

Ensaio de Dureza

Propriedade utilizada na especificação de materiais

Base de medida para:

- Resistência mecânica e ao desgaste
- Resistência ao corte em usinagem
- Tratamento térmico e tratamento mecânico

Conceitos de Dureza:

- Mineralogia- Corresponde a resistência ao risco de um material em relação a outro.
- Mecânica- Resistência a penetração de um material duro em outro.
- Metalurgia- Resistência a deformação plástica permanente.

Para cada conceito existe um ou mais tipos de medida adequados.

Os ensaios de dureza podem ser divididos em 3 tipos principais:

-por risco

-por penetração e;

-por choque

Dureza por Risco

- Raramente é utilizado para metais. É aplicado a mineralogia.
- A escala de dureza mais conhecida para este método é a escala de MOHS, onde os minerais são relacionados em ordem de possibilidade de um riscar o outro.

Escala de Mohs

Material	nº de Mohs
diamante	10
safira	9
topázio	8
quartzo	7
ortoclásio	6
apatita	5
fluorita	4
calcita	3
gipsita	2
talco	1

Dureza por Risco

Ex: O cobre recozido tem dureza de Mohs =3

- Um aço temperado com estrutura martensítica tem dureza Mohs = 7
- A diferença de dureza entre aços C-Mn comum não seria percebida
- A maioria dos metais se situa entre 4 e 8, ou seja, há pouca precisão para metais.
- Os métodos de medida por penetração e por choque são os mais utilizados em metalurgia e mecânica.

Métodos por penetração:

- Brinell
- Rockwell
- Vickers
- Knoop
- Mayer

Métodos por choque

- Shore (escleroscópica)

Dureza BRINELL (HB)

Método proposto por J. A. Brinell em 1900.

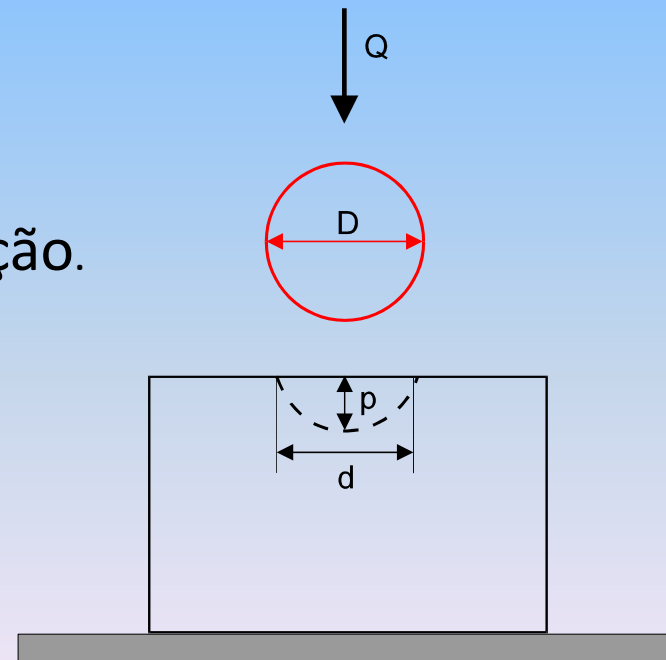
- compressão lenta e gradual de uma esfera de aço de diâmetro D , sobre uma superfície plana, limpa e polida através de uma carga Q durante um intervalo de tempo t .
- medida do diâmetro d da calota esférica resultante da deformação permanente. Sendo d uma média de duas medidas realizadas a 90° .
- a dureza é definida em unidades de tensão (N/mm^2 ou kgf/mm^2).

Dureza BRINELL (HB)

O valor de dureza corresponde a carga aplicada dividida pela área de contato superficial S_c .

$$HB = \frac{Q}{S_c} = \frac{Q}{\pi D \times p} = \frac{2Q}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

onde p é a profundidade de penetração.



Dureza BRINELL (HB)

Normalmente:

- $D = 10 \text{ mm}$; $Q = 3000 \text{ kgf}$ (proposta inicial de Brinell).
- Para materiais muito duros ($HB > 500 \text{ kgf/mm}^2$) utiliza-se esfera de WC;
- $t = 30 \text{ s}$;
- $t = 60 \text{ s}$ para materiais com baixo ponto de fusão (fluência).
- O tipo de esfera, nível de carga e tempo de aplicação dependem portanto do metal a ser ensaiado.
- Estes parâmetros podem ser obtidos por consulta a norma de ensaio ASTM A-370.

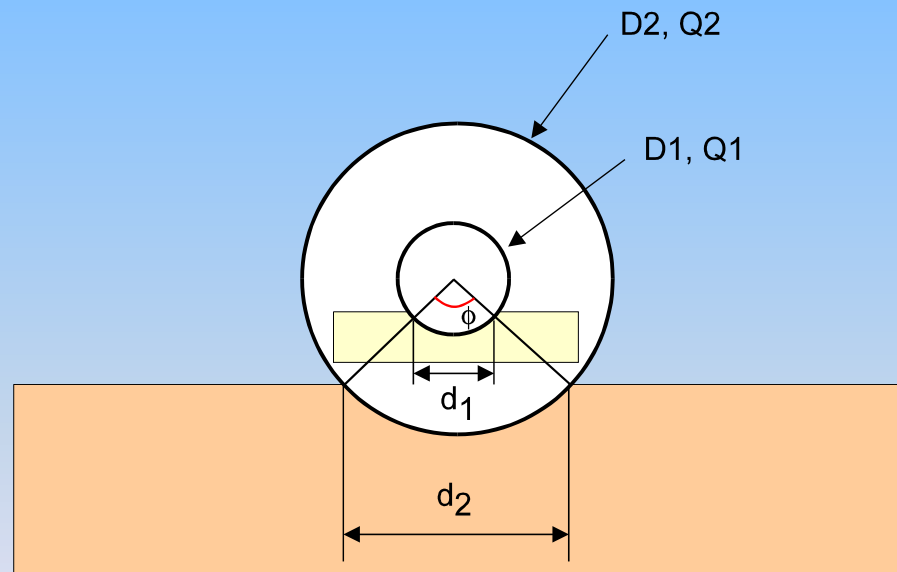
Dureza BRINELL (HB)

Cuidados na realização do ensaio com relação a localização da impressão:

- afastamento das bordas de $2,5 \times d$;
- espessura da peça de pelo menos $10 \times d$;
- distância entre duas impressões

Dureza BRINELL (HB)

Uso de esferas e cargas diferentes das propostas por Brinell.



$$\text{sen } \phi/2 = d_1/D_1 = d_2/D_2 = c^{\text{te}} . \text{ Logo } Q/D^2 = c^{\text{te}} .$$

Dureza BRINELL (HB)

Esferas utilizadas:

1, 2, 5 e 10 mm

A esfera deverá ter uma dureza 2,5 x superior a do metal a ser ensaiado.

Material	Q/D^2
Aço, FoFo, ligas não ferrosas	30
Ligas de cobre e duralumínio	10
Cobre e alumínios comerciais	5
Ligas anti-fricção	2,5 ou 1

Dureza BRINELL (HB)

Relação da dureza Brinell com o limite de resistência em tração:

$\sigma_r = 0,36 \text{ HB}$, válido para aços sendo limitado até 380 HB.

Vantagens do método:

- facilidade de execução, baixo custo de operação e equipamento simples.

Limitações:

- recuperação elástica após a retirada da carga;
- deformação da calota esférica;
- o corpo-de-prova pode ser inutilizado pelo tamanho da impressão;
- não é aplicado a materiais com tratamento superficial.

Dureza MEYER (HM)

Difere da Brinell por considerar a pressão média na superfície de contato fornecendo um valor mais preciso considerando que esta relação corrige as forças laterais na superfície inclinada.

$$HM = \frac{4Q}{\pi \times d^2}$$

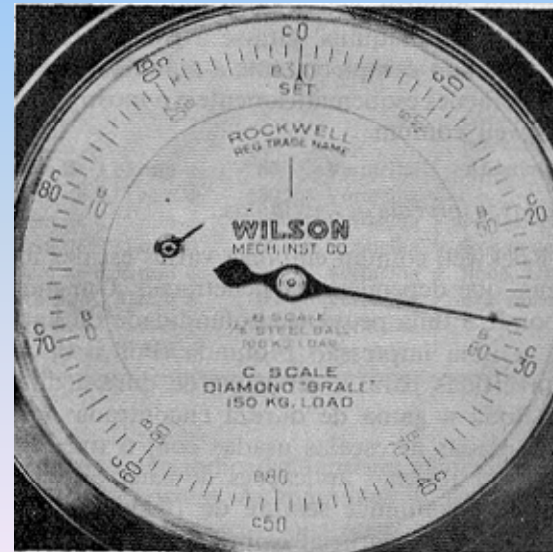
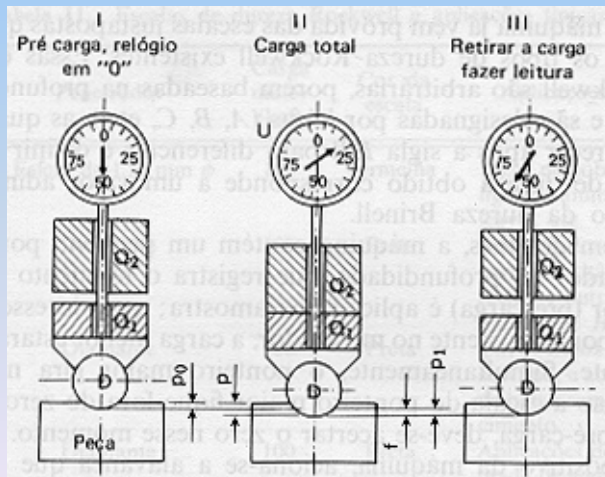
Não é utilizado em ensaios de rotina.

Dureza ROCKWELL (HR)

Dois tipos: Rockwell padrão e Rockwell superficial

Descrição do Ensaio:

“Medida da profundidade de penetração descontando a recuperação elástica devido a uma carga maior e descontando a penetração de uma carga menor”.



Dureza ROCKWELL (HR)

Pré-carga: 10 kgf para Rockwell padrão e 3 kgf para Rockwell superficial.

Penetradores:

- esferas de aço temperado
- cone de diamante com ângulo de 120° (penetrador Brale)

O resultado obtido é adimensional

Dureza Rockwell = 100 (penetração = 0 mm)

Dureza Rockwell = 1 (penetração = 0,2 mm)

Dureza ROCKWELL (HR)

Tabela 11. Escalas de dureza Rockwell e aplicações típicas [17]

Símbolo de escala	Penetrador	Carga maior (kgf)	Cor da escala	Aplicações das escalas
B	Esfera de 1,59 mm ϕ	100	Vermelha	Ligas de cobre, aços moles, ligas de alumínio, ferro maleável, etc.
C	Diamante	150	Preta	Aço, fofo duro, fofo maleável perlítico, titânio, aço endurecido e outros metais mais duros que $HR_B = 100$.
A	Diamante	60	Preta	Carbonetos cementados, aço fino, e aços endurecidos de baixa camada de endurecimento.
D	Diamante	100	Preta	Aplicações de aços com camada de endurecimento entre os dois casos acima mencionados, fofo maleável perlítico.
E	Esfera de 3,17 mm ϕ	100		Fofo, ligas de Al e Mg, metais para mancais.
F	Esfera de 1,59 mm ϕ	60	Vermelha	Ligas de Cu recozidas, chapas finas de metais moles.
G	Esfera de 1,59 mm ϕ	150	Vermelha	Fofo maleável, liga Cu-Ni-Zn, cupro-níqueis. Aplicações até $HR_G = 92$ para evitar achatamento da esfera.
H	Esfera de 3,17 mm ϕ	60	Vermelha	Alumínio, zinco, chumbo.
K	Esfera de 3,17 mm ϕ	150	Vermelha	} Metais para mancais e outros metais muito moles ou finos. Usar a menor esfera e a maior carga possíveis.
L	Esfera de 6,35 mm ϕ	60	Vermelha	
M	Esfera de 6,35 mm ϕ	100	Vermelha	
P	Esfera de 6,35 mm ϕ	150	Vermelha	
R	Esfera de 12,70 mm ϕ	60	Vermelha	
S	Esfera de 12,70 mm ϕ	100	Vermelha	
V	Esfera de 12,70 mm ϕ	150	Vermelha	

Dureza ROCKWELL (HR)

As escalas mais usadas são: A, B e C sendo indicadas por HR_A , HR_B e HR_C respectivamente.

Escala C (cone de diamante e carga de 150 kgf)

- Para esta escala trabalha-se na faixa de valores de 20 a 70. Para valores abaixo de 20 HR_C comuta-se para a escala B.

Escala B (esfera de aço e carga de 100 kgf)

- Para esta escala trabalha-se na faixa de 50 a 100.
- Para valores inferiores a 50 HR_B comuta-se para a escala A

Escala A (cone de diamante e carga de 60 kgf)

Dureza ROCKWELL (HR)

Espessura mínima para ensaio:

- 10 x a profundidade de impressão.

Vantagens: - leitura direta, impressão pequena e rapidez do ensaio.

Desvantagens: - várias escalas, requer boa preparação da superfície.

Correlação entre outros métodos estabelecido em normas ASTM E-18 e ABNT MB-358

Dureza VICKERS (HV)

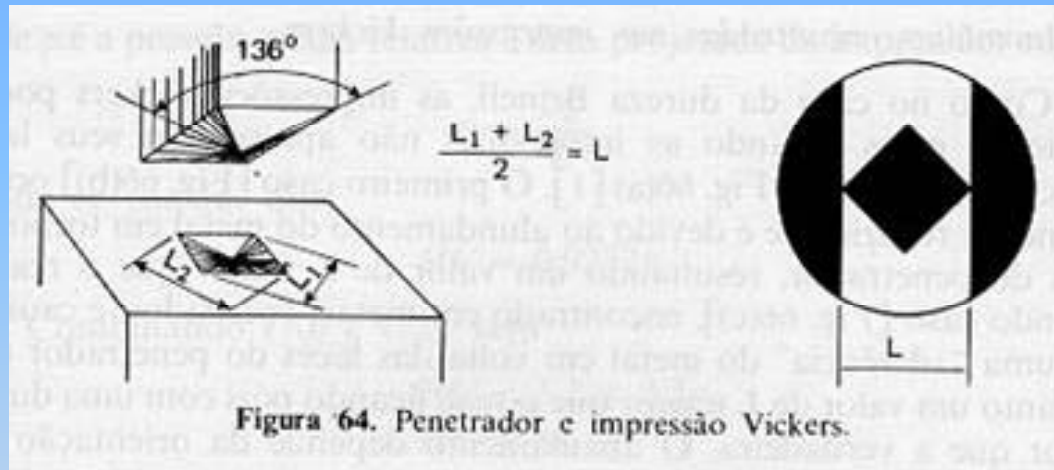
Semelhante ao método Brinell por preservar a relação d/D inicialmente proposta por Brinell, onde $d/D = 0,375$.

Utiliza-se um penetrador de diamante (indefornável) em formato piramidal com ângulo de face de 136° .

Os valores de dureza obtidos são independentes da carga aplicada, quer dizer que ensaios realizados com cargas diferentes apresentam o mesmo valor de dureza.

As cargas variam de 1 a 120 kgf

Dureza VICKERS (HV)



HV= Carga / área da superfície piramidal

Dureza VICKERS (HV)

Vantagens do método Vickers:

- Escala contínua;
- Precisão de medida;
- Impressões pequenas;
- Mede durezas superficiais (microdureza);

Dureza e Microdureza Vickers

Considera-se microdureza Vickers quando são utilizadas cargas inferiores a 1,0 kgf. Pode-se realizar ensaios com cargas inferiores a 5 gf.

Dureza VICKERS (HV)

Desvantagens do método Vickers:

- Procedimento mais demorado pelo tempo necessário para medição das diagonais;
- Exige uma preparação mais cuidadosa do que os métodos anteriores, normalmente polimento e ataque metalográfico

Podem ocorrer irregularidades da impressão que levam a erros de medição devido a:

- preparação inadequada do cp originando uma superfície irregular ou faces não paralelas.
- anisotropia do material ensaiado.

Dureza Knoop

É um ensaio de microdureza (cargas inferiores a 1 kgf)

- Utiliza o mesmo princípio da microdureza Vickers (mesmo equipamento), com um penetrador de diamante que produz uma impressão em que a relação entre a diagonal maior e a menor é de 7:1
- Por ser mais estreita é indicada para medida de camadas eletrodepositadas ou endurecidas.
- A penetração é a metade da obtida com um penetrador Vickers para uma mesma carga.

Outras aplicações:

- medida da dureza de vidros
- medida de dureza de camada de tintas

DUREZA por CHOQUE

Ensaio dinâmico onde um penetrador piramidal bate na superfície do corpo-de-prova.

Neste caso o princípio do método considera que o volume da impressão é proporcional ao trabalho realizado para a sua geração. O trabalho é medido pela energia cinética do pêndulo ou êmbolo utilizado.

Parâmetros: - altura de queda (h)

- massa do embolo (m)

- volume da impressão (V) em mm³.

$$\text{Dureza} = m \cdot h / V$$

DUREZA SHORE

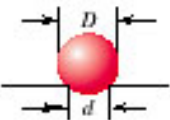

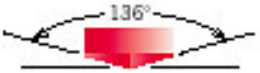

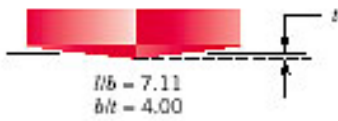
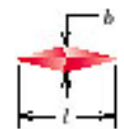
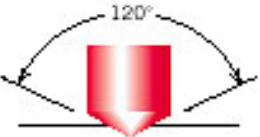
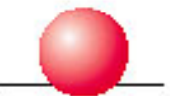


Conhecida como Shore ou Escleroscópica

Mede a altura de rebote ou perda de energia cinética quando uma barra (êmbolo) de massa conhecida com uma ponta de diamante arredonda cai de uma altura h , bate na superfície do corpo-de-prova e retorna. Utiliza portanto os princípios do choque parcialmente elástico.

- Foi desenvolvido para materiais duros onde a esfera Brinell poderia ser danificada.
- Ex.: 75 Shore (440 HB).

Quadro Geral dos Métodos de Dureza

Table 6.4 Hardness Testing Techniques

Test	Indenter	Shape of Indentation		Load	Formula for Hardness Number ^a
		Side View	Top View		
Brinell	10-mm sphere of steel or tungsten carbide			P	$HB = \frac{2P}{\pi D[D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers microhardness	Diamond pyramid			P	$HV = 1.854P/d_1^2$
Knoop microhardness	Diamond pyramid			P	$HK = 14.2P/l^2$
Rockwell and Superficial Rockwell	<ul style="list-style-type: none"> ⎧ Diamond cone ⎧ 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 in. diameter steel spheres 	 	 	<ul style="list-style-type: none"> 60 kg 100 kg 150 kg Rockwell <ul style="list-style-type: none"> 15 kg 30 kg 45 kg Superficial Rockwell	

^a For the hardness formulas given, P (the applied load) is in kg, while D , d , d_1 , and l are all in mm.

Source: Adapted from H. W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. Copyright © 1965 by John Wiley & Sons, New York. Reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc.