

ESSAIS DE DURETE

La dureté, de symbole général H (hardness), est une propriété mécanique qui exprime la résistance d'un matériau soumis à une déformation plastique localisée (petites indentation ou rayure).

Beaucoup de méthodes servent à l'évaluation de la dureté d'un matériau; les plus courantes consistent à mesurer la résistance à la pénétration et les essais les plus courants sont les essais de dureté Brinell, Vickers et Rockwell.

I. Essai Brinell

I-1 Principe

L'essai consiste à enfoncer dans la pièce à essayer un pénétrateur, en forme de bille en acier ou en carbure de tungstène de diamètre D , sous une charge F bien déterminée, et à mesurer deux diamètres d_1 et d_2 à 90° l'un de l'autre (Fig. 1) sur l'empreinte laissée à la surface de la pièce après enlèvement de la charge. La mesure est effectuée à l'aide d'une loupe et d'une règle graduée.

La charge est appliquée progressivement de façon à atteindre sa valeur au bout d'un temps déterminé ($\cong 15$ secondes), puis maintenue à sa valeur finale pendant 10 à 15 secondes.

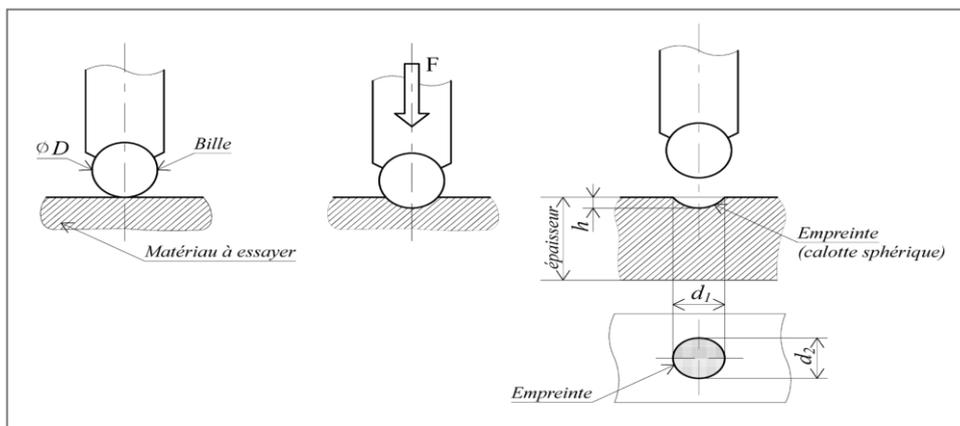


Fig.1.Principe de l'essai Brinell

La dureté Brinell **HB=Constante x F/S**

Avec:

- **Constante**= $1/g=1/9,8066= 0,102$ **g**:accélération de la pesanteur en ms^{-2} ,
- **F**=charge d'essai en Newton (N),
- **S**=surface de l'empreinte (calotte sphérique)= πDh en mm^2 ,

$$h = \text{profondeur de l'empreinte} = \frac{(D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2} \quad \text{en mm,}$$

- D = diamètre de la bille en mm,
- d = diamètre de l'empreinte = $(d_1 + d_2)/2$ en mm.

La dureté Brinell est donnée par la relation suivante :

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

I-2 Désignation

Deux symboles sont utilisés pour indiquer une dureté Brinell:

- **HBS** pour l'essai effectué avec une bille en acier,
- **HBW** pour l'essai effectué avec une bille en carbure de tungstène.

Des chiffres sont placés devant et derrière ces symboles, le chiffre qui précède donne la valeur de la dureté et les trois chiffres placés derrière le symbole indiquent les conditions d'essai à savoir :

- Le 1^{er} donne le diamètre de la bille en mm,
- le 2^{ème} indique la valeur de la charge en N multipliée par le facteur de proportionnalité 0,102 (autrement dit la charge exprimée en kgf),
- le dernier chiffre donne la durée de maintien de la charge en secondes, si elle diffère du temps spécifié (10 à 15 secondes).

Exemples:

300 HBS 5/750 correspond à une dureté Brinell de 300 mesurée avec une bille en acier de 5 mm de diamètre sous une charge de 750 kgf, soit $750 \times 9,8066 = 7355$ N, maintenue durant 10 à 15 secondes.

600 HBW 1/30/20 correspond à une dureté Brinell de 600 mesurée avec une bille en carbure de tungstène de 1 mm de diamètre sous une charge de 30 kgf, soit $30 \times 9,8066 = 294,2$ N, maintenue pendant 20 secondes.

Remarque:

- Les billes habituellement utilisées pour les essais Brinell ont des diamètres de 1–2–2,5–5 et 10 mm.
- Si aucun chiffre ne figure derrière le symbole HBS ou HBW, cela signifie que l'essai a été réalisé dans des conditions normales, c.-à-d. avec une bille de 10 mm de diamètre et sous une charge 29430 N (3000 kgf) appliquée pendant 10 à 15 secondes.
- Bille en acier : $HBS < 350$.
- Bille en carbure de tungstène : $HBW < 650$.

II. Essai Vickers

II-1 Principe

Le principe de est le même que celui de l'essai Brinell, seule la forme du pénétrateur change. L'essai consiste à enfoncer dans la pièce à essayer un pénétrateur en forme de pyramide droite en diamant, à base carrée, d'angle au sommet égal à 136° , sous une charge F bien déterminée, et à mesurer sur l'empreinte, laissée sur la

surface après enlèvement de la charge, deux diagonales d_1 et d_2 (Fig.2, 3 et 4). La mesure est effectuée à l'aide d'un système optique approprié.

Pour l'essai Vickers, la charge est appliquée progressivement de façon à atteindre sa valeur au bout d'un temps déterminé ($\cong 15$ secondes), puis maintenue à sa valeur finale pendant 10 à 15 secondes.

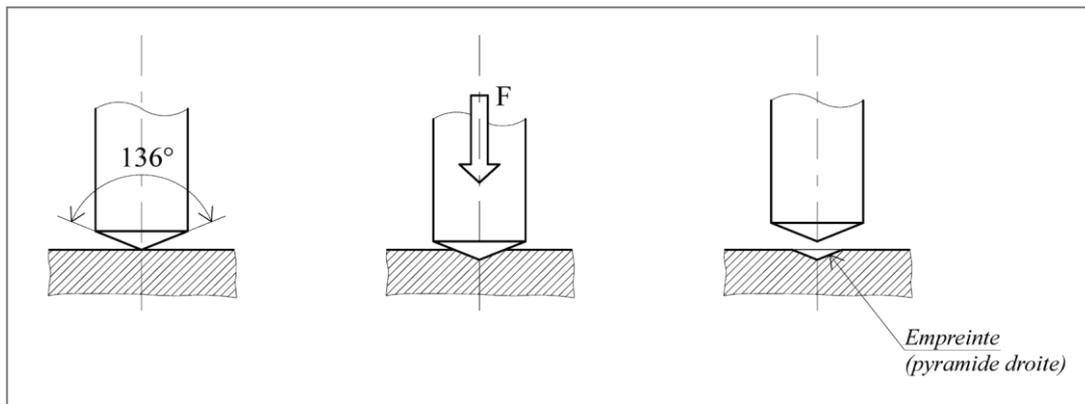


Fig.2. Principe de l'essai Vickers

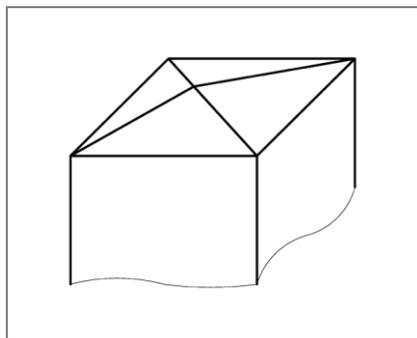


Fig.3. Géométrie du Pénétrateur

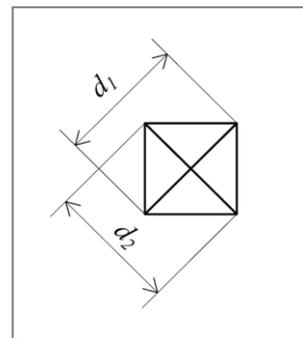


Fig.4. Mesure de l'empreinte

La dureté Vickers **HV** est un nombre proportionnel au rapport F/S , où **S** est la surface de l'empreinte considérée comme **pyramide droite** ;

$$\mathbf{HV = constante \times F/S}$$

Avec:

- **Constante** = $1/g = 1/9,8066 = 0,102$ **g**: accélération de la pesanteur en ms^{-2} ,
- **F** = charge d'essai en Newton (N),
- **S** = surface de l'empreinte (pyramide droite) en mm^2 ,

On déduit

$$HV = 0,102 \times \frac{2F \sin(136^\circ/2)}{d^2}$$

Soit :

$$HV = 0,189 \times \frac{F}{d^2}$$

Où d = diagonale de l'empreinte = $(d_1+d_2)/2$ en mm (Fig.4).

II-2 Désignation

La formulation d'une dureté Vickers est assez proche de celle de la dureté Brinell.

- A gauche du symbole **HV** se trouve un chiffre donnant la valeur de la dureté.
- Adroite du symbole **HV** peuvent figurer jusqu'à 2 chiffres :

- Le 1^{er} donne la valeur de la charge d'essai (en N) multipliée par 0,102 (c.-à-d. la charge en kgf),

- Le 2^{ème} donne la durée (en secondes) de maintien de la charge lorsqu'elle diffère du temps spécifié (10 à 15 secondes).

Exemples:

640 HV 50/20 signifie que la dureté Vickers de 640 a été déterminée sous une charge de 490,3 N (50 kgf) appliquée pendant 20 secondes.

640HV30 signifie que la dureté Vickers de 640 a été déterminé sous une charge de 294,2 N (30kgf) appliquée pendant 10 à 15 secondes.

Remarque:

- La charge d'essai Vickers est:

$$49 \leq F \leq 981 \text{ N (pour les Aciers),}$$

$$49 \text{ N} \leq F \leq 180 \text{ N (pour Al, Cu et alliages).}$$

- La dureté Vickers peut être étendue aux faibles charges de 1,961 à 49,03 N (HV0,2 à HV5) on parle d'essai de dureté Vickers sous charge réduite. Pour des charges inférieures à 1,961 N (HV 0,2 et en dessous), on parle d'essai de microdureté Vickers.

III. Essai Rockwell

L'essai Rockwell consiste à imprimer, en deux temps, dans la couche superficielle de la pièce à essayer, un pénétrateur de type normalisé (cône en diamant ou bille en acier) et à mesurer l'accroissement rémanent h de la profondeur de pénétration.

III-1 Principe

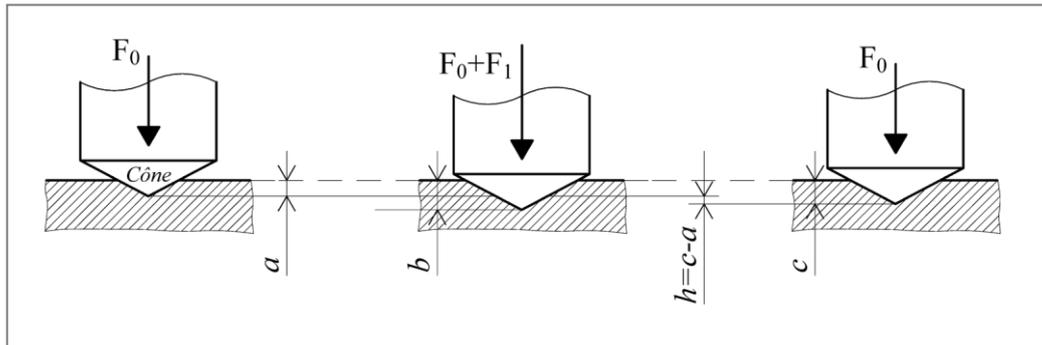


Fig.5. Principe de l'essai Rockwell avec cône.

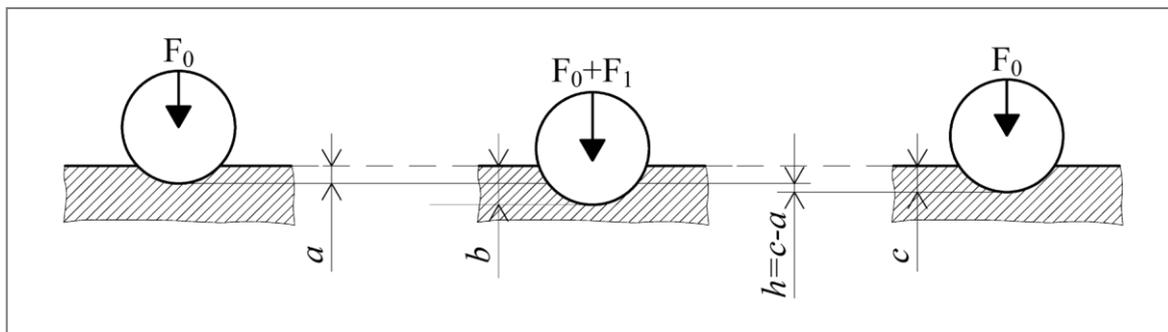


Fig.6.Principe de l'essai Rockwell avec bille.

- Le pénétrateur est mis en contact (perpendiculairement) avec la surface du matériau à essayer, il est soumis sans choc à une charge initiale de pénétration F_0 . Cette charge entraîne une pénétration a du pénétrateur, qui sert d'origine de mesure de la dureté.

- On applique au pénétrateur, progressivement et sans choc (en 2 à 8 secondes), une surcharge F_1 . Le pénétrateur s'enfonce d'une profondeur b .

- On enlève F_1 pour revenir à la charge initiale F_0 . La pénétration est alors égale à c .

- On mesure l'accroissement rémanent de la profondeur de pénétration h , c.-à-d. la différence entre la pénétration c sous charge F_0 à la fin de l'essai et la pénétration a sous charge F_0 au début de l'essai; $h=c-a$.

A partir de la valeur h est déduit le nombre appelé **dureté Rockwell**.

La combinaison de divers pénétrateurs et de diverses charges conduit à utiliser plusieurs échelles de dureté Rockwell.

Le tableau 1 indique les différentes échelles de dureté Rockwell en fonction des types de pénétration et des charges **F**.

Le tableau 2 montre le calcul de la dureté pour les différentes échelles de dureté Rockwell.

Echelle de dureté Rockwell	Symbole de dureté	Type de pénétrateur	Charge initiale F_0	Surcharge F_1	Charge totale F	Domaine d'application (fourchette de dureté Rockwell)
A	HRA	Cône diamant	98,07N	490,3N	588,4N	20à88HRA
B	HRB	Billed'acier1,5875 mm	98,07N	882,6N	980,7N	20à100HRB
C	HRC	Cône diamant	98,07N	1,373 kN	1,471 kN	20à70HRC
D	HRD	Cône diamant	98,07N	882,6N	980,7N	40à77HRD
E	HRE	Bille d'acier 3,175 mm	98,07N	882,6N	980,7N	70à100HRE
F	HRF	Billed'acier1,5875 mm	98,07N	490,3N	588,4N	60à100HRF
G	HRG	Billed'acier1,5875mm	98,07N	1,373 kN	1,471 kN	30à94HRG
H	HRH	Bille d'acier 3,175 mm	98,07N	490,3N	588,4N	80à100HRH
K	HRK	Bille d'acier 3,175 mm	98,07N	1,373 kN	1,471 kN	80à100HRK
15N	HR15N	Cône diamant	29,42N	117,7N	147,1N	70à94HR15N
30N	HR30N	Cône diamant	29,42N	264,8N	294,2N	42à86HR30N
45N	HR45N	Cône diamant	29,42N	411,9N	441,3N	20à77HR45N
15T	HR15T	Billed'acier1,5875 mm	29,42N	117,7N	147,1N	67à93HR15T
30T	HR30T	Billed'acier1,5875mm	29,42N	264,8N	294,2N	29à82HR30T
45T	HR45T	Bille d'acier1,5875mm	29,42N	411,9N	411,3N	1à72HR45T

Tableau1. Différentes échelles de dureté Rockwell (NFEN10109)

HRA HRC HRD	Dureté Rockwell=100- $\frac{h}{0,002}$	Formule applicable pour les échelles de dureté Rockwell A, C et D (h en mm)
HRB HRE HRF HRG HRH HRK	Dureté Rockwell=130- $\frac{h}{0,002}$	Formule applicable pour les échelles de dureté Rockwell B, E, F, G, H, et K
HRN HRT	Dureté Rockwell=100- $\frac{h}{0,001}$	Formule applicable pour les échelles de dureté Rockwell N et T

Tableau2. Calcul de la dureté Rockwell (NFEN10109)

Les deux échelles de dureté Rockwell les plus utilisées sont:

- Echelle de dureté Rockwell C; le pénétrateur est un cône de diamant auquel est appliquée une charge totale

de **1471 N** (charge initiale $F_0 = 98,07 \text{ N}$). Cette échelle est utilisée pour mesurer l'acier, la fonte, le Titane.

- Echelle de dureté Rockwell B; Le pénétrateur est ici une bille d'acier de 1,5875 mm de diamètre soumise à une charge totale de **980,7N** (charge initiale $F_0=98,07\text{N}$). Cette échelle est utilisée pour mesurer la dureté de l'alliage de cuivre, l'acier doux, l'alliage d'aluminium.

III-2 Désignation

- La dureté Rockwell pour les échelles A, B, C, D, E, F, G, H et K est désignée par le symbole **HR** précédé par la valeur de dureté et complété par une lettre indiquant l'échelle.
Exemple : 59 HRC = dureté Rockwell de 59, mesurée sur l'échelle C.
- La dureté superficielle Rockwell pour les échelles N et T est désignée par le symbole **HR** précédé de la valeur de la dureté et complété par un nombre (représentant la charge total) et une lettre indiquant l'échelle.
Exemple: 70 HR30N = dureté superficielle Rockwell de 70, mesurée sur l'échelle 30N avec une charge de 294,2 N (soit 30kgf).