

Curso de Engenharia Industrial Mecânica

ENSAIOS DOS MATERIAIS

Santo Ângelo, Janeiro de 2007

Ensaio dos Materiais

Acadêmica: Gabrieli Bortoli Dalcin

Santo Ângelo, Janeiro de 2007

1. ENSAIO DE TRAÇÃO	8
INTRODUÇÃO.....	8
ENSAIO CONVENCIONAL.....	9
Região de comportamento elástico.....	10
Limite de proporcionalidade.....	11
Limite de elasticidade (E).....	11
Módulo de resiliência	11
Coeficiente de Poisson (ν).....	12
Módulo de elasticidade transversal (G).....	12
Região de comportamento plástico.....	13
Limite de escoamento	14
Limite de Resistência à tração	14
Limite de ruptura	15
Fratura.....	16
Equipamento para o ensaio de tração	18
Corpos de prova.....	19
2. ENSAIO DE DOBRAMENTO.....	21
INTRODUÇÃO.....	21
Como é feito o ensaio de dobramento.	21
Processos de dobramento	22
Ensaio de dobramento em corpos de provas soldados	23
3. ENSAIO DE FLEXÃO	24
INTRODUÇÃO.....	24
Tipos de ensaio de flexão	24
Propriedades mecânicas avaliadas.....	24
Informações adicionais	27
4. ENSAIO DE COMPRESSÃO	28
INTRODUÇÃO.....	28
Definição	28
Características dos materiais submetidos à compressão.....	30
Limite de Escoamento	30
Limite de resistência à compressão	30
Dilatação transversal.....	31
Ensaio de compressão em materiais dúcteis.....	31
Ensaio de compressão em materiais frágeis	32
Informações sobre o ensaio	32
5. ENSAIO DE IMPACTO	34
INTRODUÇÃO.....	34
Descrição do ensaio	34
Tipos de ensaio de Impacto	35

Ensaio de impacto a baixas temperaturas	37
Fatores que influenciam na temperatura de transição	38
Resfriamento do corpo de prova.....	38
6. ENSAIO DE EMBUTIMENTO	39
Ensaio erichsen	39
Referência Bibliográfica	41



Lista de Figuras

- Figura 1.1** – Curva tensão – deformação convencional.
- Figura 1.2** – Comportamento da fase elástica e plástica.
- Figura 1.3** - Limite de proporcionalidade.
- Figura 1.4** - Deformações de engenharia experimentadas por uma barra prismática submetidas a um carregamento unidirecional.
- Figura 1.5** - Limite de escoamento.
- Figura 1.6** - Limite de resistência à tração.
- Figura 1.7** - Limite de ruptura.
- Figura 1.8** - Gráfico tensão – deformação.
- Figura 1.9** – Fratura dúctil- Aspectos macroscópicos.
- Figura 1.10** - Fratura dúctil – Aspectos microscópicos.
- Figura 1.11** - Fratura frágil – Aspectos macroscópicos.
- Figura 1.12** - Fratura frágil - Aspectos microscópicos.
- Figura 1.13** - Curva tensão versus escoamento mostrando a tensão de escoamento.
- Figura 1.14** - Máquina de ensaio universal.
- Figura 1.15** – Corpos de prova.
- Figura 1.16** - Tipos de fixação.
- Figura 2.1** - Ensaio de dobramento.
- Figura 2.2** - Dobramento livre.
- Figura 2.3** - Dobramento semiguiado.
- Figura 2.4** - Corpos de provas soldados.
- Figura 3.1** - Flexão em uma barra bi apoiada.
- Figura 4.1**-Ensaio de compressão.
- Figura 4.2** – Corpo de prova sob compressão com deformação elástica.
- Figura 4.3** – Corpo de prova sob compressão com deformação plástica.
- Figura 4.4** – Ensaio de compressão em materiais dúcteis.
- Figura 5.1** – Ensaio de impacto.
- Figura 5.2** – Tipos de ensaio.

Figura 5.3 – Tipos de ensaios Charpy.

Figura 5.4 – Tipo de ensaio Izod.

Figura 5.5 – Temperatura de transição.

Figura 6.1 – Ensaio de embutimento.

Figura 6.2 - Ensaio Erichsen.



Lista de Tabelas

Tabela 1.1 - Valores dos coeficientes elásticos dos metais.

Tabela 4.1 – Relações para os esforços de compressão.

INTRODUÇÃO

Consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a ruptura. Trata-se de um ensaio amplamente utilizado na indústria de componentes mecânicos, devido às vantagens de fornecer dados quantitativos das características mecânicas dos materiais.

Com esse tipo de ensaio, pode-se afirmar que praticamente as deformações promovidas no material são uniformemente distribuídas em todo o seu corpo, pelo menos até ser atingida uma carga máxima próxima do final do ensaio e, como é possível fazer com que a carga cresça numa velocidade razoavelmente lenta durante todo o teste, o ensaio de tração permite medir satisfatoriamente a resistência do material

A uniformidade termina no momento em que é atingida a carga máxima suportada pelo material, quando começa a aparecer o fenômeno da estrição ou da diminuição da secção do provete, no caso de matérias com certa ductilidade. A ruptura sempre se dá na região mais estreita do material, a menos que um defeito interno no material, fora dessa região, promova a ruptura do mesmo, o que raramente acontece.

A precisão de um ensaio de tração depende, evidentemente, da precisão dos aparelhos de medida que se dispõe. Com pequenas deformações, pode-se conseguir uma precisão maior na avaliação da tensão ao invés de detectar grandes variações de deformação, causando maior imprecisão da avaliação da tensão. Mesmo no início do ensaio, se esse não for bem conduzido, grandes erros podem ser cometidos, como por exemplo, se o provete não estiver bem alinhado, os esforços assimétricos que aparecerão levarão a falsas leituras das deformações para uma mesma carga aplicada. Deve-se portanto centrar bem o corpo-de-prova na máquina para que a carga seja efetivamente aplicada na direção do seu eixo longitudinal.

ENSAIO CONVENCIONAL

Nos corpos de provas normalmente a seção reta é circular, porém corpos de provas retangulares também são usados. Durante os ensaios, a deformação fica confinada à região central, mais estreita, do corpo de prova. O diâmetro padrão é aproximadamente 12,8 mm, enquanto a seção reduzida deve ser pelo menos quatro vezes esse diâmetro. O corpo de prova é preso pelas extremidades nas garras de fixação do dispositivo de testes. A máquina de ensaio de tração é projetada para alongar o corpo de prova a uma taxa constante, além de medir contínua e simultaneamente a carga instantânea aplicada e os alongamentos resultantes, isso com o auxílio de extensômetros.

Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as deformações ocorridas durante o ciclo.

Mas o que interessa para determinação das propriedades do material ensaiado é a relação entre a tensão e a deformação.

A tensão corresponde à força dividida pela área da seção sobre a qual a força é aplicada.

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \quad (1)$$

Aplicando a equação descrita acima pode-se encontrar os valores da tensão e fazer o gráfico conhecido como **tensão-deformação**.

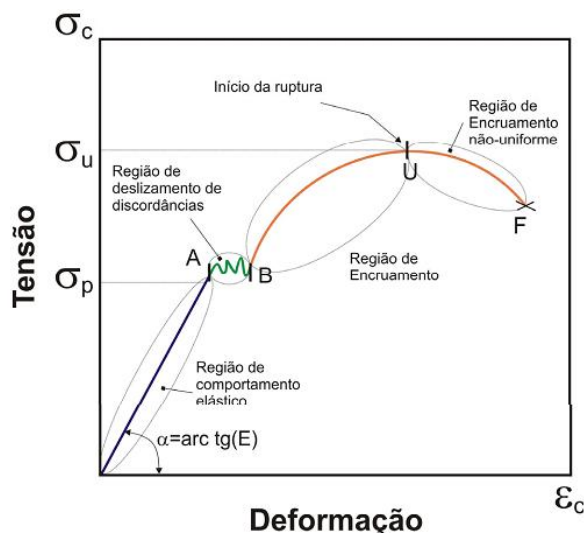


Figura 1.1 Curva tensão – deformação convencional

Região de comportamento elástico

O ponto A representa o limite elástico.

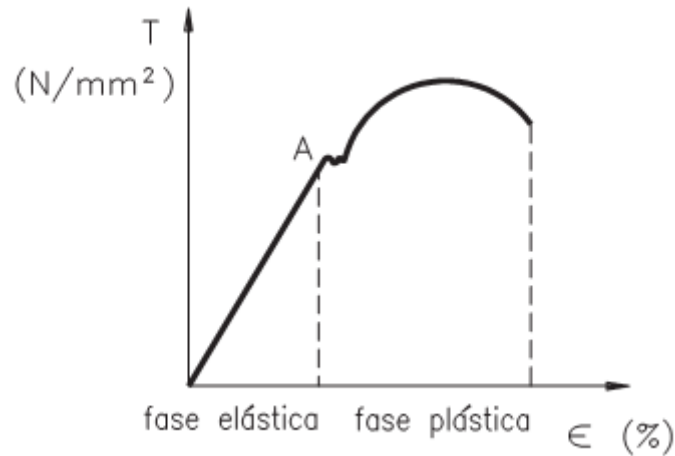


Figura 1.2 Comportamento da fase elástica e plástica.

Até este ponto, assume-se que a deformação elástica é independente do tempo, ou seja, quando uma carga é aplicada, a deformação elástica permanece constante durante o período em que a carga é mantida constante. Também é assumido que após a remoção da carga, a deformação é totalmente recuperada, ou seja, a deformação imediatamente retorna para o valor zero.

Na fase elástica os metais obedecem a Lei de Hooke. Suas deformações são diretamente proporcionais às tensões aplicadas.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2)$$

A constante de proporcionalidade “E” é o módulo de elasticidade, ou módulo de Young, fornece uma indicação da rigidez do material. Quanto maior for o módulo, menor será a deformação elástica resultante da aplicação de uma tensão. A deformação convencional ou nominal é dada:

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (3)$$

Onde:

l_0 = comprimento inicial

l = comprimento final para cada carga P aplicada.

Limite de proporcionalidade

A Lei de Hooke só vale até um determinado valor de tensão, representado no gráfico pelo ponto A' , a partir da qual a deformação deixa de ser proporcional à carga aplicada.

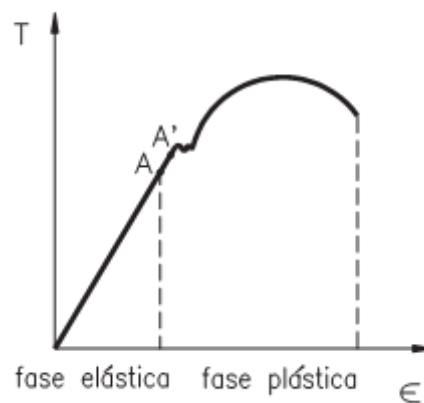


Figura 1.3. Limite de proporcionalidade A' .

Limite de elasticidade (E)

Máxima tensão que o material pode suportar sem apresentar deformação permanente após a retirada da carga.

Módulo de resiliência

É a capacidade de um material absorver energia quando deformado elasticamente e liberá-la quando descarregado. A medida desta propriedade é dada pelo módulo de resiliência que é a energia de deformação por unidade de volume necessária para tracionar o metal de origem até o limite de proporcionalidade.

Coefficiente de Poisson (ν)

Mede a rigidez do material na direção perpendicular à direção de aplicação de carga uniaxial.

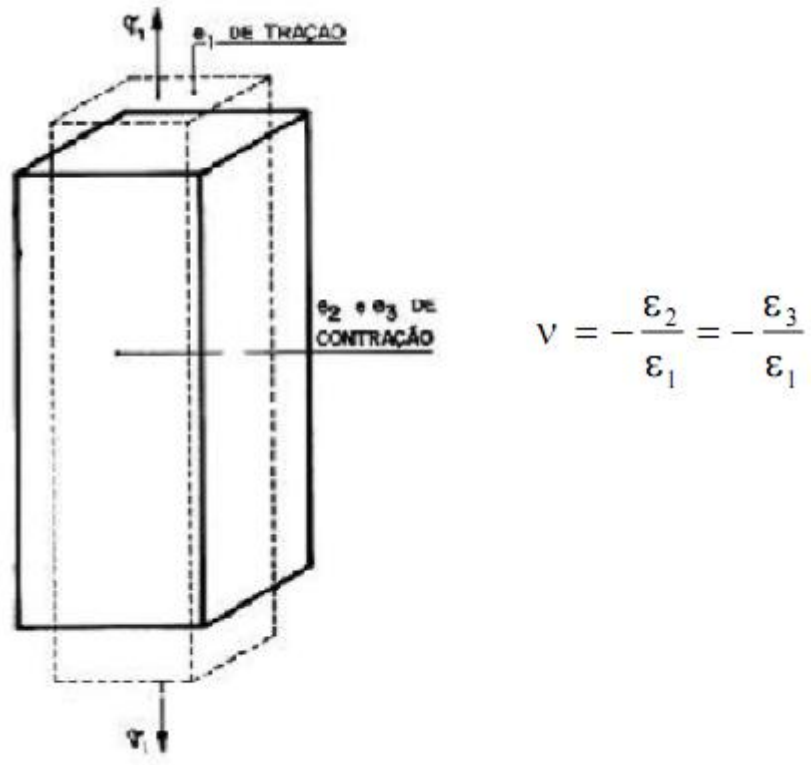


Figura 1.4. Deformações de engenharia experimentadas por uma barra prismática submetidas a um carregamento unidirecional.

Módulo de elasticidade transversal (G)

Corresponde à rigidez de um material quando submetido a um esforço de cisalhamento.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (3)$$

Onde, τ e γ são as tensões e a respectiva deformação cisalhante que sofre o corpo de prova.

Material	Módulo de elasticidade, E (MPa)	Módulo transversal, G (MPa)	Coefficiente de Poisson, ν
Alumínio e ligas de alumínio	$6,93 \times 10^4 - 7,98 \times 10^4$	$2,59 \times 10^4 - 2,7 \times 10^4$	0,32 – 0,34
Latão	$1,02 \times 10^5 - 1,11 \times 10^5$	$3,71 \times 10^4 - 4,2 \times 10^4$	0,33 – 0,36
Cobre	$1,19 \times 10^5 - 1,26 \times 10^5$	$4,06 \times 10^4 - 4,69 \times 10^4$	0,33 – 0,36
Ferro fundido	$9,1 \times 10^4 - 1,47 \times 10^5$	$3,64 \times 10^4 - 5,74 \times 10^4$	0,21 – 0,30
Aço ao carbono e de baixa liga	$1,96 \times 10^5 - 2,24 \times 10^5$	$7,59 \times 10^4 - 8,21 \times 10^4$	0,26 – 0,29
Aço inox (18–8)	$1,96 \times 10^5 - 2,07 \times 10^5$	$7,31 \times 10^4$	0,30
Titânio	$1,06 \times 10^5 - 1,15 \times 10^5$	$4,14 \times 10^4$	0,31 – 0,34
Tungstênio	$4,0 \times 10^5$	$1,57 \times 10^5$	0,27
Vidro	$4,97 \times 10^4 - 7,94 \times 10^5$	$2,62 \times 10^4 - 3,24 \times 10^4$	0,21 – 0,27
PMMA	$2,41 \times 10^3 - 3,45 \times 10^3$	$1,04 \times 10^3$	0,35
Polietileno	$1,38 \times 10^2 - 3,8 \times 10^2$	$1,17 \times 10^2$	0,45
Borracha	0,76 – 4,14	0,345 – 1,38	0,50

Tabela 1.1 Valores dos coeficientes elásticos dos metais.

Região de comportamento plástico

Acima de uma certa tensão, os materiais começam a se deformar plasticamente, ou seja, ocorrem deformações permanentes. O ponto na qual estas deformações permanentes começam a se tornar significativas é chamado de **limite de escoamento**.

Durante a deformação plástica, a tensão necessária para continuar a deformar um metal aumenta até um ponto máximo, chamado de **limite de resistência à tração**, na qual a tensão é a máxima na curva tensão-deformação de engenharia. Isto corresponde a maior tensão que o material pode resistir; se esta tensão for aplicada e mantida, o

resultado será a fratura. Toda a deformação até este ponto é uniforme na seção. No entanto, após este ponto, começa a se formar uma estrição, na qual toda a deformação subsequente está confinada e, é nesta região que ocorrerá ruptura. A tensão correspondente a fratura é chamada de **limite de ruptura**.

Limite de escoamento

O escoamento é entendido como um fenômeno localizado, que se caracteriza por um aumento relativamente grande na deformação, acompanhada por uma pequena variação na tensão. Isso acontece geralmente no início da fase plástica. Durante o escoamento a carga oscila entre valores muito próximos um dos outros.

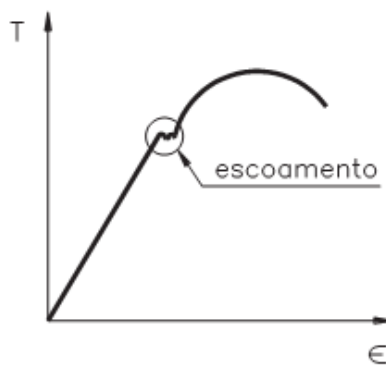


Figura 1.5 Limite de escoamento.

Limite de Resistência à tração

É a tensão correspondente ao ponto de máxima carga atingida durante o ensaio. Após o escoamento ocorre o encruamento que é um endurecimento causado pela quebra de grãos que compõem o material quando deformados a frio. O material resiste cada vez mais à tração externa necessitando de uma tensão cada vez maior para se deformar. É nessa fase que a tensão começa a subir até atingir um valor máximo, esse chamado **Limite de Resistência**.

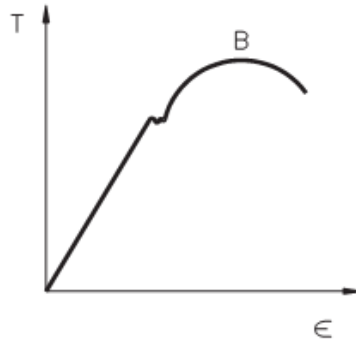


Figura 1.6 Limite de resistência à tração.

Limite de ruptura

Continuando a tração, chega-se a ruptura do material, no chamado **Limite de Ruptura**.

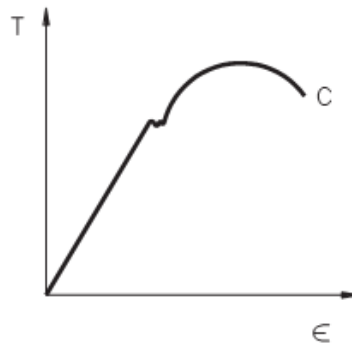


Figura 1.7. Limite de ruptura.

Note que a tensão no limite de ruptura é menor do que no limite de resistência, devido à diminuição de área que acontece no corpo de prova depois que se atinge a carga máxima.

Na figura abaixo se pode analisar todos esses elementos representados num mesmo diagrama de tensão deformação.

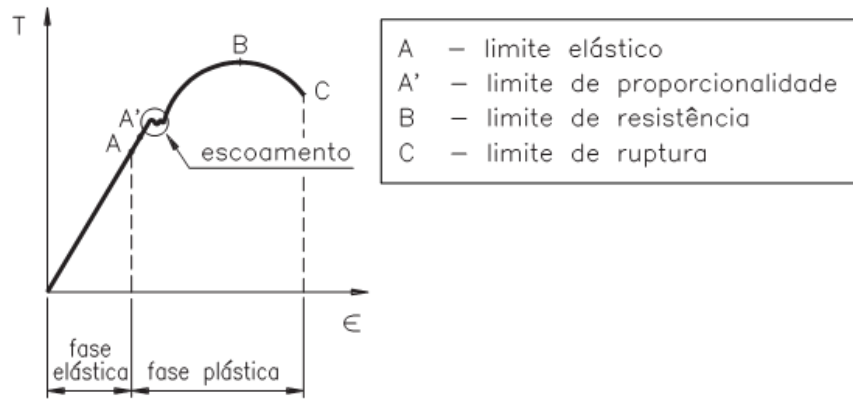


Figura 1.8. Gráfico tensão – deformação.

Fratura

Consiste separação ou fragmentação de um corpo sólido em duas ou mais partes, sob ação de uma tensão, e pode ser considerada como sendo constituída da nucleação e propagação da trinca. Pode ser classificada em duas categorias gerais: *fratura dúctil e frágil*.

A fratura dúctil é caracterizada pela ocorrência de uma apreciável deformação plástica antes e durante a propagação da trinca.

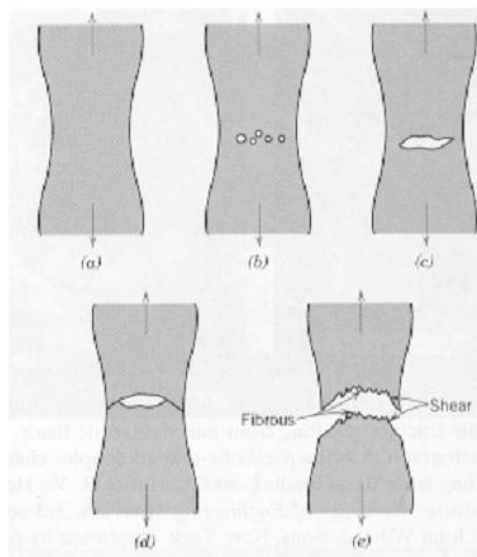


Figura 1.9. Fratura dúctil – Aspectos macroscópicos

Na figura abaixo pode ser vista a fratura microscopicamente.

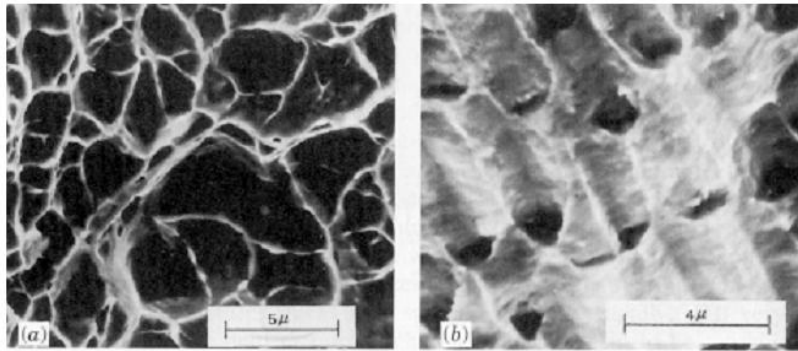


Figura 1.10. Fratura dúctil – Aspectos microscópicos.

A fratura frágil nos metais é caracterizada pela rápida propagação da trinca, sem nenhuma deformação macroscópica e muito pouca microdeformação.

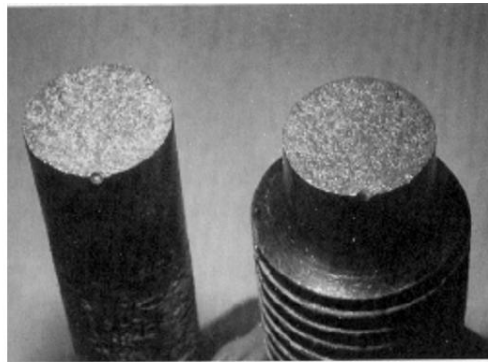


Figura 1.11. Fratura dúctil – Aspectos macroscópicos.

Na figura abaixo pode ser vista a fratura frágil microscopicamente

TRANSGRANULAR

INTERGRANULAR

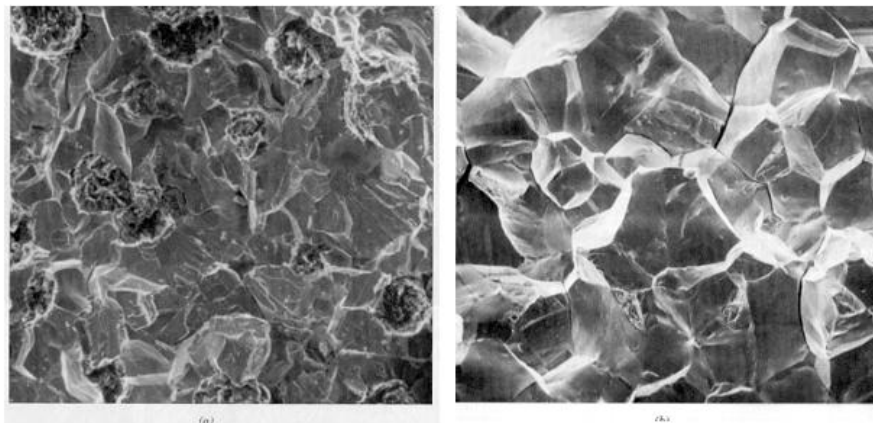


Figura 1.12. Fratura frágil - Aspectos microscópicos.

Uma boa maneira de se observar a diferença no comportamento entre os materiais é submetendo-os a um ensaio de tração. Fazendo-se um gráfico da tensão em função do alongamento, é possível caracterizar um material entre os dois grupos. Materiais frágeis rompem-se com alongamento tipicamente menor do que 5% e mostram maior resistência mecânica, **Figura 6**

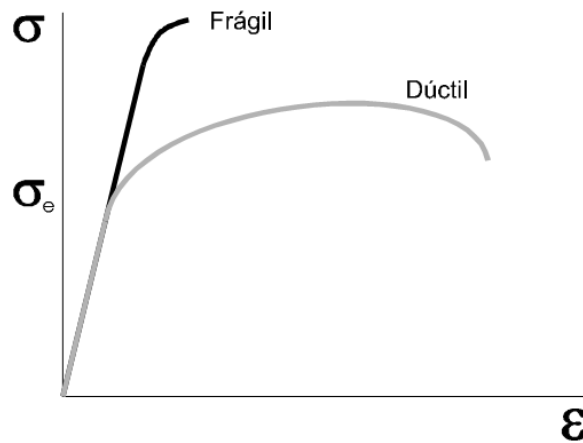


Figura 1.13. Curva tensão versus escoamento mostrando a tensão de escoamento.

Equipamento para o ensaio de tração

Geralmente o ensaio de tração é realizado na *máquina Universal* que recebe este nome por possibilitar a realização de diversos tipos de ensaios.

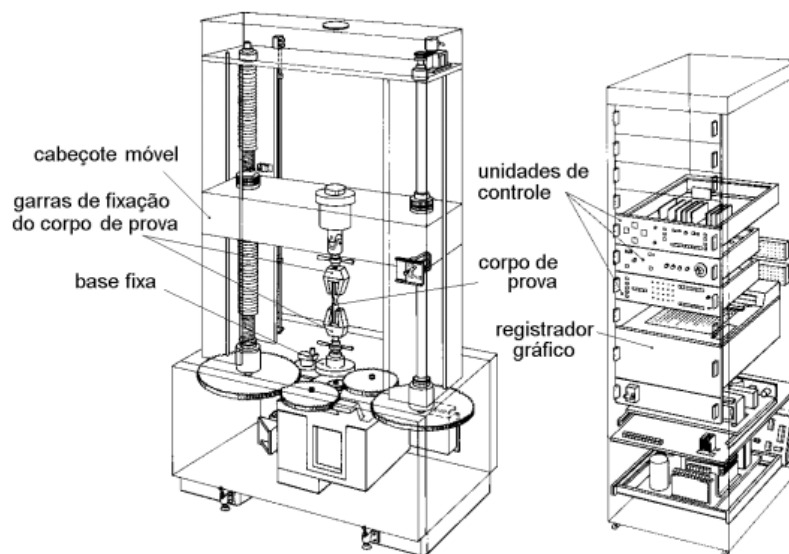


Figura 1.14. Máquina de ensaio universal.

O corpo de prova é fixado por suas extremidades nas garradeiras da máquina. Esta provoca uma força axial para fora de modo a aumentar comprimento do corpo de prova.

Corpos de prova

Os corpos de prova têm características especificadas de acordo com as normas técnicas. Normalmente utilizam-se corpos de prova de seção circular ou retangular. Durante os ensaios, a deformação fica confinada à região central, mais estreita, do corpo de prova, que possui uma seção reta uniforme ao longo do seu comprimento. O diâmetro padrão é de aproximadamente 12,8 mm, enquanto o comprimento da seção reduzida deve ser pelo menos quatro vezes esse diâmetro, é comum ser de 60 mm.

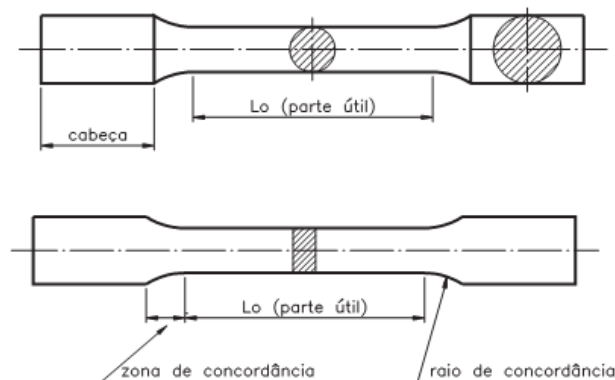


Figura 1.15 Corpos de provas.

A *parte útil* (L_0) do corpo de prova identificada no desenho acima é a região onde são feitas as medidas das propriedades mecânicas do material. As cabeças são as regiões extremas que servem para fixar o corpo de prova na máquina, de modo que a força atuante na máquina seja axial. Devem ter seção maior do que a parte útil para que a ruptura do corpo de prova não ocorra nelas. Os tipos de fixação mais comum são:

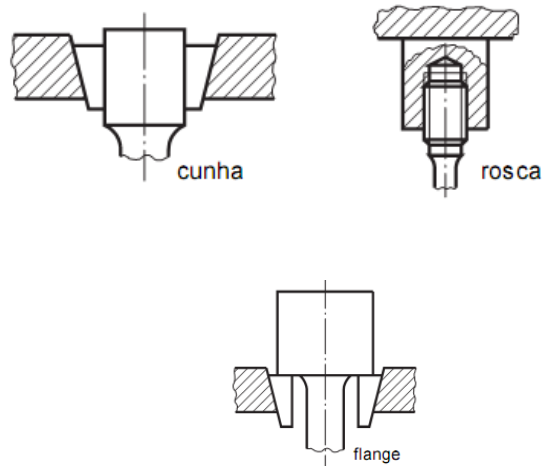


Figura 1.16. Tipos de fixação.

A máquina de ensaio de tração é projetada para alongar o corpo de prova a uma taxa constante, além de medir contínua e simultaneamente a carga instantânea aplicada (com uma célula de carga) e os alongamentos resultantes (usando um extensômetro). Tipicamente um ensaio de tração- deformação leva vários minutos para se executado e é destrutivo, isto é a amostra testada é deformada de maneira permanente, sendo geralmente fraturada.

O resultado de um ensaio de tração deste tipo é registrado em um registrador gráfico ou por um computador, na forma de carga ou força em função do alongamento.

INTRODUÇÃO

O ensaio de dobramento é utilizado para análise da conformação de segmentos retos de seção circular, quadrada, retangular, tubular ou outras em segmentos curvos. O dobramento é bastante utilizado na indústria de produção de calhas, tubos, tambores e de uma grande variedade de elementos conformados plasticamente. No dobramento de uma chapa, devem-se analisar parâmetros como o encruamento do material e o raio mínimo em que este pode ser dobrado sem que ocorra a ruptura, o retorno elástico do dobramento após a retirada da carga e a formação de defeitos na região dobrada.

Como é feito o ensaio de dobramento.

O ensaio de dobramento fornece uma indicação qualitativa da ductilidade do material. Consiste em dobrar um corpo de prova de eixo retilíneo e seção circular, retangular ou quadrada, assentado em dois apoios afastados a uma distância especificada. Através do cutelo é aplicada uma força perpendicular ao eixo do corpo do prova, até que seja atingido um ângulo desejado, que é geralmente 90,120 ou 180°.

Se na zona tracionada o material não apresentar trincas ou fissuras ele está aprovado.

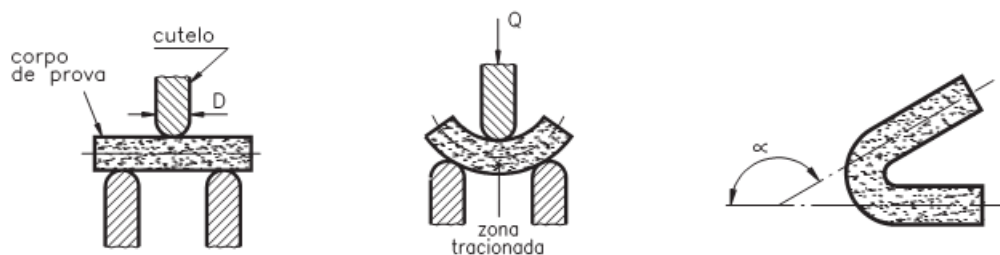


Figura 2.1 Ensaio de dobramento.

Processos de dobramento

Há dois tipos de dobramento o livre e o semiguiado.

- Dobramento Livre: É obtido pela aplicação da força nas extremidades do corpo de prova.

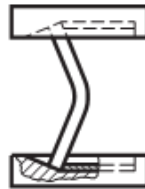


Figura 2.2. Dobramento livre.

- Dobramento semiguiado: Vai ocorrer o dobramento numa região especificada pelo cutelo.

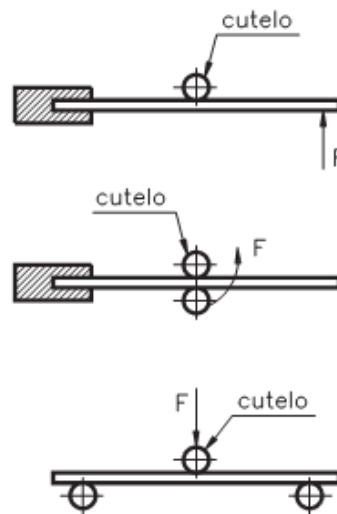


Figura 2.3 Dobramento semiguiado.

Ensaio de dobramento em corpos de provas soldados

O ensaio de dobramento em corpos de prova soldados, retirados de chapas ou tubos soldados, é realizado geralmente para a qualificação de profissionais que fazem solda (soldadores) e para avaliação de processos de solda.

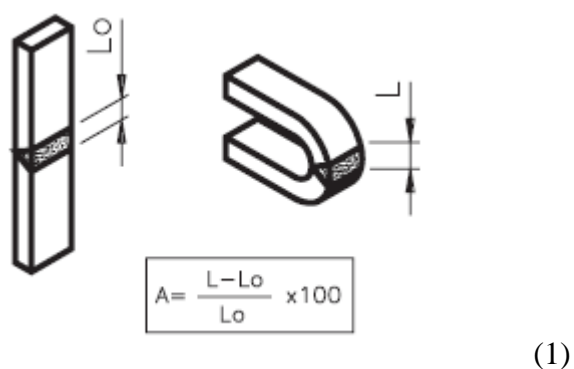


Figura 2.4. Corpos de provas soldados.

Na avaliação da qualidade da solda costuma-se medir o alongamento da face da solda. O resultado serve para determinar se a solda é apropriada ou não para uma determinada aplicação.

INTRODUÇÃO

Consiste na aplicação de uma carga crescente em determinados pontos de uma barra geometricamente padronizada. A carga aplicada parte de um valor inicial igual à zero e aumenta lentamente até a ruptura do corpo de prova. É um ensaio bastante aplicado em materiais frágeis como cerâmicos e metais duros, ferro fundido, aço ferramenta e aço rápido, pois fornece dados quantitativos da deformação desses materiais.

Tipos de ensaio de flexão

- Ensaio de flexão em três pontos: é utilizada uma barra bi apoiada com aplicação de carga no centro da distância entre os apoios, ou seja, existe três pontos de carga.
- Ensaio de flexão em quatro pontos: consiste de uma barra bi apoiada com aplicação de carga em dois pontos equidistante dos apoios.

Os principais resultados dos ensaios são: módulo de ruptura na flexão, módulo de elasticidade, módulo de resiliência e módulo de tenacidade.

Os resultados fornecidos podem variar com a temperatura, a velocidade de aplicação da carga, os defeitos superficiais e principalmente com a geometria da seção transversal da amostra.

Propriedades mecânicas avaliadas

Uma das propriedades avaliadas é a tensão de flexão.

Se aplicarmos um esforço numa barra bi apoiada, ocorrerá uma flexão a sua intensidade dependerá da onde essa carga está sendo aplicada. A flexão será máxima se for aplicada à força no centro da barra, como na figura abaixo:

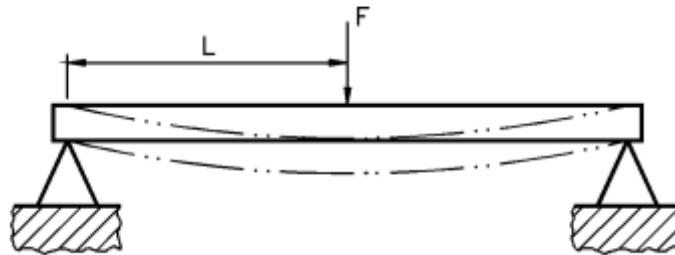


Figura 3.1 Flexão em uma barra bi apoiada

O produto da força pela distância do ponto de aplicação da força ao ponto de apoio origina o que chamamos de *momento*, que no caso da flexão é o *momento fletor* (M_f).

Nos ensaios de flexão, a força é sempre aplicada na região média do corpo de prova e se distribui uniformemente no resto do corpo. Devido a isso se considera para calcular o momento fletor a metade da força e do comprimento útil. A fórmula matemática para calcular o momento fletor é:

$$M_f = \frac{F}{2} \times \frac{L}{2} \Rightarrow M_f = \frac{FL}{4} \quad (2)$$

Para calcular a tensão de flexão é necessário calcular o momento de inércia:

- Para corpos de seção circular:

$$J = \frac{\pi D^4}{64} \quad (3)$$

- Para corpos de seção retangular:

$$J = \frac{b \times h^3}{12} \quad (4)$$

Falta ainda um elemento para enfim calcular a tensão deflexão, o módulo de resistência da seção transversal, representado por **W**, é a medida de resistência em relação a um momento. O valor de módulo é conhecido dividindo o momento de inércia pela distância da linha neutra à superfície do corpo de prova (c).

$$W = \frac{J}{c} \quad (5)$$

Dessa maneira pode-se calcular a tensão de flexão.

$$TF = \frac{M_f}{W} \quad (6)$$

O valor da carga obtido varia conforme o material seja dúctil ou frágil. No caso de materiais dúcteis considera-se a força obtida no limite de elasticidade. Quando se trata de materiais frágeis, considera-se a força registrada no limite de ruptura.

Outras propriedades que podem ser avaliadas no ensaio são a flexa máxima e o módulo de elasticidade.

A fórmula para o cálculo da flexa máxima:

$$f = \frac{1}{48} \times \frac{FL^3}{E \times J} \quad (7)$$

Dessa maneira pode-se calcular o módulo de elasticidade:

$$E = \frac{1}{48} \times \frac{FL^3}{f \times J}$$

(8)

Informações adicionais

Nas máquinas de ensaio de flexão, os apoios sobre os quais descansa o corpo-de-prova são, na maioria das vezes, roliços com possibilidade de giro, o que ajuda na diminuição da fricção ou do atrito do corpo de prova e os suportes. A carga de flexão deve ser aplicada lentamente.

Na determinação das propriedades relacionadas à resistência dos materiais cerâmicos, é mais usual a utilização do ensaio de flexão em vez do ensaio de tração. No caso da madeira, o ensaio de flexão é realizado utilizando-se dois pontos de aplicação de carga. Como a resistência da madeira em condições de compressão ao longo das fibras é muito menor que as condições de tração, o processo de fratura completa começa na zona comprimida, na forma de ondulações. A fratura completa ocorre na zona tracionada e consiste na ruptura ou clivagem das fibras externa e na consequência fratura final.

INTRODUÇÃO

Os ensaios tensão deformação de compressão podem ser conduzidos se as forças nas condições de serviço forem desse tipo. Um ensaio de compressão é conduzido de uma maneira semelhante à de um ensaio de tração, exceto pelo fato de que força é compressiva e o corpo de prova se contrai ao longo da direção da tensão.

Os ensaios de tração são mais comuns, pois são mais fáceis de serem executados; além disso, para a maioria dos materiais usados em aplicações estruturais, muita pouca informação adicional é obtida a partir do ensaio de compressão.

Os ensaios de compressão são usados principalmente quando se deseja conhecer o comportamento de um material submetido a deformações grandes e permanentes, como ocorre em aplicações de fabricação, ou quando o material é frágil sob tração.

Definição

É a aplicação de carga compressiva uniaxial em um corpo-de-prova. Nos ensaios de compressão, os corpos de prova são submetidos a uma força axial para dentro, distribuída de modo uniforme em toda seção transversal do corpo de prova.

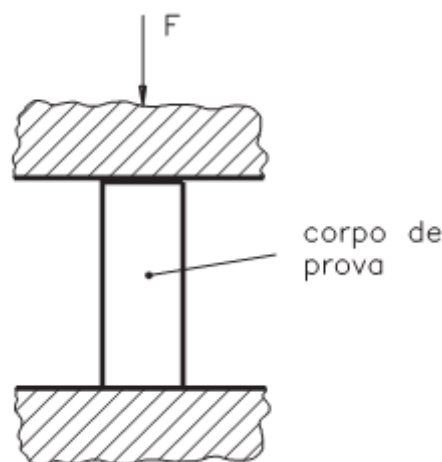


Figura 4.1- Ensaio de compressão.

Este ensaio pode ser executado na máquina Universal, com adaptação de duas placas lisas, uma fixa e outra móvel. É entre elas o corpo de prova é apoiado. Um corpo submetido à compressão sofre uma deformação elástica e a seguir uma deformação plástica.

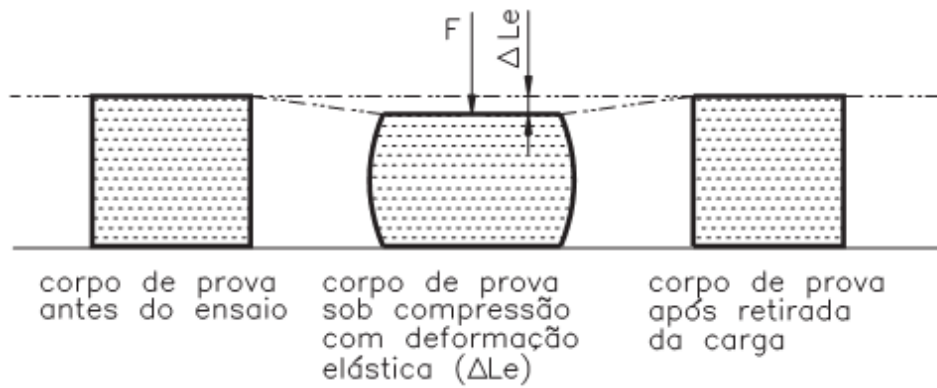


Figura 4.2 – Corpo de prova sob compressão com deformação elástica .

Na deformação plástica, o corpo retém uma deformação residual depois de ser descarregado.

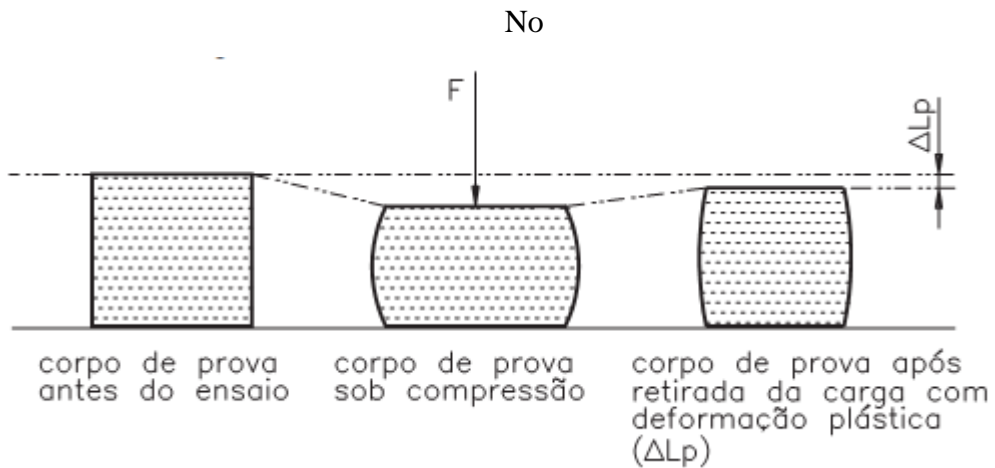


Figura 4.3 – Corpo de prova sob compressão com deformação plástica.

Na figura abaixo se pode visualizar as fórmulas para o cálculo da tensão:

RELAÇÕES VÁLIDAS PARA OS ESFORÇOS DE COMPRESSÃO	
FÓRMULA	SIGNIFICADO
$T = \frac{F}{S}$	T → tensão de compressão
	F → força de compressão
	S → área da seção do corpo
$\epsilon = \frac{L_0 - L_f}{L_0}$	ϵ → deformação
	$L_0 - L_f$ → variação do comprimento do corpo
	L_0 → comprimento inicial do corpo
$E = \frac{T}{\epsilon}$	E → módulo de elasticidade
	T → tensão
	ϵ → deformação

Tabela 4.1 – Relações para os esforços de compressão.

Um problema que sempre ocorre no ensaio de compressão é o **atrito** entre o corpo de prova e as placas de ensaios. Para diminuir o atrito é necessário revestir a face superior e inferior do corpo de prova com materiais de baixo atrito.

Outro problema deste ensaio é a flambagem, isto é, encurvamento do corpo de prova. Isso ocorre devido à instabilidade na compressão do metal dúctil.

Características dos materiais submetidos à compressão

Limite de Escoamento

Para determinar o limite de escoamento quando o material ensaiado não apresenta um patamar de escoamento nítido, se adota um deslocamento da origem no eixo da deformação de 0,002 ou 0,2% de deformação e a construção de uma reta paralela à região elástica do gráfico tensão-deformação.

Limite de resistência à compressão

Máxima tensão que o material pode suportar antes da fratura; essa máxima tensão é determinada dividindo-se a carga máxima pela área inicial do corpo- de -prova.

Dilatação transversal

Os materiais extremamente dúcteis raramente são submetidos ao ensaio de compressão, já que a amostra é submetida a esforços de atrito junto às placas da máquina na tentativa de deformação, dando origem a um complicado estado de tensões.

Durante a compressão de um material dúctil, este se expande na direção radial entre as placas da máquina. Contudo as faces do corpo-de-prova que estão em contato direto com as placas da máquina sofrem uma resistência que se opõe ao escoamento do material do centro para as extremidades devido às forças de atrito que atuam nessas interfaces. A medida que se afasta das placas, o material pode escoar em direção radial sem constrição, atingindo o máximo escoamento no ponto de meia altura do corpo de prova. Isto leva a um corpo de prova com perfil e forma de barril e uma região próxima das superfícies das placas de material não – deformado.

Para minimizar a deformação não – uniforme e reduzir o embarrilhamento, deve-se observar valores elevados da relação $\frac{h_0}{d_0}$. Na prática esses valores são da ordem de 3, sendo que valores maiores tendem à flambagem. Para materiais dúcteis essa relação varia de 3 a 8 e materiais frágeis esta relação é de 2 a 3.

Alguns materiais não – cristalinos, como o vidro e alguns polímeros, podem também apresentar elasticidade linear. Nos elastômeros, entretanto observa-se um comportamento elástico não linear.

As tensões de compressão aplicadas aos elastômeros causam inicialmente maior eficiência no preenchimento do espaço interno do material. À medida que esse espaço disponível diminui, aumenta a resistência a uma compressão ainda maior, até que finalmente, as forças de ligação primária dentro das cadeias dos elastômeros começam a se opor à tensão aplicada. Dessa forma, a curva tensão – deformação em compressão aumenta mais rapidamente sua inclinação à medida que a deformação cresce.

Ensaio de compressão em materiais dúcteis

Nos materiais dúcteis ocorre uma deformação lateral apreciável. Essa deformação prossegue até o corpo-de-prova parecer um disco, sem que ocorra a ruptura.

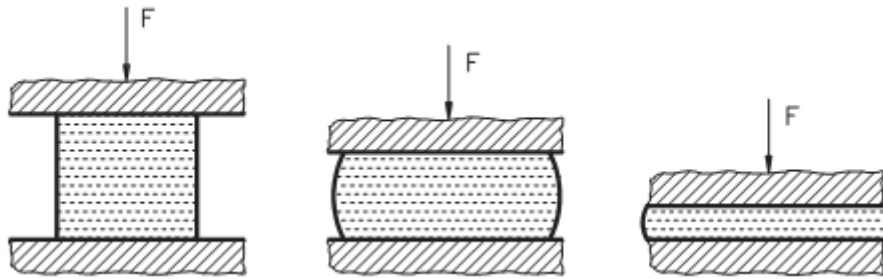


Figura 4.4 – Ensaio de compressão em materiais dúcteis.

As propriedades mecânicas avaliadas por meio do ensaio são: limite de proporcionalidade, limite de escoamento e módulo de elasticidade.

Ensaio de compressão em materiais frágeis

A única propriedade mecânica que pode ser avaliada no ensaio de compressão com materiais frágeis é seu limite de resistência à compressão. Pode ser avaliada dividindo a carga máxima pela seção original do corpo de prova.

$$LR = \frac{F_{\max}}{S_0} \quad (1)$$

Informações sobre o ensaio

Durante o ensaio, devem ser monitorizados continuamente tanto a aplicação da carga quanto ao deslocamento das placas ou a deformação do corpo de prova. Algumas precauções devem ser tomadas para a determinação correta das propriedades durante o ensaio.

- As faces das placas de carga e do corpo de prova devem ser limpas e o corpo de prova deve ser cuidadosamente centralizado na placa que contém referências-guia.

- A carga deve ser aplicada continuamente a uma velocidade de 0,3 MPa a 0,8 MPa por segundo. Nenhum ajuste deve ser feito nos controles da máquina de ensaio quando o corpo de prova estiver se deformando mais rapidamente, aproximando-se de sua ruptura.
- O carregamento deve cessar somente quando o recuo do ponteiro de carga for em torno de 10% do valor da carga máxima atingida. Esse valor será anotado como a carga de ruptura do corpo de prova.
- A tensão de ruptura à compressão é obtida dividindo-se a carga de ruptura pela área da seção transversal do corpo de prova, devendo o resultado ser expresso com a aproximação de 0,1 MPa.

Deve-se evitar a flambagem do corpo de prova, que pode ocorrer devido a:

- Instabilidade elástica causada pela falta de uniaxialidade na aplicação da carga;
- Comprimento excessivo do corpo de prova;
- Torção do corpo de prova no momento inicial de aplicação da carga;

INTRODUÇÃO

O comportamento dúctil-frágil dos materiais pode ser mais amplamente caracterizado por *ensaio de Impacto*. A carga nesse ensaio é aplicada num corpo de prova na forma de esforços por choque (dinâmicos), sendo o impacto obtido por meio da queda de um martelete ou pêndulo, de uma altura determinada.

Três fatores principais contribuem para o surgimento de fratura frágil em materiais que são normalmente dúcteis à temperatura ambiente:

- Existência de um estado triaxial de tensões.
- Baixas temperaturas.
- Taxa ou velocidade de deformação elevada.

O estado triaxial de tensões pode se introduzido pela presença de um entalhe.

Descrição do ensaio

O ensaio de impacto caracteriza por submeter ao corpo ensaiado uma força brusca e repentina, que deve rompê-lo. Outro fator é a velocidade de aplicação da força, O resultado da força associada com a velocidade se traduz por uma medida de energia absorvida pelo corpo de prova, ou algumas vezes chamada de tenacidade ao entalhe.

O pêndulo é elevado a uma certa posição onde adquire uma energia inicial.

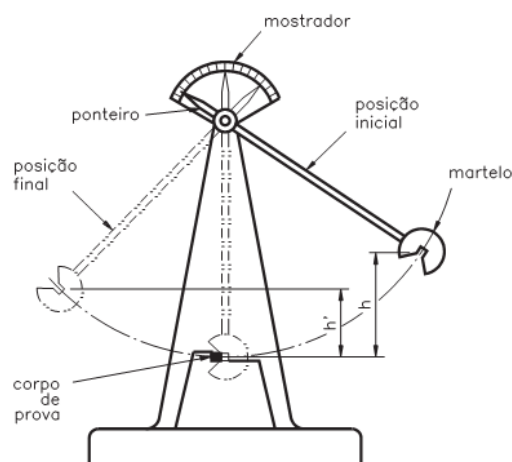


Figura 5.1 – Ensaio de impacto.

Ao cair ele encontra no seu percurso o corpo de prova, que se rompe. A sua trajetória continua até certa altura, que corresponde à posição final, onde o pêndulo apresenta uma energia final.

A diferença entre a energia inicial e final corresponde à energia absorvida pelo material.

A máquina é dotada de uma escala, que indica a posição do pêndulo, calibrada de modo a indicar a energia potencial.

$$E_p = m \times g \times h$$

(1)

Onde:

m = massa

g = aceleração da gravidade

h = altura

A massa do martelo, a altura inicial e a aceleração da gravidade são conhecidas. A única variável desconhecida é a altura final, que é obtida pelo ensaio.

Tipos de ensaio de Impacto

Existem dois tipos de ensaios padronizados que são mais amplamente utilizados: *Charpy* e *Izod*. A diferença entre esses ensaios é que no Charpy o golpe é desferido na face oposta ao entalhe e no Izod é desferido no mesmo lado.

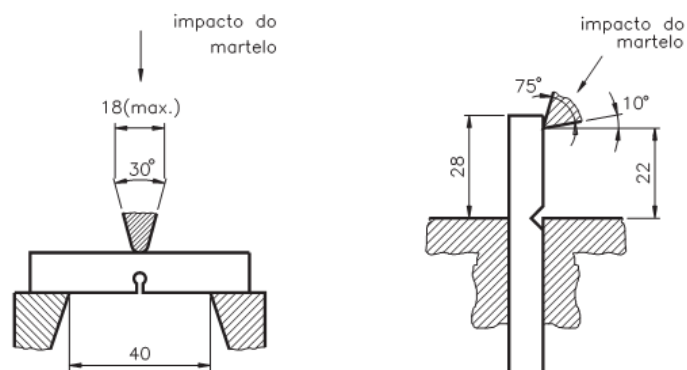


Figura 5.2 – Tipos de ensaio.

Os corpos de prova Charpy compreendem três subtipos (A,B,C), de acordo com a forma do entalhe.

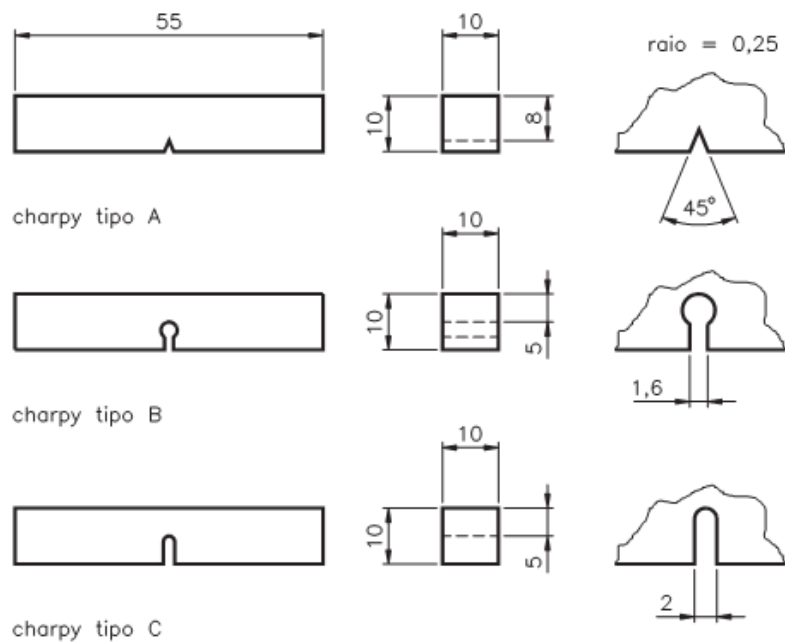


Figura 5.3 – Tipos de ensaios Charpy.

O corpo de prova Izod tem a mesma forma de entalhe do Charpy tipo A, localizada em posição diferente.

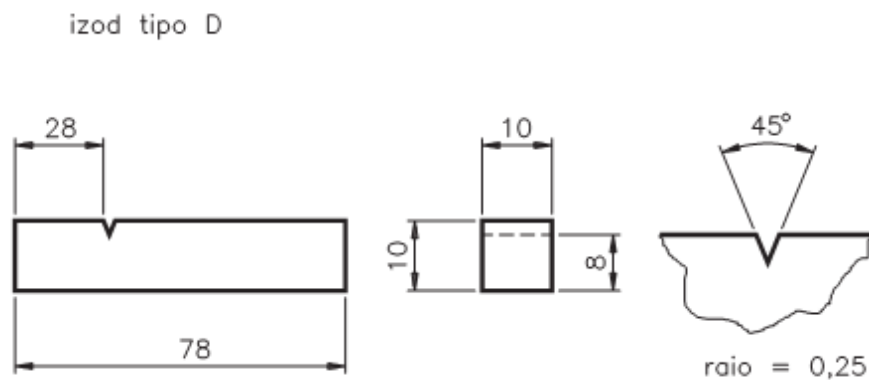


Figura 5.4 – Tipo de ensaio Izod.

Ensaio de impacto a baixas temperaturas

O ensaio de impacto é largamente utilizado nas indústrias naval e bélica, e, em particular, na construção que deverão suportar baixas temperaturas. A temperatura influencia muito a resistência de alguns materiais ao choque.

Ao ensaiar os metais ao impacto, verificou-se que há uma faixa de temperatura relativamente pequena na qual a energia absorvida pelo corpo de prova cai apreciavelmente. Esta faixa é denominada *temperatura de transição*.

Pode-se representar a temperatura de transição graficamente. Dessa maneira o comportamento do material quanto ao tipo de fratura (frágil ou dúctil) pode ser visualizado.

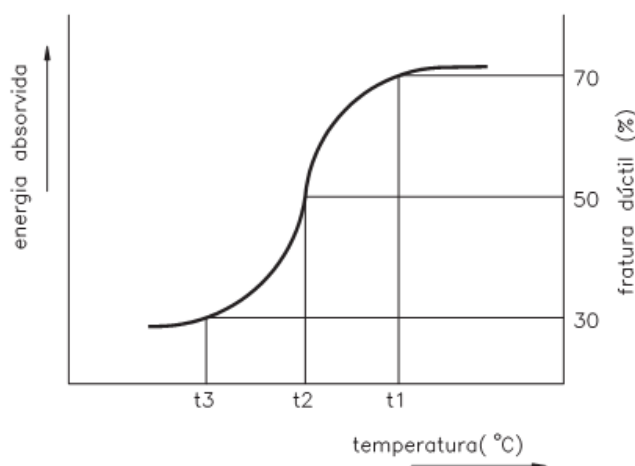


Figura 5.5 – Temperatura de transição.

A temperatura T1 corresponde à fratura 70% dúctil e 30% frágil. A temperatura T3 corresponde à fratura 30% dúctil e 70% frágil. E a temperatura T2 é o ponto no qual a fratura se apresenta 50% dúctil e 50% frágil. O intervalo de temperatura de transição corresponde ao intervalo entre T1 e T3.

Nem todos os metais apresentam uma transição dúctil-frágil. Os metais que apresentam estrutura cúbica de face centrada (CFC), que incluem ligas de alumínio e ligas de cobre, permanecem dúcteis mesmo a temperaturas extremamente baixas. Entretanto, metais com estrutura cúbica de corpo centrado (CCC) e hexagonal compacta (HC) apresentam a transição dúctil-frágil. Para esses metais, a temperatura de transição depende tanto da composição química da liga quanto da microestrutura.

Fatores que influenciam na temperatura de transição

- Tratamento térmico
- Tamanho de grão
- Encruamento
- Impurezas
- Elementos de Liga
- Processos de Fabricação
- Retirada do corpo de prova

Resfriamento do corpo de prova

Os corpos de prova utilizados para o ensaio devem ser resfriados até a temperatura desejada.

Um modo de obter o resfriamento consiste em mergulhar o corpo de prova em um tanque contendo nitrogênio líquido, por aproximadamente 15 minutos. Outra forma é por meio de uma mistura de álcool e gelo seco, que permite atingir temperatura até 70°C negativos.

O tempo máximo para romper o corpo de prova após o resfriamento é de 5 segundos.

INTRODUÇÃO

O ensaio de embutimento é realizado por meio de dispositivos acoplados a um equipamento que transmite força. Este ensaio pode ser feito na máquina Universal de ensaios, adaptadas com dispositivos próprios, ou numa máquina específica para este ensaio, como a figura abaixo:



Figura 6.1 – Ensaio de embutimento.

A chapa a ser ensaiada é presa entre uma matriz e um anel de fixação, que tem por finalidade impedir que o material deslize para dentro da matriz. Após isso o punção aplica uma carga que a força a chapa até sua ruptura.

O relógio medidor de curso fornece a medida da penetração do punção na chapa. O resultado de ensaio é a medida da profundidade do copo formado pelo punção no momento da ruptura.

Ensaio erichsen

Neste ensaio o punção tem cabeça esférica de 20 mm de diâmetro e a carga aplicada no anel de fixação que prende a chapa é de cerca de 1000 kgf.

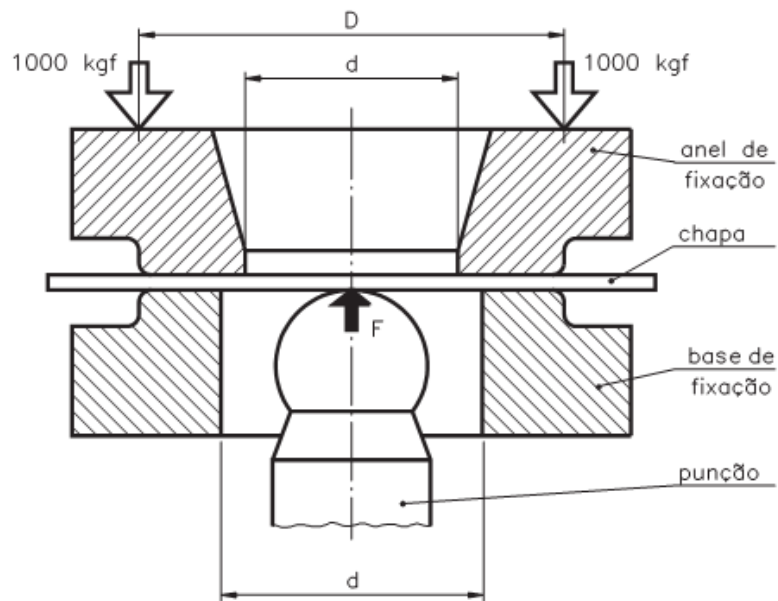


Figura 6.2 Ensaio Erichsen.

O punção deve ser lubrificado com graxa grafitada, de composição determinada em norma técnica, para evitar que o atrito entre o punção e a chapa afete o resultado.

O momento da ruptura pode ser acompanhado a olho nu ou pelo estalo que acontece na ruptura. Se a máquina for dotada de um dinamômetro que meça a força aplicada, pode-se determinar o final do ensaio pela queda brusca da carga que ocorre no momento da ruptura.



Referência Bibliográfica

1. GARCIA A. (2000). “**Ensaio dos materiais**”. Livros técnicos e científicos Editora.
2. CALLISTER W.D. “**Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução**”.
LTC Editoras.
3. www.bibvirt.futuro.usp.br/.../telecurso_2000
4. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Site>
5. www.lrm.ufjf.br/pdf/06compressao.pdf
6. www.exatec.unisinos.br/~fortis/arquivos/Aula16_EnsaioDeEmbutimento
7. www.lrm.ufjf.br/pdf/08dobramentoeflexao.pdf
8. www.lrm.ufjf.br/pdf/16impacto.pdf