

1.1. ESSAI DE DURETE

La dureté n'est pas une propriété simple des aciers mais elle caractérise la résistance à la déformation.

Les valeurs repères obtenues permettent des classements et peuvent être reliées dans une certaine mesure aux caractéristiques de traction.

La commodité des mesures et leur caractère semi-destructif justifient largement leur emploi surtout pour contrôler l'état d'un métal, en particulier les traitements thermiques. Il faut d'ailleurs noter que, dans certain cas, toute autre mesure est impossible (pièces non découpables, métal trop fragile ou encombrant.....).

Le caractère conventionnel des mesures oblige pour conserver la reproductibilité et la fidélité à suivre des modes opératoires très précis, d'où la grande importance des normes dans ce domaine.

1.1.1. Classification des essais de dureté

On distingue 3 groupes de méthodes de mesure suivant le principe utilisé :

1. Les essais par rebondissement
2. Les essais de pénétration
3. Les méthodes indirectes (magnétiques, ultrasons).

Nous parlerons en particulier des essais de pénétration qui sont les plus importants, nous étudierons les problèmes de conversion entre chaque méthode et nous aborderons avec précaution la correspondance avec l'essai de traction.

1.1.2. Essai par rebondissement

L'essai consiste à mesurer la hauteur du rebondissement d'une bille tombant d'une certaine hauteur sur la surface du métal, en déterminant ainsi la capacité de restitution de l'énergie reçue au cours du choc.

L'essai SHORE reste le plus répandu. Une petite masse d'acier, terminée par un diamant ponctuel arrondi tombe d'une hauteur fixe en glissant dans un tube de verre, et rebondit sur la surface du métal. On mesure la hauteur du rebondissement le plus souvent à la volée, d'où un coefficient d'opérateur important. Cette méthode offre l'avantage d'être légère et mobile, d'où son utilisation sur chantier.

1.1.3. Essais de dureté par pénétration

Ce sont les essais les plus importants. Ils utilisent des pénétrateurs variés et des machines parfois très différentes mais ils ont en commun certains principes :

Il s'agit d'enfoncer un pénétrateur dans un métal à essayer, ce qui demande une charge d'autant plus forte que le métal est dur. Il s'agit donc d'essais de compression mais, pour des raisons de commodité, la charge est constante et l'on apprécie la dimension de l'empreinte.

L'empreinte est d'autant plus petite que le métal est plus dur.

On exprime la dureté sous forme du quotient de la force par la surface de l'empreinte :

$$H = F/S$$

Les divers systèmes se distinguent par le choix de la forme du pénétrateur et sa dimension, la force exercée, la mesure effectuée (surface de l'empreinte ou profondeur), la conversion en dureté grâce à la formule ou non.

Si on exprime la charge en Newtons et la surface en mm², on aurait tendance à exprimer la dureté en N/mm² comme les caractéristiques de traction. Cette pratique dangereuse a été définitivement interdite par les normes qui considèrent avec raison les chiffres de dureté comme conventionnels et sans dimension, c'est-à-dire donnés par une échelle.

On distingue les essais suivants :

- L'essai Brinell qui utilise des billes
- Les essais Rockwell qui utilisent des billes ou des cônes
- Les essais Vickers qui utilisent des pyramides
- Les essais secondaires qui utilisent des pénétrateurs variés.

1.1.4. L'essai Brinell

Une bille en acier extra dur, en acier trempé ou en carbure de tungstène de diamètre D (mm) est imprimée sur une portion plane de la pièce à étudier, sous l'action d'une charge F (daN). On détermine le diamètre de l'empreinte de la calotte sphérique fermée et on déduit la surface S (mm²). La dureté Brinell désignée par le symbole HB s'exprime par :

$$HB = 2 \frac{0,102 \times F}{\pi \times D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \quad (F \text{ en Newtons})$$

Selon les métaux essayés, le diamètre de la bille et l'effort de pénétration varient. Il est recommandé d'utiliser.

Matériaux	Diamètre de la bille D en mm	Force F en daN
Aciers Alliages de cuivre et nickel Les bronzes spéciaux Le malleable	10 5 2.5 1	3 000 750 $187.5 F = 30 D^2$ 30
Laitons Alliages légers	10 5 2.5 1	1 000 250 $62.5 F = 10 D^2$ 10
Cuivres Zinc Alliages légers type Dural	10 5 2.5 1	500 125 $31.25 F = 5 D^2$ 5
Alliages et métaux mous Etain Zinc	10 5 2.5 1	200 50 $12.5 F = 2 D^2$ 2

La vitesse et la durée d'application de la charge ont une influence non négligeable sur le résultat obtenu.

Dans l'essai Brinell un certain nombre de précautions doivent être prises afin d'éviter de nombreuses causes d'erreurs.

A) enlever la croûte qui recouvre toute pièce de fonderie ou toute pièce ayant subi un traitement thermique

B) l'empreinte ayant autour d'elle un effet d'écroutissage il faudra espacer les emplacements des essais d'environ 3 fois le diamètre de l'empreinte et avoir une épaisseur de pièce au moins égale au double du diamètre de l'empreinte.

C) éviter l'emploi de cet essai pour les métaux très durs ($H > 500$) car la bille se déforme.

1.1.5. L'essai ROCKWELL

Les machines ROCKWELL utilisent de petits pénétrateurs avec des charges relativement faibles, elles sont donc compactes et assez commodés ; on ne mesure pas le diamètre de l'empreinte mais sa profondeur, avec un comparateur au micron.

La dureté s'exprime d'ailleurs directement en fonction de la profondeur et le cadran est gradué en conséquence.

Ce qui rend ces essais un peu plus délicats, c'est la nécessité d'une pré-charge pour mettre le comparateur à zéro.

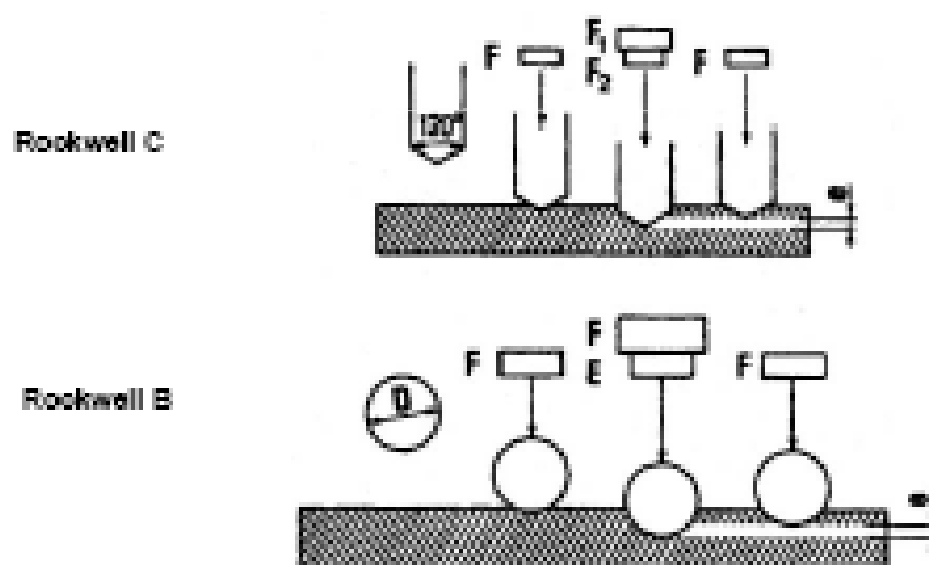
Un des avantages est la lecture directe de la dureté, donc il n'est pas besoin de tables. L'état de surface nécessaire doit être bien meilleur qu'en essai Brinell, de même le parallélisme des faces de l'échantillon ou du montage est important.

Pour les essais ROCKWELL B et C la pré-charge est de 98 N.

	Pénétrateur	Charge totale	Lecture
ROCKWELL B	Bille de 1/16e de pouce soit 1.59 mm	100 daN 980 N = 98 + 882	HRB = 100 - e
ROCKWELL C	Cône de diamant d'angle au sommet 120°, la pointe a un rayon de 0.2 mm	150 daN 1470 N = 98 + 1 372	HRC = 130 - e

Remarque : e est l'accroissement de profondeur exprimé en unités égales à 0.002 mm.

Le schéma de l'essai est donné sur la figure ci-dessous :



La mesure comporte :

- La mise en contact du pénétrateur à la surface grâce à la précharge avec mise au zéro de l'indicateur.
- L'imposition de la charge telle que : précharge + surcharge = charge totale.
- Puis retour à la précharge et lecture de l'indicateur d'enfoncement.

Application du procédé :

- L'essai Rockwell B s'applique aux aciers dont la résistance est comprise entre 300 et 980 N/mm².
- L'essai Rockwell C s'applique aux aciers dont la résistance est supérieure à 980 N/mm².

TABEAU DES ESSAIS USUELS DE DURETE ROCKWELL

Type	Symbole	Pénétrateur	Charge N (kgf)	Formule (F en newtons)	Unités	Observation
Rockwell	B	bille acier 1,5875 mm	98 + 832 = 930 (10 + 90 = 100)	HRB = 130 - e	sans	
	C	cône diamant 120°	98 + 1 372 = 1 470 (10 + 140 = 150)	HRC = 100 - e	sans	
Rockwell 30 T	HR 30 T	bille 1,5875 mm	29 + 265 = 294 (3 + 27 = 30)	HR 30 T = 100 - e	sans	Produits minces
Rockwell 30 H	HR 30 H	Cône diamant 120°	29 + 265 = 294 (3 + 27 = 30)	HR 30 H = 100 - e	sans	"

1.1.6. L'essai VICKERS

Cet essai s'apparente beaucoup à l'essai Brinell. On mesure les dimensions de l'empreinte laissée par un pénétrateur. Le pénétrateur à base carrée en diamant, d'angle au sommet 136°. La loi de similitude est automatiquement respectée; on obtient donc des empreintes géométriquement semblables quand on fait varier la charge, d'où une valeur sensiblement constante pour la dureté.

L'empreinte est carrée, on mesure, grâce à un microscope (en général incorporé à l'appareil), les 2 diagonales; la moyenne donne la dureté par la formule ci-après :

$$HV = 18544 \frac{0.102 F}{d^2} \text{ avec } F \text{ en Newton}$$

d : moyenne des 2 diagonales

Des tables donnent directement HV en fonction de d pour une valeur de F.

La charge la plus courante est 294 N (30 daN) mais on a intérêt à choisir une charge qui donne une empreinte de tailles suffisante. Les normes autorisent la gamme 49 à 980 N (5 à 100 daN).

Pour les contrôles de dureté des soudures, il est employé HV5 et HV10.

La préparation de la surface doit être soignée, ce qui oblige en général à une rectification et à un polissage de la surface. C'est le grand défaut de l'essai VICKERS qui est par contre certainement le plus précis.

Remarque :

la dureté Vickers sous faible charge, c'est à dire 0.98 N et 49 N (HV1 et HV5) est de plus en plus utilisée. Elle est réalisée sur des machines spéciales avec des microscopes grossissant davantage que les machines classiques. Cela permet des mesures locales (petites éprouvettes), des filiations de dureté surtout en zones affectées par la chaleur (soudure).

L'espace minimum entre deux essais est d'environ $2,5 \times d$.