

1 Competencias:

Reconocer e identificar los materiales de acuerdo al grado de dureza.

Identificar los tipos de indentadores utilizados en cada uno de los ensayos.

Analizar y determinar la dureza de los materiales de estudio en condiciones normales y sometidas a condiciones térmicas.

Conocer el manejo del durómetro.

2 Introducción

La dureza de un material es la resistencia que opone a la penetración de un cuerpo más duro. La resistencia se determina introduciendo un cuerpo de forma esférica, cónica o piramidal, por el efecto que produce una fuerza determinada durante cierto tiempo en el cuerpo a ensayar. Como indicador de dureza se emplea la deformación permanente (plástica). En algunos casos, es necesario determinar las características mecánicas de los materiales sin llegar a su destrucción. También podemos determinar la dureza conseguida mediante un tratamiento de dureza.

Hay varios métodos para determinar la dureza, pero en general se clasifican en dos grandes grupos:

- Ensayos estáticos en lo que la carga se aplica en forma estática o cuasi-estática. En este caso un indentador se presiona contra la superficie de ensayo con una carga que se aplica en forma relativa lenta. En general la medida de dureza en este tipo de ensayo resulta del cociente de la carga aplicada y el área de la huella que deja el indentador en la superficie, como es el caso de los métodos Brinell, Vickers y Knoop, o bien es una medida de la profundidad de la indentación como en el ensayo Rockwell.

- Ensayos dinámicos en los que la carga se aplica en forma de impacto. En general el indentador es lanzado sobre la superficie a ensayar con energía conocida y el valor de dureza se obtiene a partir de la energía de rebote del penetrador luego de impactar en la muestra, como sucede en el método de Shore y en el de Leeb, ambos conocidos como métodos de dureza por rebote.

Si bien se pueden clasificar en este grupo métodos como el de Poldi, o uno mucho más moderno como el UCI, los de rebote son los más representativos de los ensayos dinámicos de dureza.

En los ensayos dinámicos los resultados obtenidos son dependientes de las propiedades elásticas del material que se ensaya y en general los valores son comparables entre materiales en los que dichas propiedades son iguales, o bien se requiere la calibración del instrumento antes de ensayar un material cuyo módulo elástico es desconocido.

3 Métodos para determinar la dureza

Hay varios métodos para determinar la dureza, pero en general se clasifican en dos grandes grupos:

- Ensayos estáticos en los que la carga se aplica en forma estática o cuasi-estática. En este caso un indentador se presiona contra la superficie de ensayo con una carga que se aplica en forma relativa lenta. En general la medida de dureza en este tipo de ensayo resulta del cociente de la carga aplicada y el área de la huella que deja el indentador en la superficie, como es el caso de los métodos Brinell, Vickers y Knoop, o bien es una medida de la profundidad de la indentación como en el ensayo Rockwell.
- Ensayos dinámicos en los que la carga se aplica en forma de impacto. En general el indentador es lanzado sobre la superficie a ensayar con energía conocida y el valor de dureza se obtiene a partir de la energía de rebote del penetrador luego de impactar en la muestra, como sucede en el método de Shore y en el de Leeb, ambos conocidos como métodos de dureza por rebote.

Si bien se pueden clasificar en este grupo métodos como el de Poldi, o uno mucho más moderno como el UCI, los de rebote son los más representativos de los ensayos dinámicos de dureza. En los ensayos dinámicos los resultados obtenidos son dependientes de las

propiedades elásticas del material que se ensaya y en general los valores son comparables entre materiales en los que dichas propiedades son iguales, o bien se requiere la calibración del instrumento antes de ensayar un material cuyo modulo elástico es desconocido.

4 Probeta

Consideraciones ensayo

No hay forma estándar o tamaño de la muestra de ensayo, La muestra sobre la que se hace la indentación se ajustarán a lo siguiente:

El espesor de la muestra de prueba deberá ser tal que no haya abultamiento o marcado que muestre el efecto de la fuerza de ensayo

la superficie sobre la que se realizara la indentación debe presentar un mecanizado o pulido con material abrasivo para que el borde de la indentacion este claramente definido para permitir la medición del diámetro

Las secciones reducidas de las probetas preparadas deben estar libres de trabajo en frío, muescas, marcas de vibraciones, ranuras, rebabas o cualquier otra condición que pueda afectar negativamente a las propiedades a medir.

5 Ensayo brinell

El ensayo de dureza brinell consiste en presionar la superficie del material a ensayar con una bolilla de acero muy duro o carburo de tungsteno, produciéndose la impresión de un casquete esférico correspondiente a la porción de la esfera que penetra Fig. 1. El valor de dureza, número de Brinell HB, resulta de dividir la carga aplicada P por la superficie del casquete, por lo que

$$H_B = \frac{P}{\pi D h} \left[\frac{kg}{mm^2} \right]$$

La profundidad h del casquete impreso se mide directamente en la maquina, mientras la carga se mantiene aplicada de modo de asegurar un buen contacto entre la bolilla y el material. Otra manera de determinar el número HB es partiendo

del diámetro d de la impresión lo cual tiene la ventaja de que se pueden efectuar tantas mediciones como se estimen necesarias y en microscopios o aparatos especialmente diseñados para tal fin. En este caso el valor del diámetro de la impresión resultará del promedio de dos lecturas realizadas a 90° entre si.

$$h = \frac{D}{2} - \alpha = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Considerando que

reemplazando la Eq. 2 en la Eq. 1 se obtiene una expresión para el número de Brinell en función del diámetro de la huella

$$HB = \frac{2P}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

En la práctica el número de Brinell se puede tomar directamente de una tabla ingresando con el valor del diámetro de la impronta.

En algunos materiales la penetración de la bolilla origina una craterización Fig. 2.a y entro una depresión Fig 2.b. En estos casos los valores obtenidos a partir de la medición de h no coinciden con los obtenidos en función de d , ya que la profundidad h medida no corresponde al casquete cuyo diámetro es d , sino al de diámetro d_1 , cuya determinación exacta en forma práctica es dificultosa.

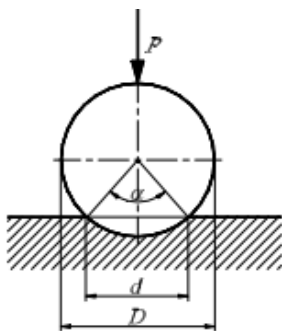


Figura 1. Esquema básico de un ensayo de dureza Brinell

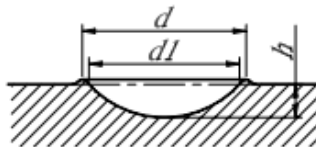


Figura 2.a. Craterización en la indentación

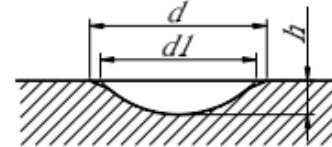


Figura 2.b Depresión en la indentación

5.1 Penetradores

Como penetrador normal del método Brinell puede considerarse la bolilla de 10 mm de acero muy duro HB = 630 pudiendo emplearse, en probetas de menor espesor, penetradores de 5 y 2,5 mm, aceptándose en cualquier caso una tolerancia de $\pm 0,005D$. También se emplean penetradores de 1,25 y 0,625 mm de carburo de tungsteno que permiten ensayar materiales más duros, aunque los ensayos no son comparables con los realizados con los otros tipos de bolillas. Existen diversos criterios para determinar la bolilla a utilizar en un ensayo las ASTM indican que e (espesor de la probeta) no debe ser menor de 10 veces la profundidad de penetración.

Tabla1 Relaciones entre dureza, espesor de la probeta y carga a aplicar

| Espesor de la probeta e [pulgadas] | Dureza Brinell mínima para la cual un ensayo Brinell puede ofrecer seguridad | | |
|---|--|------------------|------------------|
| | Carga de 500 kg | Carga de 1500 kg | Carga de 3000 kg |
| 1/16 | 100 | 301 | 602 |
| 1/8 | 50 | 150 | 301 |
| 3/16 | 33 | 100 | 201 |
| ¼ | 25 | 75 | 150 |
| 5/16 | 20 | 60 | 120 |
| 3/8 | 17 | 50 | 100 |

Según ASTM E10 [2]

6 Ensayo Rockwell

Al igual que en el ensayo Brinell la dureza se determina en función del grado de penetración de la pieza a ensayar a causa de la acción del penetrador bajo una carga estática dada. Difiere del ensayo Brinell en que las cargas son menores y los penetradores más pequeños por lo que la impronta será menor y menos profunda. Además el ensayo Rockwell no requiere la utilización de fórmula alguna para la determinación de la dureza. Esta se obtiene directamente del dial indicador de la máquina ya que la misma está dada por el incremento de profundidad de penetración debido a la acción del penetrador, el cual puede ser una bolilla de acero o un cono de diamante. En la operación, la cual se muestra

esquemáticamente en la Fig. 2, se aplica inicialmente una carga de 10 kg la cual causa una penetración inicial A que pone el penetrador sobre el material y lo mantiene en posición. El indicador de la máquina se pone en cero, es decir se toma la línea de referencia a partir de la cual se medirá la indentación y se aplica la carga adicional, la que generalmente es de 50 o 90 kg cuando se utiliza como penetrador una bolilla de acero y es de 140 kg cuando se utiliza el cono de diamante.

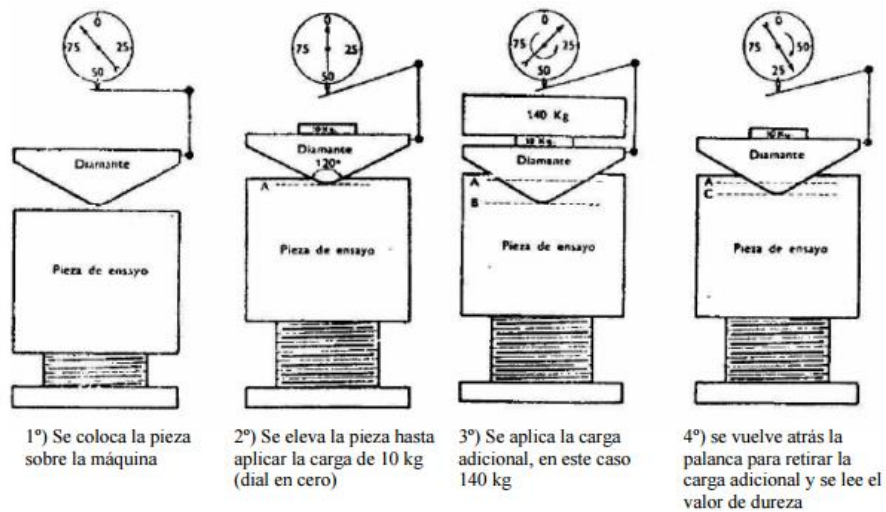


Figura 2. Secuencia de ensayo de dureza rockwell

Al aplicar la carga adicional el material fluye plásticamente, resultando una penetración total B. Posteriormente, se retira la carga adicional, permitiendo la recuperación elástica del material resultando una penetración final C. Una vez que la carga principal se retira, el valor de dureza se lee directamente del indicador de la máquina y dependerá de la penetración h dada por la diferencia entre la línea de referencia A y la línea final C. En las máquinas con sistema de indicación analógico la carátula lleva dos grupos, que difieren por 30 números de dureza, en los que se agrupan las diferentes escalas correspondientes al método, véase la Fig. 3.

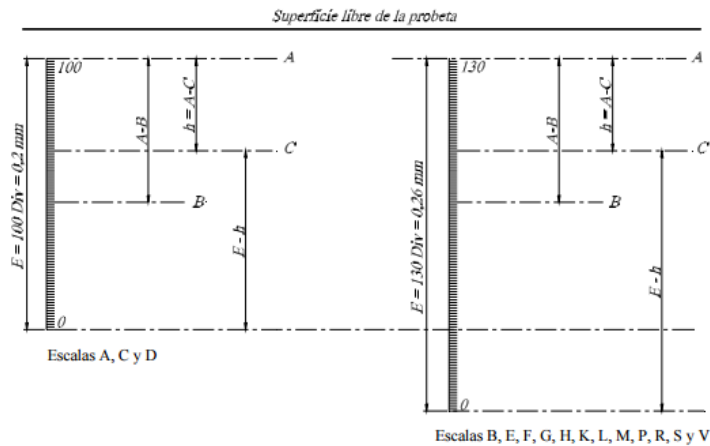


Figura 3. Grupos de escalas

Uno de los grupos corresponde a las escalas que utilizan el penetrador esférico, mientras que el otro corresponde a las que utilizan el cono de diamante. Las escalas Rockwell tienen divisiones de 0,002 mm, es decir la diferencia de penetración entre lecturas $HRB = 53$ y $HRB = 56$ es de 0,006 mm. Como las escalas están invertidas un número más alto implica mayor número Rockwell el cual está dado por

$$HR = E - h$$

Donde E es el número total de divisiones de la escala y h es el incremento de penetración

7 Ensayo Vickers

La determinación de la dureza Vickers es similar a la Brinell ya que se obtiene del cociente de la carga aplicada por la superficie de la impronta. Sin embargo en este caso se utiliza una carga pequeña y el penetrador es un diamante en forma de pirámide, como se muestra en la Fig 4. De esta manera el valor de dureza Vickers resulta:

$$HV = \frac{P}{8l^2} 2 \operatorname{sen} \left(\frac{136}{2} \right)$$

Dado que $l^2 = d^2 / 2$ se puede obtener una expresión en función de la diagonal d , la cual resulta

$$HV = \frac{1,854 P}{d^2}$$

También es posible expresar el número Vickers en función de la profundidad de penetración h de la siguiente manera

$$HV = \frac{P}{4 h^2 \tan\left(\frac{136}{2}\right) \sqrt{1 + \tan^2\left(\frac{136}{2}\right)}}$$

Ya sea en la determinación de d o h se requiere una exactitud de 0,001 mm y el valor de d resultará del promedio de ambas diagonales. Las cargas pueden variar de 1 a 100 kg según el espesor y tipo de material. En general las máquinas estándar proveen cargas de 1, 2.5, 5, 10, 20, 30, 50, 100 y 120 kg de las cuales las de 30 y 50 kg son las más usadas. De esta manera para indicar las condiciones de ensayo solo es necesario indicar la carga, así HV30 significa dureza Vickers con una carga de 30 kg.

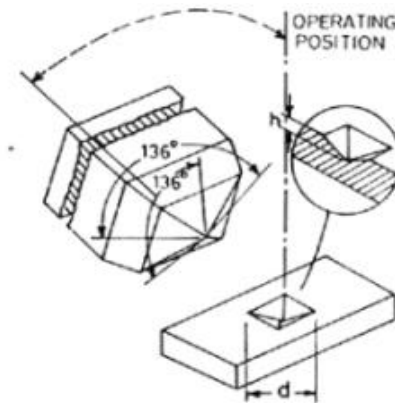


Figura 4. Penetrador vickers

8 Trabajos citados

BEER & JOHNSTON . (2006). MECNICA DE MATERIALES.

Shackelford, J. F. (2005). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*.

UNIVERSIDAD LIBRE – FACULTAD DE INGENIERÍA

ASIGNATURA: LABORATORIO DE ENSAYOS MECANICOS

GUIA ACADÉMICA: ENSAYO DE DUREZA

Universidad distrital. (2008). *ENSAYO DE TENSIÓN O TRACCIÓN* .

WILLIAM D. CALLISTER. (1995). *CINCIA E INGENIERIA DE LOS MATERIALES*.

NORMA ASTM:E 10

NORMA ASTM:E 18-00

NORMA ASTM:E 92-82