



ENSAIOS MECÂNICOS

Permitem perceber como os materiais se comportam quando lhes são aplicados esforços

Tipos

Ensaio **Destrutivo** provocam a inutilização do material ensaiado

Ensaio **Não Destrutivo**

Ensaio de tracção



Ensaio de dureza

Ensaio de dobragem

Ensaio de fadiga (solicitações cíclicas)

Ensaio de fluência



Ensaio de dureza não destrutivo

Dureza de um material ➡ Resistência à penetração ou à deformação permanente da sua superfície

Muito usado em engenharia e na indústria:

- Fácil execução
- Baixo custo de equipamentos

Objectivos:

Controlo de qualidade

Verificação das condições de fabrico,

dos tratamentos térmicos,

uniformidade dos materiais



Ensaaios de dureza não destrutivos

Dureza de um material → Resistência à penetração ou à deformação permanente da sua superfície

TIPOS de ENSAIOS de DUREZA

1. Dureza de risco

Escala de Mohs

2. Dureza de choque ou ressalto

Dureza Shore

3. Dureza de penetração

Dureza Brinell

Dureza Meyer

Dureza Vickers

Dureza Rockwell

3



TIPOS de ENSAIOS de DUREZA

1. Dureza de risco

Sobretudo em
minerais -
possibilidade de
se riscarem
mutuamente

Escala de Mohs

1-10

*indicação essencialmente qualitativa
por comparação com outros minerais
(qualquer mineral da escala risca os que o precedem e é
riscado pelos seguintes).*

É pouco utilizada
nos metais (dureza entre 4-8)

6



2. Dureza de choque ou ressalto

Dureza Shore

- *Ensaio dinâmico que produz a impressão no provete por meio de um penetrador que bate na sua superfície plana*
- *Mede-se **altura de ressalto** de um pêndulo com um penetrador na ponta, quando se deixa cair de uma dada altura sobre a superfície do material a ensaiar.*
- *A **altura do ressalto** é medida por um ponteiro numa escala graduada (perda de energia cinética do peso absorvida pelo corpo - energia de deformação plástica) e é tomada como a **dureza do material**.*

7



2. Dureza de choque ou ressalto

Dureza Shore

Escleroscópico de Shore

número de Dureza Shore
0 a 140 (ressalto)

apenas
comparativo de
materiais




relação não linear
da dureza Shore
(alguns aços)

com

Dureza Brinell

R_m

Vantagens:

-  Equipamento portátil de fácil utilização em estaleiro.
-  Possibilidade de medir a dureza de peças de grandes dimensões que não podem ser colocadas em máquinas de dureza de penetração.
-  A impressão Shore é pequena e é utilizada para medir durezas em peças já acabadas.

8



Dureza Brinell

Dureza Meyers

Dureza Vickers

Dureza Rockwell

3. Dureza de penetração

Os ensaios de penetração baseiam-se em **produzir uma deformação permanente** na superfície de um metal pela aplicação de uma carga, durante um determinado intervalo de tempo, através de um penetrador.

São os ensaios mais utilizados actualmente.

11



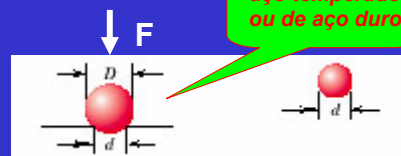
Dureza Brinell

NP EN 10 003-1 Materiais metálicos. Ensaio de dureza Brinell. Método de Ensaio (Substitui NP 106)

Brinell (Suécia)

Técnica de ensaio
Fazer penetrar lentamente na superfície do metal uma esfera de diâmetro D , sob a acção de uma força F aplicada durante um intervalo de tempo fixado

impressão (calote esférica) de diâmetro d que será tanto menor quanto maior for a dureza do material



12



Dureza Brinell é designada por:

HBS

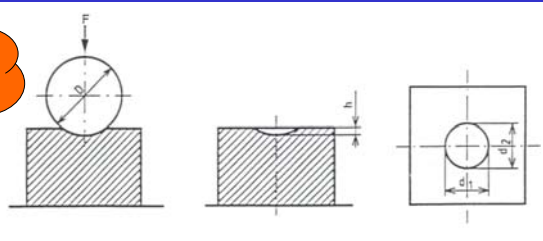
ensaio com esfera de aço - utilizada para metais de dureza Brinell < 350

HBW

ensaio com esfera de metal duro - utilizada para metais de dureza Brinell < 650

é proporcional ao quociente da força de ensaio pela área de impressão

Hardness Brinell



13



Dureza Brinell

$$HBS = \text{constante} \times \frac{\text{Força de ensaio (N)}}{\text{Área da calote impressa pela esfera no provete (mm}^2\text{)}}$$

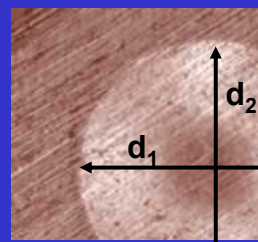
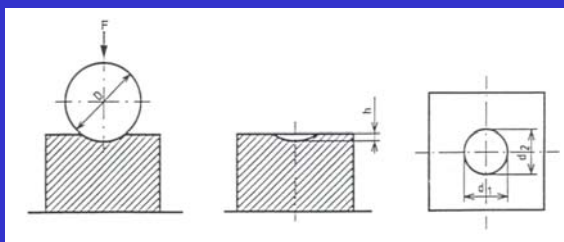
Área da calote: $A = \pi Dh$

Constante: $1/gn = 1/9,860665 = 0,102$

d- diâmetro médio da impressão (mm)

$$HBS = 0,102 \times \frac{F}{\pi Dh} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



14



Dureza Brinell Valores especificados na NP EN 10 003-1

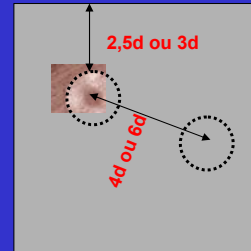
Temperatura 10° a 35° C
ensaios a temperatura controlada (23±5)°.

Duração de aplicação da força 10 a 15 seg
ou tendo outro valor este terá que ser especificado no resultado.

Valores da força de ensaio de modo que o diâmetro da impressão, d , esteja compreendido entre 0,24D e 0,6D
D-diâmetro da esfera

Distância mínima de
uma impressão ao bordo do provete
(2,5d para HB>150 ou 3d para HB<150) e
entre centros de impressão adjacentes
(4d para HB>150 ou 6d HB<150).

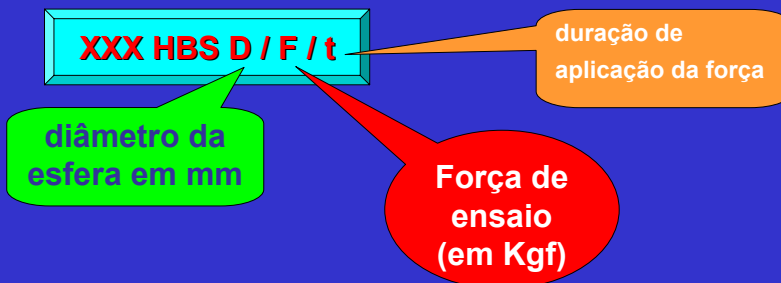
Espessura mínima do provete em função do diâmetro médio de impressão



15



Dureza Brinell Resultado



Exemplo: 350 HBS 1/30/20
- dureza Brinell igual a 350, obtida num ensaio com uma esfera de aço de 1mm de diâmetro, força de ensaio de 294,2N durante 20 segundos

16



Dureza Brinell Resultado

XXX HBS D / F / t

Através do conhecimento da dureza é estimada a resistência à tracção (empírico)

$$HB \approx 2,78 R_m$$

c\ R_m em kg/mm²
ou

$$HB (S \text{ ou } W) \approx \frac{2,78}{9,81} R_m$$

c\ R_m em MPa

Portanto

$$R_m \sim 3,5 \times HB(S \text{ ou } W)$$



Dureza Brinell Resultado

XXX HBS D / F / t

diâmetro da esfera em mm

duração de aplicação da força

Força de ensaio (em Kgf)

Exemplo: 350 HBS 1/30/20
- dureza Brinell igual a 350, obtida num ensaio com uma esfera de aço de 1mm de diâmetro, força de ensaio de 294,2N durante 20 segundos

$$R_m \sim 3,5 \times 350 = 1235 \text{ MPa}$$



Dureza Brinell Vantagens/ limitações

Vantagens

- Conhecimento aproximado da R_m sem ser necessário atingir a rotura.
- Baixo custo, simples
- A deformação produzida não afecta o comportamento do material
- ensaio não destrutivo

limitações

Não é aplicável em peças muito finas ou em metais muito duros
Método relativamente lento para produção industrial.
A impressão obtida é muito grande para peças acabadas.
Não é utilizado em metais que sofreram tratamento superficial (cementação, etc.)

19



3. Dureza de penetração

Dureza Brinell 

Dureza Meyer

Dureza Vickers

Dureza Rockwell

Dureza Meyer 1908

Hardness
Meyer

Em vez da área da calote impressa

Idêntica à Dureza Brinell mas a definição de dureza é diferente:
é utilizada a área da calote projectada no plano da superfície do provete
DUREZA MEYER - HM é definida como a pressão média na área projectada

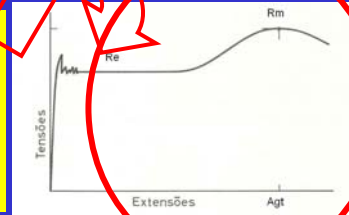
24



DUREZA MEYER - HM é definida como a pressão média na área projectada

$$HM = \frac{1}{g_r} \frac{F}{\pi d^2} = 0,102 \frac{4F}{\pi d^2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Importante:
O ensaio de HB e o ensaio de HM são realizados na zona do diagrama de comportamento do aço correspondente à **zona plástica**.



25



3. Dureza de penetração

Dureza Brinell



Dureza Meyer

Dureza Vickers

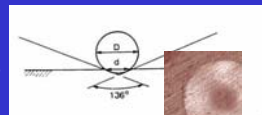
Dureza Rockwell

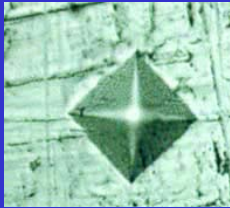
Dureza Vickers HV (Smith e Sandland 1925)

Hardness
Vickers

Utiliza um penetrador de diamante em forma de pirâmide quadrangular com ângulo entre as faces de **136°**.

Este ângulo produz valores de impressões semelhantes à dureza Brinell.





Penetrador de diamante: praticamente indeformável, todas as impressões são semelhantes entre si:
para materiais homogêneos o número de dureza Vickers é o mesmo qualquer que seja a carga

$$HV = \frac{1}{g_r} \frac{\text{Força de ensaio}}{\text{área da superfície piramidal}} = \frac{1}{g_r} \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,102 \frac{1,854 F}{d^2} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

d – média das diagonais da impressão (mm)

27



DUREZA VICKERS:

Norma NP-711 (1968) METAIS Ensaio de dureza Vickers

Norma NP 741 (1969) METAIS Números de dureza Vickers

Força de ensaio: entre 1 e 100 kgf usual: F = 30 kgf
Duração de aplicação: 10 a 15s

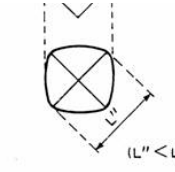
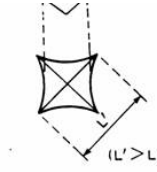
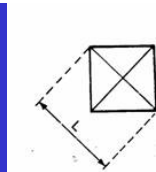
ERROS DE ENSAIO:

anomalias possíveis das impressões obtidas nos métodos HB eHV
impressões defeituosas

impressão perfeita

afundamento

aderência



28



Dureza Vickers HV Vantagens/ limitações

Vantagens

- escala contínua de dureza
- impressões muito pequenas que não inutilizam a peça
- grande precisão de medida: aplicação na investigação
- aplicação a toda a gama de durezas encontradas nos diferentes materiais
- deformação nula do penetrador
- aplicação em qualquer espessura do material, podendo portanto medir durezas superficiais

limitações

- grande morosidade
- exige preparação cuidadosa da superfície para tornar nítida a impressão
- processo muito caro

29



3. Dureza de penetração

Dureza Brinell



Dureza Meyer



Dureza Vickers



Dureza Rockwell

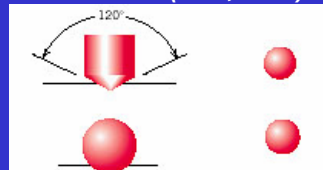
Dureza Rockwell HR (1922)

Hardness
Rockwell

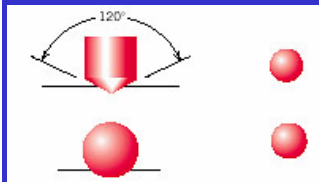
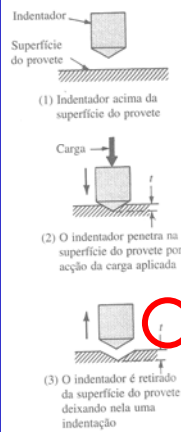
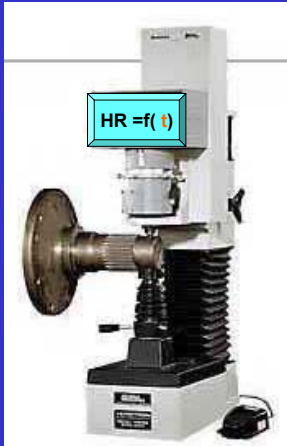
penetradores

★ cone de diamante (ângulo de abertura 120°) terminado em calote esférica ($D=0,2\text{mm}$)

★ esfera de aço temperado polido de $D= 1,58\text{ mm}$



0

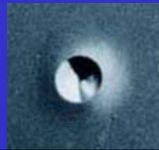


penetradores

Esfera de aço ou cone de diamante
Carga de impressão (15kgf a 150kgf)

t profundidade de indentação

Dureza Rockwell HR
é função de t



31



NP EN 141 (1958) METAIS Ensaio de dureza Rockwell

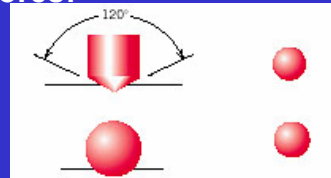
Dureza Rockwell HR

Utiliza duas forças de ensaio:

- ajuste F1 (=10kg)
- impressão F2 (=90 ou 140 kg)

Utiliza dois tipos de penetradores:

- cone de diamante (ângulo de abertura 120°) terminado em calote esférica (D=0,2mm)
- esfera de aço temperado polido D= 1,58 mm



penetradores

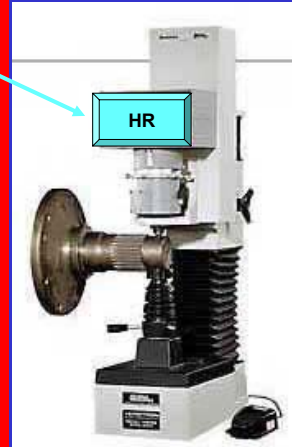
A recuperação elástica do materiais – subida do penetrador – é medida na escala da máquina. Por diferença de um valor de referência determina-se o acréscimo remanescente de penetração.



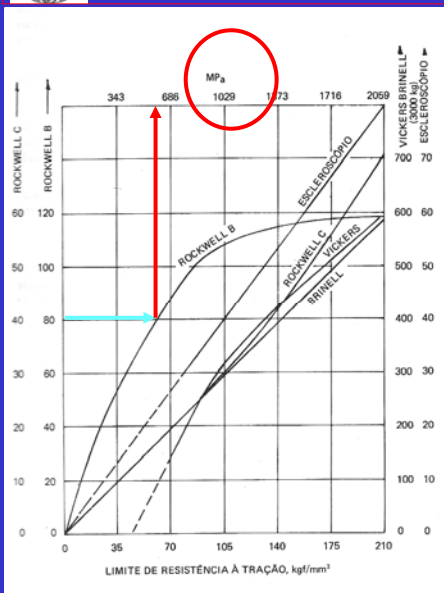
Dureza Rockwell HR Vantagens/ limitações

Vantagens

- elimina o tempo necessário para a medição da impressão: **o resultado é lido directamente e automaticamente na máquina de ensaio**
- ensaio rápido e livre de erros de operadores
- utiliza penetradores pequenos – impressões reduzidas (utilização em peças acabadas)
- grande utilização em laboratório e na indústria: **em linhas de produção, para verificação de tratamentos térmicos ou superficiais - processo universalmente mais utilizado**



33



Resistência à tracção
de certos metais
pode-se estimar a
partir da **dureza**

34



TIPOS de ENSAIOS de DUREZA

1. Dureza de risco **Escala de Mohs**

2. Dureza de choque ou resalto **Dureza Shore** 

3. Dureza de penetração

Dureza Meyer 

Dureza Vickers 

Dureza Brinell 

Dureza Rockwell 