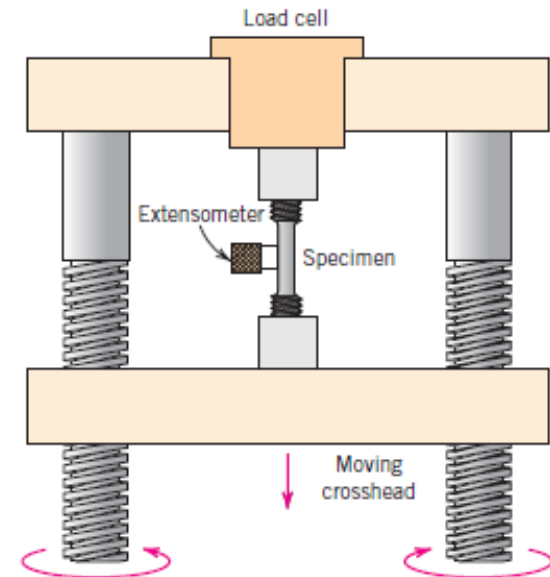


Conceitos de Metalurgia

- Ensaio de tração

Objetivos do ensaio de tração:
Obter informações sobre propriedades características do material.

Força e deslocamento são características do corpo de prova, e não do material.



Conceitos de Metalurgia

Tensão:

$$\sigma = F / A$$

F = Força

A = área transversal do corpo de prova

Conceitos de Metalurgia

Deformação:

$$\varepsilon = \Delta l / l_0$$

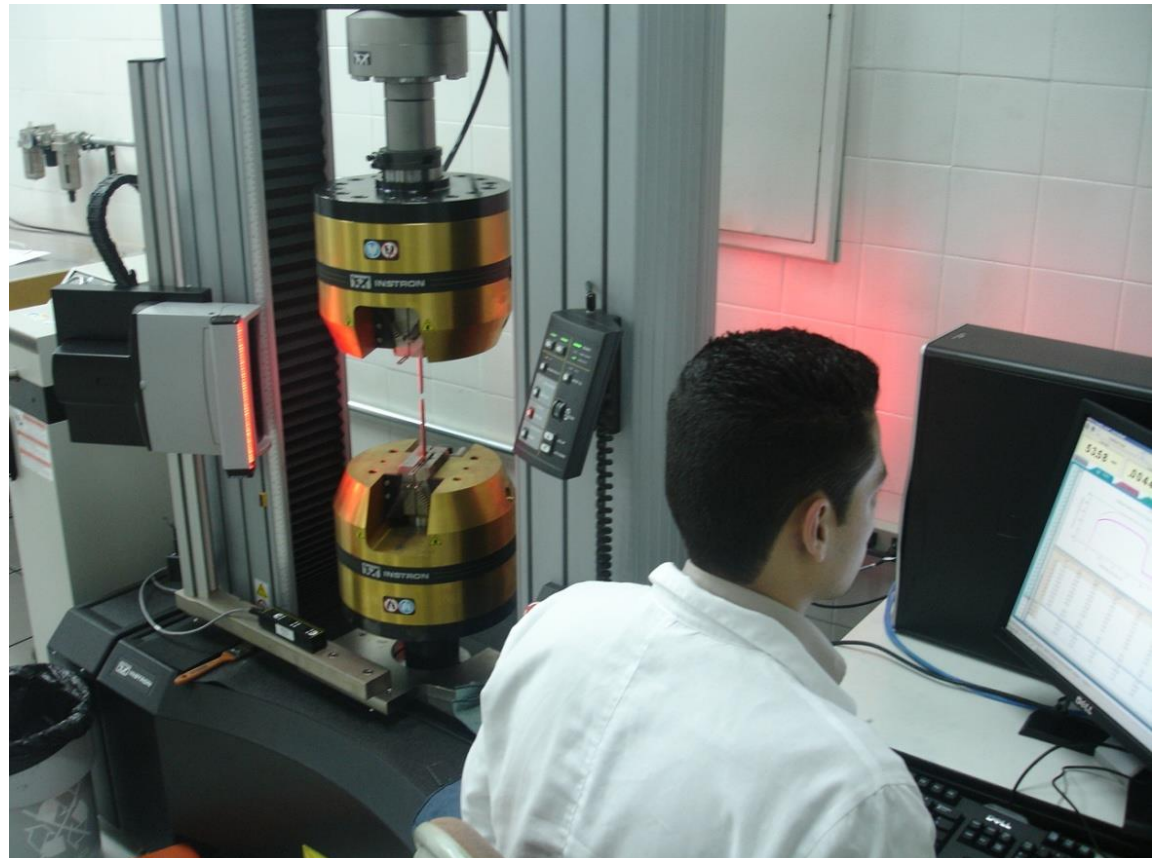
ε = deformação

Δl = variação de comprimento

l_0 = comprimento inicial de prova

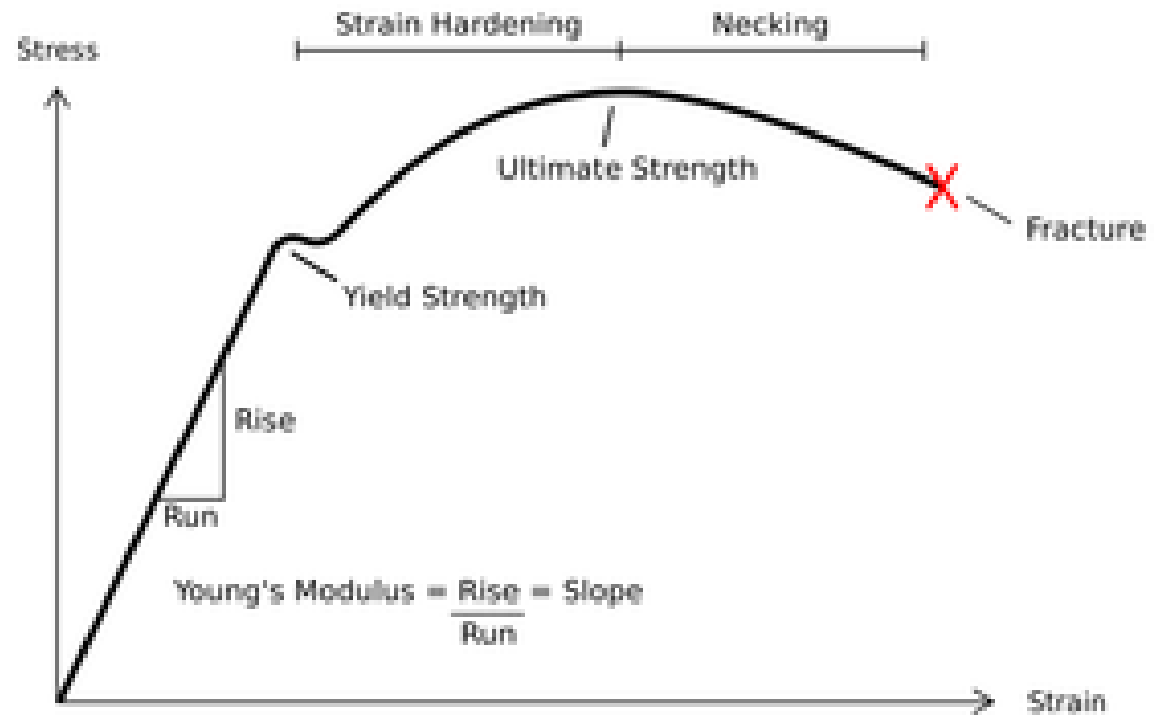
Conceitos de Metalurgia

Ensaio de tração



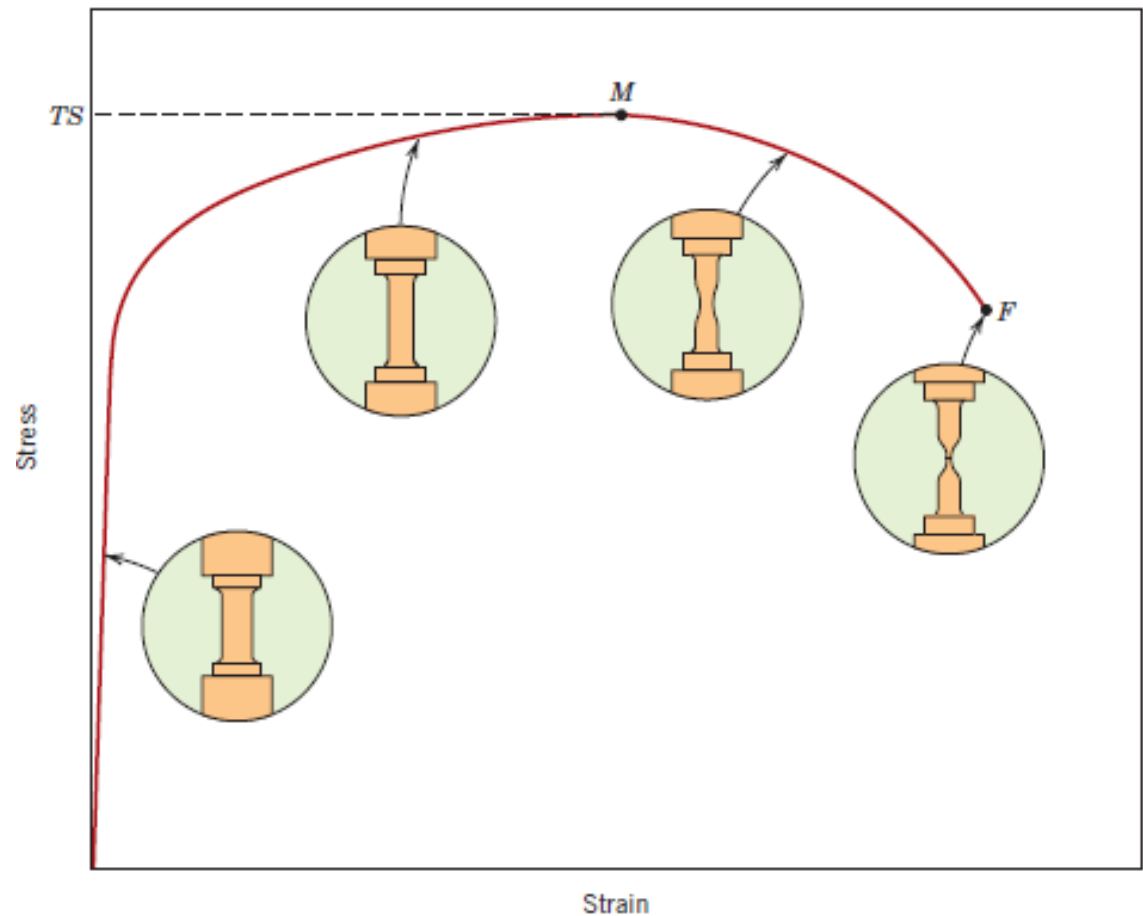
Conceitos de Metalurgia

Ensaio de tração



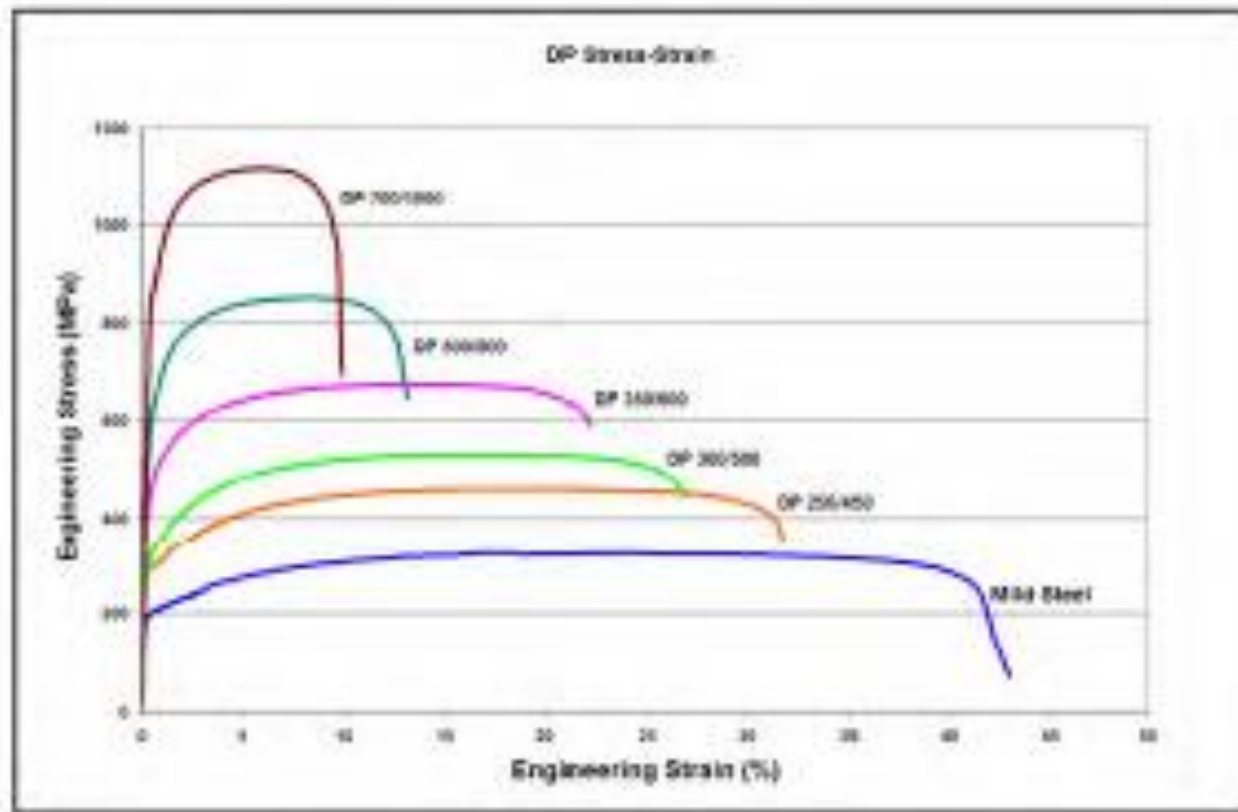
Conceitos de Metalurgia

Ensaio de tração



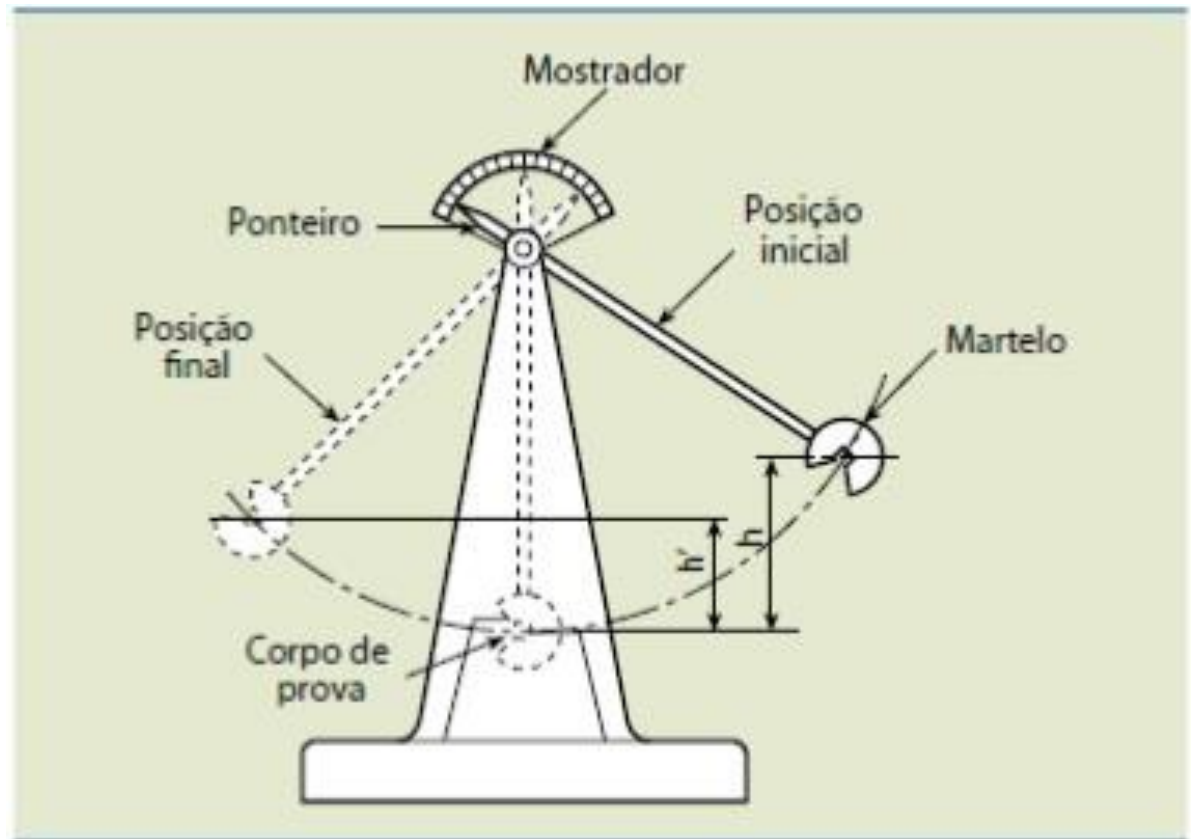
Conceitos de Metalurgia

Ensaio de tração



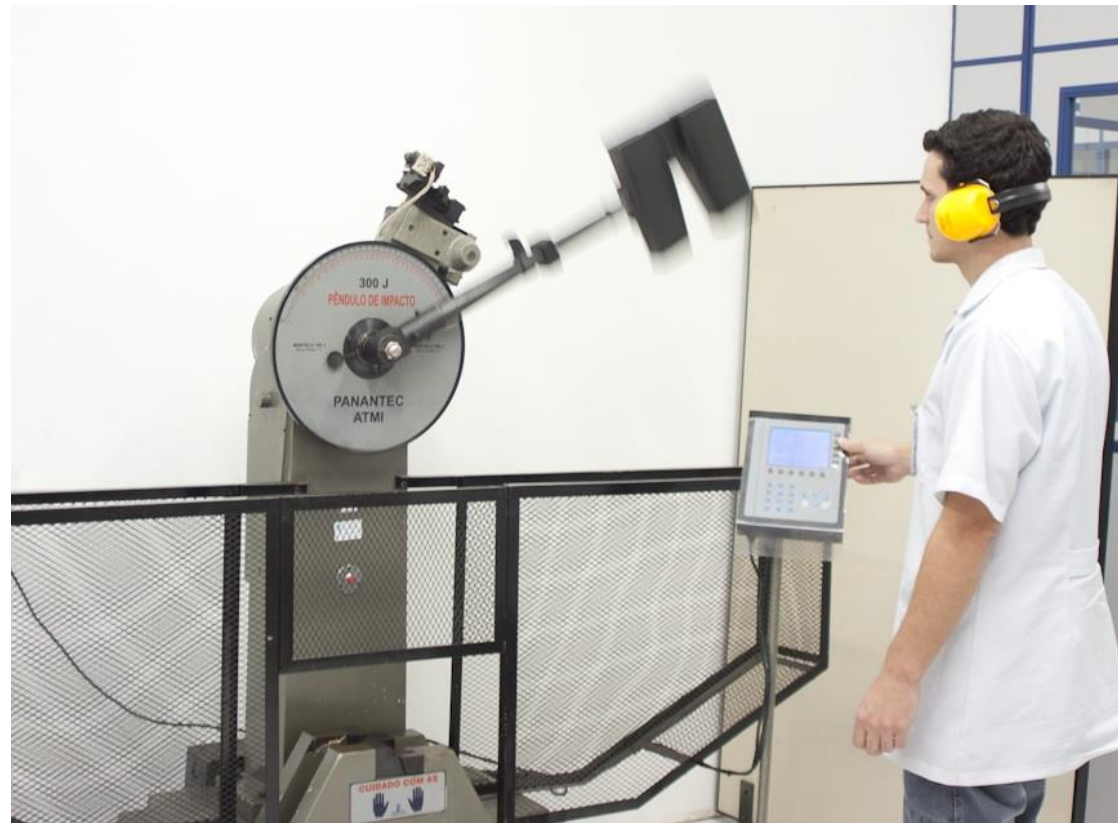
Conceitos de Metalurgia

Ensaio de impacto



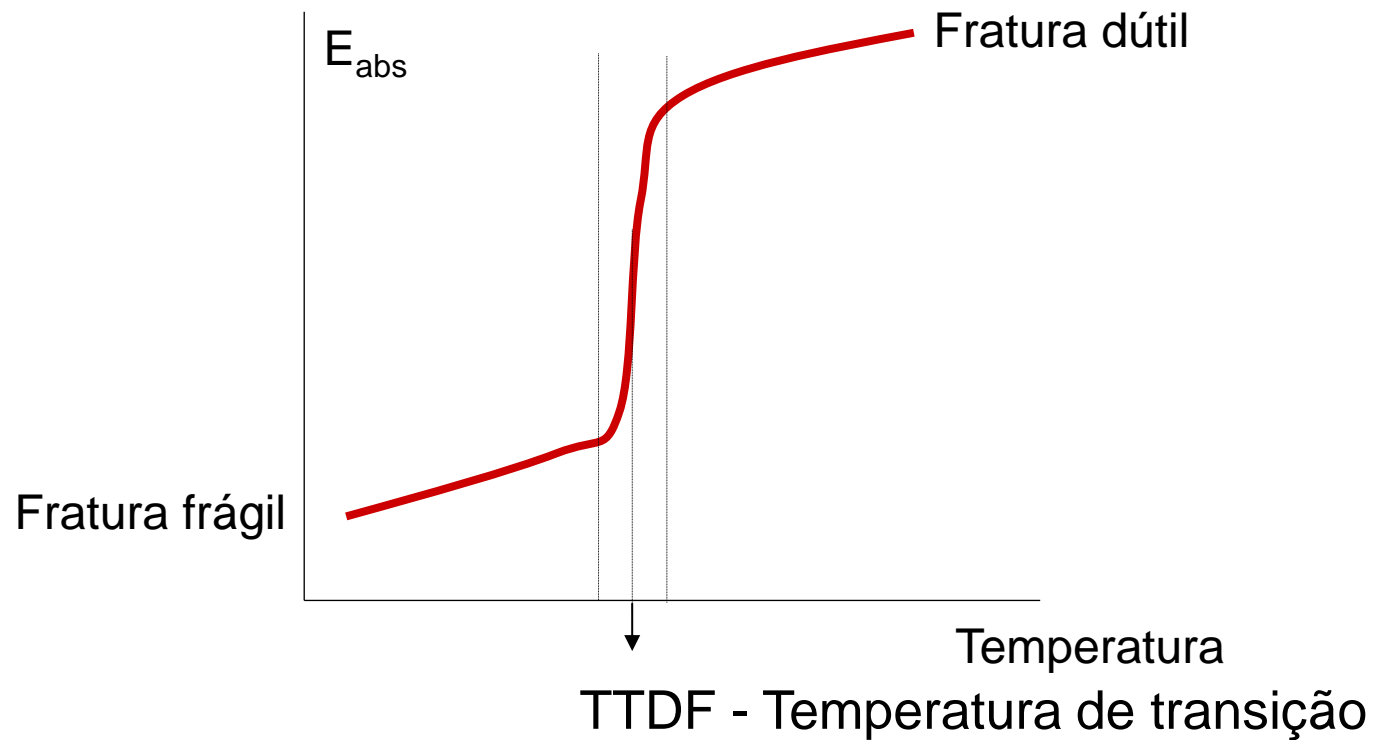
Conceitos de Metalurgia

Ensaio de impacto



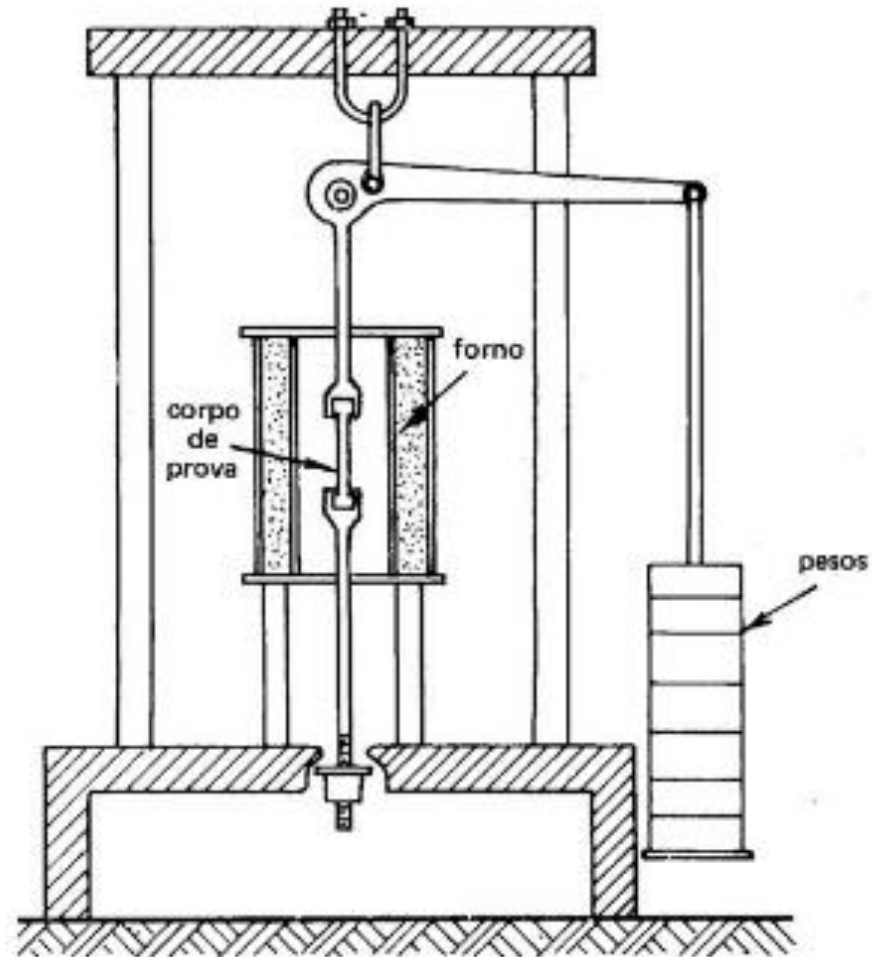
Conceitos de Metalurgia

Ensaio de impacto



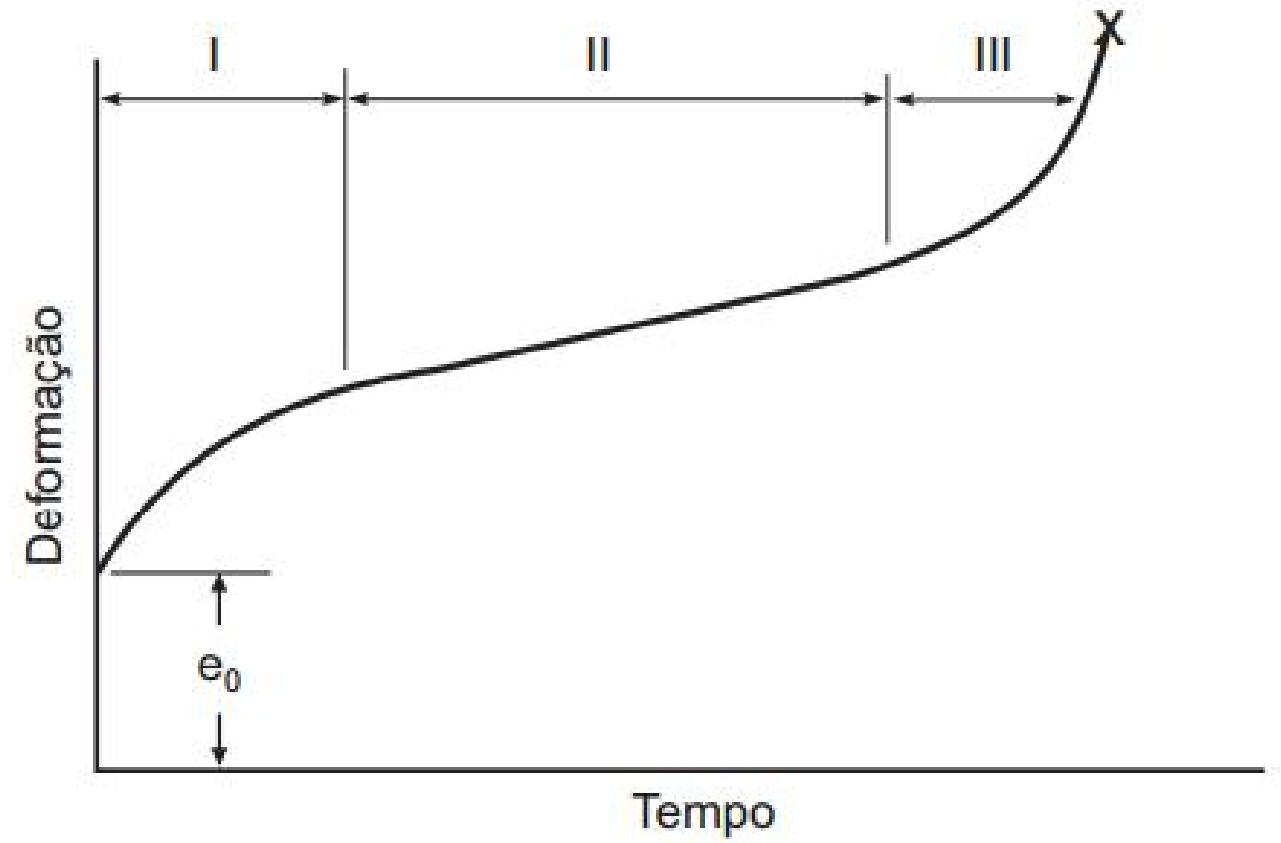
Conceitos de Metalurgia

Ensaio de fluência

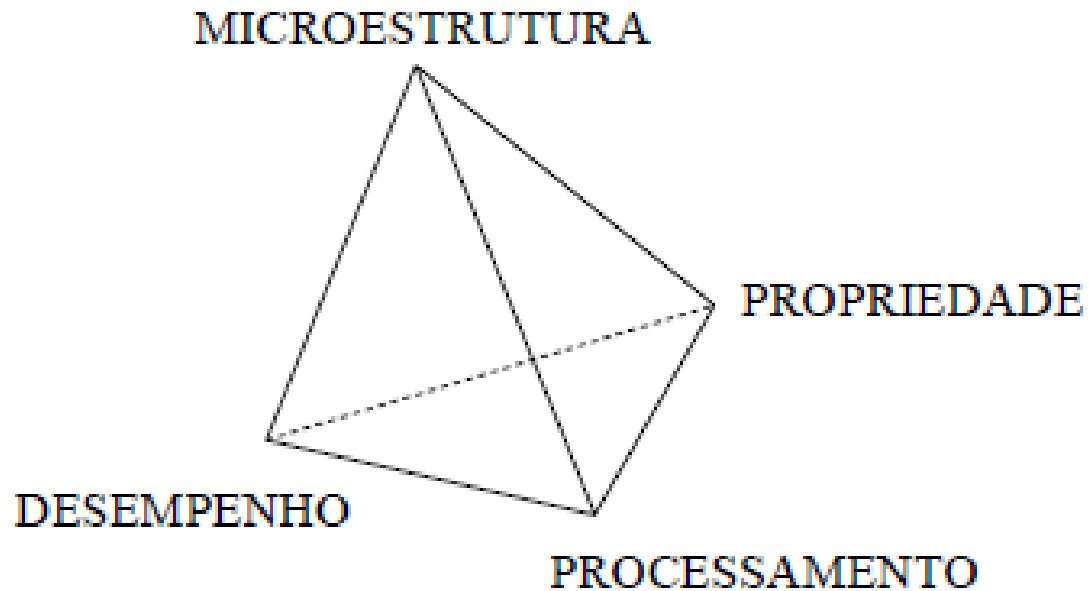


Conceitos de Metalurgia

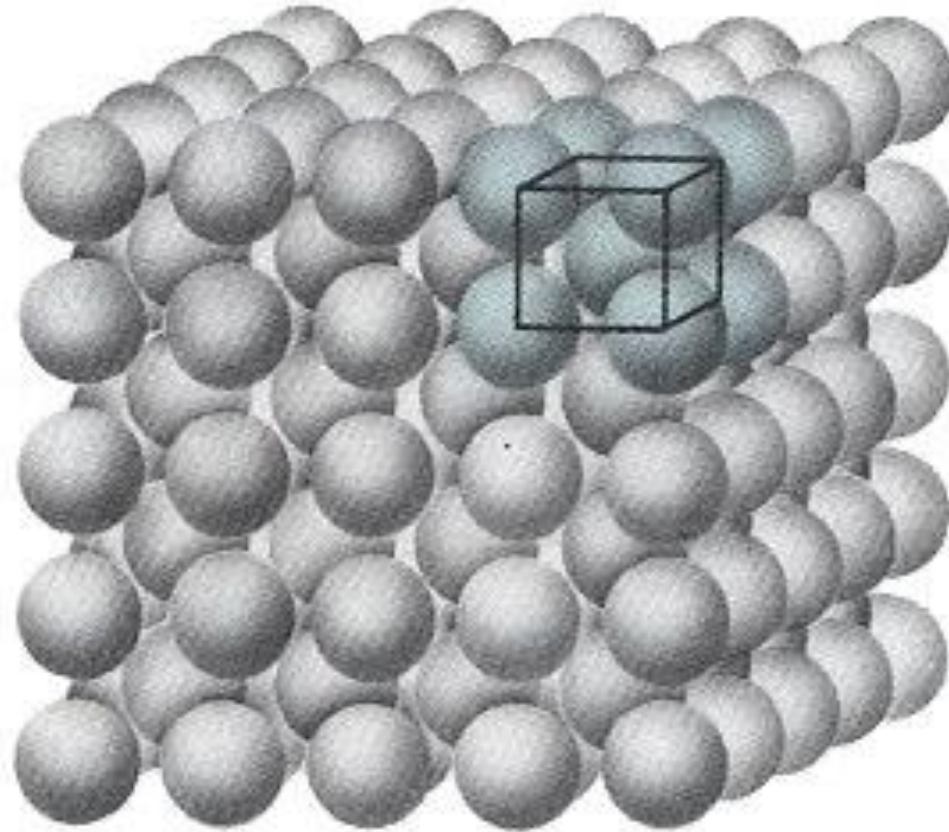
Ensaio de fluência



Conceitos de Metalurgia



Conceitos de Metalurgia



(c)

Conceitos de Metalurgia

Metais puros

Ligas metálicas

Conceitos de Metalurgia

