

Etude des principaux essais

Généralités

Les matériaux employés dans les constructions :

1. **Constructions civiles** : ponts, bâtiments, routes, etc.
 2. **Constructions mécaniques** : meuleuses, tours, fraiseuses, etc.
 3. **Constructions d'engins** : avions, fusées, automobiles, etc., doivent résister à des forces dites de sollicitations qui tendent à les déformer, les user ou même à les briser.
- L'étude de leurs propriétés mécaniques appelées **caractéristiques** donne un intérêt capital.

But de la résistance des matériaux

4. Faire le choix des matériaux employés dans une construction donnée.
5. Déterminer les formes et les dimensions des pièces pour obtenir des constructions solides et économiques, c'est-à-dire, **le poids de matière le plus faible avec la plus grande résistance possible.**
6. Les traitements thermiques ou autres.
7. Mesurer ou évaluer les déformations subies par ces pièces.
8. Calculer la grandeur et le sens des sollicitations exercées sur une section donnée de la pièce, sollicitations qui sont habituellement évaluées :

Système SI [N/mm²]

2.1.	Essai de traction	69
2.1.1.	Détails des éprouvettes	69
2.1.2.	Diagramme de l'essai de traction	70
2.1.3.	Facteur de sécurité n	72
2.2.	Essai de dureté	74
2.2.1.	Essai Brinell	74
2.2.1.1.	Relation entre la dureté HB et l'essai de traction	77
2.2.1.2.	Procès-verbal d'essai	77
2.2.2.	Essai Vickers	78
2.2.2.1.	Procès-verbal d'essai	78
2.2.3.	Essai Rockwell	81
2.2.3.1.	Procès-verbal d'essai	84
2.2.4.	Essai Knoop	86
2.2.5.	Tableau de comparaison	88
2.3.	Essai au choc	88
2.3.1.	Eprouvette	88
2.3.2.	Machine	88
2.3.3.	Essai	88
2.4.	Essai de pliage	90
2.4.1.	Eprouvette	90
2.4.2.	Procès-verbal	90
2.5.	Essai d'emboutissage	92
2.5.1.	Essai Erichsen	92
2.5.2.	Essai Persoz	92
2.5.3.	Procès-verbal	92
2.5.4.	Emploi	92
2.6.	Essai de fatigue	94
2.6.1.	Essai de fatigue par flexion rotative	94
2.6.2.	Courbe Wohler	94
2.6.3.	Résultats obtenus	94
2.7.	Essai de fluage	96
2.7.1.	Procès-verbal	96
2.8.	Essai aux rayons X	98
2.8.1.	Emplois	98
2.9.	Gammagraphie	100
2.9.1.	Emplois	100
2.10.	Ultra-sons	100
2.10.1.	Ondes sonores	102
2.10.2.	L'effet « piézo-électrique »	102
2.10.3.	Différentes méthodes de contrôle des pièces	102
2.10.4.	Utilisations	103
2.10.5.	Choix de la fréquence	103
2.11.	Fluorescence	103
2.11.1.	Emploi	103
2.12.	Macrographie	104
2.12.1.	Polissage	104
2.12.2.	Attaque lente	104
2.12.3.	Attaque rapide	104
2.12.4.	Attaque par impression	104
2.12.5.	Procès-verbal	104
2.13.	Micrographie	106
2.13.1.	Polissage	106

2. 1. Essai de traction

Essai statique. VSM 10 921.

Définition

Une éprouvette de la matière à contrôler, de forme et de dimensions déterminées, est soumise à l'aide d'une machine spéciale à un effort de traction pur, suivant l'axe géométrique de l'éprouvette, augmentant lentement jusqu'à la rupture.

Pour éviter toute action dynamique, l'augmentation de la sollicitation ne doit pas excéder 10 N/mm² de section par seconde.

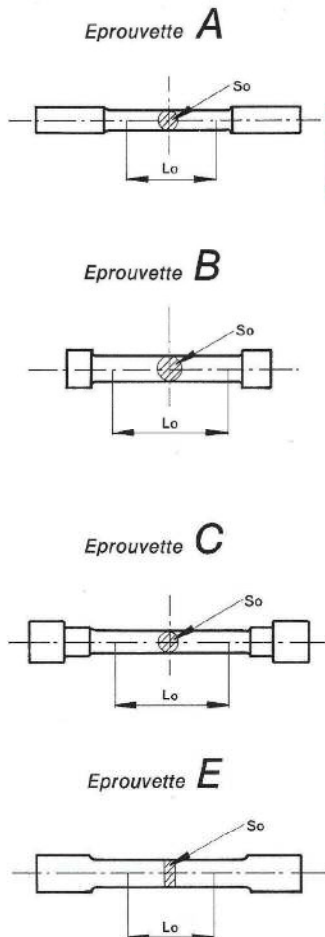
La température reste pratiquement invariable au cours d'un même essai. Des appareils adaptés à la machine permettent de mesurer à chaque instant l'effort de traction, c'est-à-dire la charge et l'allongement correspondant de l'éprouvette.

2. 1. 1. Détails des éprouvettes

Il est à noter que les résultats des essais dépendent non seulement de la sensibilité des appareils utilisés, mais encore des précautions prises au cours du prélèvement et de l'usinage des éprouvettes.

Ces dernières devront toujours être terminées par une passe de finition destinée à enlever toutes les amorces de rupture que constituent toujours les traits d'outils, cette phase de finition comprendra un polissage à la toile abrasive à grains fins ou une rectification à la meule.

Pour l'usinage, ébauche ou finition, l'emploi d'un bon arrosage est indiqué.



2. 1. 2. Diagramme de l'essai de traction

(fig. 2-6)

Les machines de traction donnent l'enregistrement graphique de l'allongement de l'éprouvette (A [%] ou [mm]) en fonction de la charge F [N].

Selon la section de l'éprouvette, il est possible de déterminer la tension R (appelée également charge unitaire ou contrainte), quotient de la charge F [N] par la section So [mm²].

1^{re} période. Domaine élastique

Selon la loi de Hooke, les allongements sont proportionnels aux charges unitaires; si l'effort de traction devient 2 ou 3 fois plus grand, l'allongement devient également 2, respectivement 3 fois plus grand (fig. 2-1).

Domaine élastique: la déformation subie sous l'effort de traction ne persiste pas après enlèvement de cet effort; l'éprouvette reprend sa longueur primitive, d'où persistance de la cohésion moléculaire. Mais le dérangement cristallin pour certains matériaux n'est pas instantané, il doit se produire à ce moment un certain trouble, d'où difficulté de définir exactement la limite d'écoulement. On considérera à sa place la charge unitaire pour laquelle l'allongement permanent est de 0,2% de Lo (fig. 2-2).

2^e période. Domaine des déformations permanentes

Domaine plastique; l'éprouvette reste allongée après suppression de l'effort, autrement dit: sa déformation est permanente. C'est la période des grands allongements qui croissent plus vite que les

charges, d'où diminution de la section. La charge maximum F, en [N], est la plus grande charge supportée par l'éprouvette au cours de l'essai.

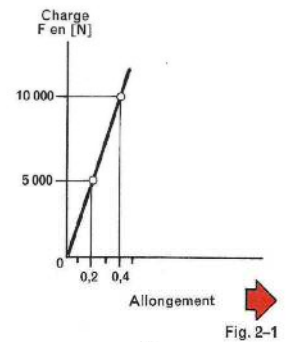


Fig. 2-1

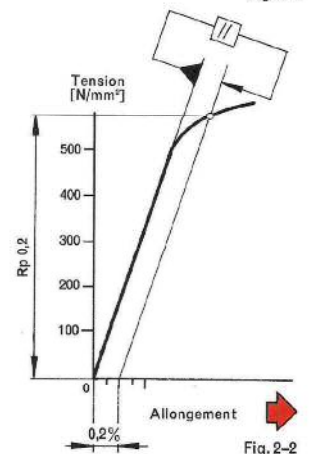


Fig. 2-2

3^e période. Striction et rupture

Apparition du phénomène de striction ou diminution localisée de section (fig. 2-3).

La striction est accompagnée d'une diminution de la charge agissant sur l'éprouvette, jusqu'à rupture de l'éprouvette.

Un matériau cassant ne peut être déformé, un tel matériau se casse en pratique avant que ne se produise aucune striction.

Exemple: acier trempé, fonte, etc. (Fig. 2-4.)

Exemple: cuivre, grand allongement. (Fig. 2-5.)

L'allongement spécifique après rupture A

Exprimé en pour-cent est l'allongement permanent de l'éprouvette rompue ($L_u - L_0$) divisé par la longueur initiale entre repère L_0 . Il est déterminé par la formule:

$$A [\%] = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100$$

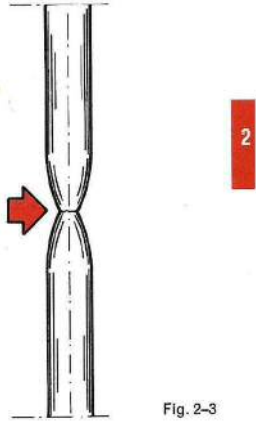


Fig. 2-3

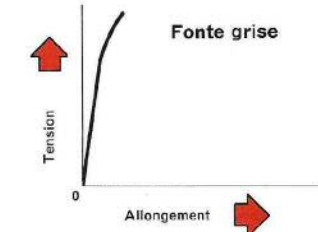


Fig. 2-4

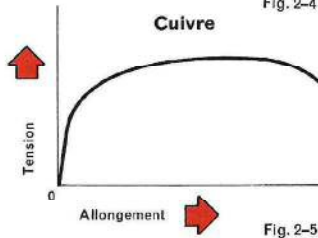


Fig. 2-5

Tensions

La tension, ou charge unitaire, exprimée en N/mm^2 est le quotient de la charge par la section initiale S_0 de l'éprouvette et cela à chaque instant de l'essai.

Remarquons que la charge ne signifie rien sans la surface de la matière (S_0). La tension est une grandeur très représentative puisque l'on peut s'imaginer le nombre de N « attachés » à chaque millimètre carré de matière sollicité en traction.

A chaque charge correspond donc une tension dans le diagramme de la figure 2-6. La plus importante est la tension correspondant à la charge maximum F : elle est désignée par le terme de **résistance à la traction**

$$R_m [N/mm^2] = \frac{F_m}{S_0}$$

2. 1. 3. Facteur de sécurité n

La matière ne peut raisonnablement être utilisée en dehors du domaine élastique (1^{re} période de la figure 2-6). Or, la matière est caractérisée très souvent par sa résistance à la traction R_m .

En introduisant la notion de **facteur de sécurité n**, il apparaît alors une tension R_{adm} en posant

$$R_{adm} = \frac{R_m}{n}$$

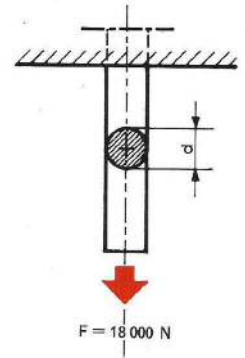
Cela signifie que R_{adm} est inférieur à la limite d'écoulement, donc dans le domaine élastique (voir exemple pour $n=3$, fig. 2-6).

Remarque

Plus n est grand, plus la sécurité de la construction augmente, tout en se souvenant que le poids de matière augmente également!

Exemple de calcul à la traction

Calculer le diamètre (d) du barreau, Ac 45-2, sollicité en traction par une charge (F) de 18 000 N avec une sécurité (n) de 5.



Solution

La dénomination Ac 45 signifie que son $R_m = 450 [N/mm^2]$.

Par définition, nous pourrions poser:

$$R_{adm} = \frac{R_m}{n} = \frac{450}{5} = 90 [N/mm^2]$$

$$Section (S_0) = \frac{F}{R_{adm}} = \frac{18000}{90} = 200 mm^2$$

$$d = 15,95 mm$$

Réponse

$d = 16 mm$, arrondi suivant le stock des barres d'acier disponibles.

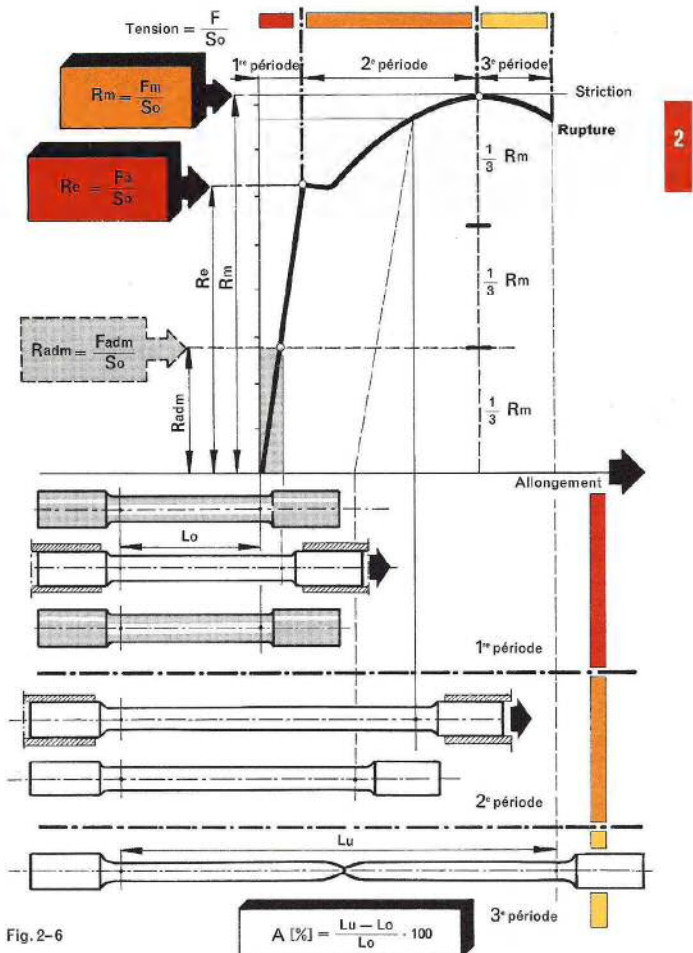


Fig. 2-6

2. 2. Essais de dureté

Généralités

La dureté, de symbole **H**, d'un métal peut être définie par la résistance qu'il offre à la pénétration sous pression (statique) ou avec choc (dynamique) d'un autre corps de matière plus dur que le métal à essayer.

On préfère dans la majorité des cas utiliser des procédés permettant la mesure sans choc, soit d'un diamètre d'empreinte du pénétrateur:

- 2.2.1 Dureté BRINELL
- 2.2.2 Dureté VICKERS
- 2.2.3 Dureté ROCKWELL bille
- Dureté ROCKWELL cône

Ces essais, pour la plupart non destructifs, trouvent leurs applications dans les cas suivants:

1. Dureté des métaux à usiner: **Brinell, Rockwell bille**
2. Efficacité d'un traitement thermique: **Rockwell, Vickers**
3. Dureté d'un traitement de surface, cémentation, nitruration, recouvrement: **Vickers**

Remarque

La préparation de la surface qui recevra le pénétrateur doit être l'objet de grands soins. Elle doit être polie, en évitant tout échauffement et tout écrouissage superficiels.

2. 2. 1. Essai Brinell

Symbole HB

Le pénétrateur est une bille en acier trempé.

Principe

Amener la bille en contact avec la surface à essayer (fig. 2-7).

Charger la bille, **progressivement et sans choc**, d'un poids correspondant au diamètre de la bille, de manière à atteindre la charge maximum en 15 secondes.

Maintenir cette charge pendant 15 secondes pour les aciers, et 30 secondes pour les métaux non ferreux. Mesurer l'empreinte laissée par la bille, au centième de millimètre près, au moyen d'un microscope à oculaire micrométrique.

La dureté HB est exprimée par le rapport de la charge appliquée sur la bille, par la surface de l'empreinte dans la matière.

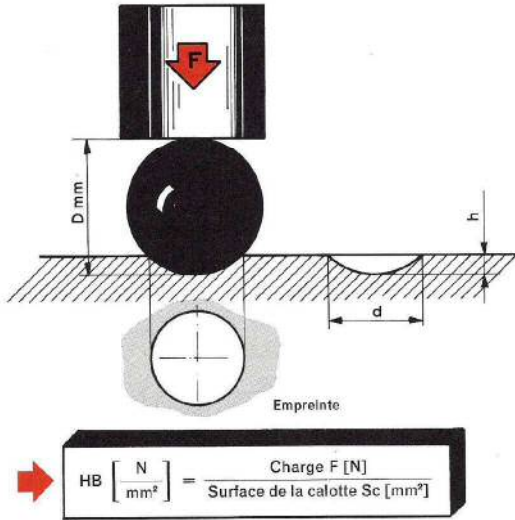


Fig. 2-7

Développement (fig. 2-8)

Surface de l'empreinte = Surface de la calotte Sc

$$Sc = \pi \cdot D \cdot h$$

$$h = \frac{D}{2} - y = \frac{D}{2} - \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{D}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{D^2 - d^2} = \frac{D - \sqrt{D^2 - d^2}}{2}$$

$$Sc = \frac{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}{2}$$

$$HB \left[\frac{N}{mm^2} \right] = \frac{F [N]}{Sc [mm^2]}$$

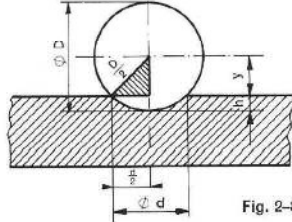


Fig. 2-8

Remarques

Il est recommandé de ne soumettre à l'essai BRINELL que des matières dont la duraté est inférieure à 4000 N/mm² ou la résistance à la traction d'environ 1400 N/mm² (tableau 2-10).

Choisir la charge de façon que l'empreinte laissée par la bille soit de: $d = 0,3D$ à $0,6D$

La distance des centres de deux empreintes voisines doit être égale à 3 d au moins et 2 d du bord de la pièce (fig. 2-9).

On ne doit en aucun cas constater une déformation à l'envers de la face portant l'empreinte.

Pour les essais, on prend la moyenne des résultats donnés par au moins deux, généralement trois empreintes voisines.

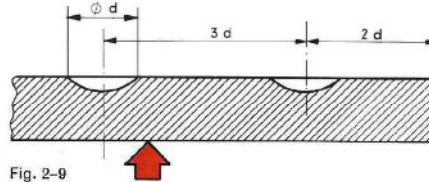


Fig. 2-9

Tableau 2-10

Diamètre de la bille D mm	Épaisseur à l'endroit de l'essai mm	Charge F en N			
		Acier et fonte F = 300 D²	Cuivre et ses alliages F = 100 D²	Métaux légers F = 50 D²	Métaux tendres F = 25 D²
10	plus de 6	30 000	10 000	5 000	2 500
5	plus de 3	7 500	2 500	1 250	625
2,5	moins de 3	1 875	625	312,5	156

2. 2. 1. 1. Relation entre la dureté HB et l'essai de traction

La relation entre la dureté HB et l'essai de traction, seulement pour les aciers au carbone ou les aciers faiblement alliés, est sensiblement égale au tiers de la dureté BRINELL.

Cette relation ne signifie pas que l'essai BRINELL remplace l'essai de traction.

2. 2. 1. 2. Procès-verbal d'essai

Le symbole HB désigne l'essai normal: bille de 10 mm de diamètre chargée à 30 000 N pendant 15 secondes.

Le symbole HB suivi de chiffres rappelle les conditions de l'essai:
Exemple: HB 5/750/15.
Bille de 5 mm de diamètre chargée à 7500 N pendant 15 secondes.

Important

Les valeurs numériques HB dans les tableaux des aciers sont exprimées aux 1/10 de la résistance à la pénétration [N/mm²].

Exemple:
Résultat obtenu 2010 [N/mm²]=HB 201.

2. 2. 2. Essai Vickers

DURETÉ VICKERS

Symbole HV

Le pénétrateur est un diamant taillé en forme de pyramide à base carrée dont l'angle des faces est de 136°.

Principe (Fig. 2-11)

La pyramide en diamant est amenée en contact avec la surface à essayer. Charger cette pyramide graduellement, sans choc et sans vibrations, à la charge maximum fixée.

En règle générale, maintenir cette charge pendant 15 secondes.

Mesurer l'empreinte laissée par la pyramide avec des appareils de haute précision munis de microscopes.

Le tambour divisé et le vernier donnent la longueur de la diagonale au dix millième de millimètre.

La dureté HV est le rapport de la charge appliquée sur le pénétrateur à la surface de l'empreinte laissée par la pyramide.

Remarques

Le contrôle de la dureté VICKERS est un des plus précis.

Il est utilisé pour les carbures métalliques ou l'efficacité d'un traitement thermique.

Il convient pour le contrôle de pièces très petites et surtout de très faible épaisseur.

Les charges généralement utilisées sont: 50 N, 100 N, 300 N, 500 N.

La dureté VICKERS est pratiquement indépendante de la charge exercée, les résultats obtenus avec des charges différentes sont comparables entre eux.

Il faut éviter d'utiliser la méthode VICKERS pour déterminer la dureté de la fonte malléable et de la fonte grise riche en carbone ou en graphite.

2. 2. 2. 1. Procès-verbal d'essai

Le symbole HV 30 exprime la dureté VICKERS mesurée sous une charge de 300 N exercée pendant 15 secondes. Le symbole HV 30/30 rappelle les conditions de l'essai: 300 N pendant 30 secondes.

Important

Les valeurs numériques HV dans les tableaux des aciers sont exprimées aux 1/10 de la résistance à la pénétration [N/mm²].

Exemple:
Résultat obtenu 4100 [N/mm²]=HV 410.

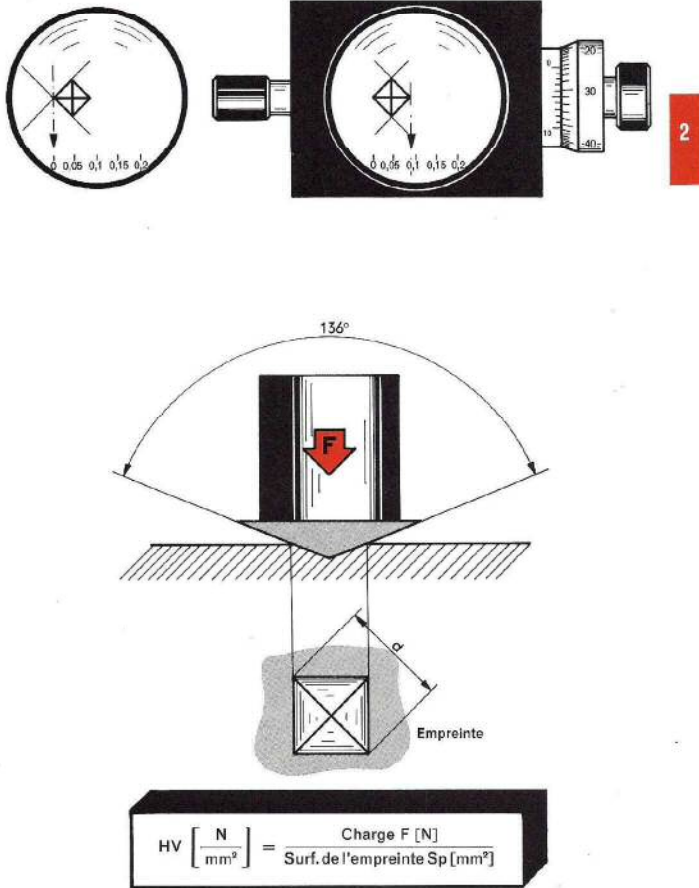


Fig. 2-11

Développement
Fig. 2-12

Surface de l'empreinte = Surface de la pyramide Sp

$$S_p = 4 \frac{a \cdot d}{2 \cdot \sqrt{2}}$$

$$a = \frac{d}{2 \cdot \sqrt{2} \cdot \cos 22^\circ}$$

$$S_p = \frac{d^2}{2 \cdot \cos 22^\circ} = \frac{d^2}{1,854}$$

$$HV \left[\frac{N}{mm^2} \right] = \frac{F [N]}{S [mm^2]}$$

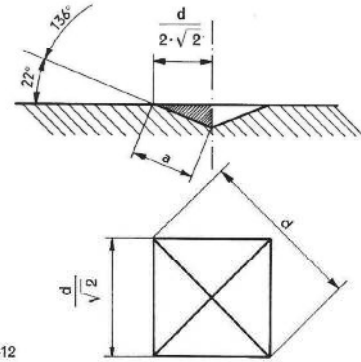


Fig. 2-12

2. 2. 3. Essai Rockwell

DURETÉ ROCKWELL BILLE

Symbole HRB

Le pénétrateur est une bille en acier trempé de diamètre 1,59 mm, exactement 1/16 de pouce anglais (fig. 2-13).

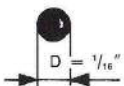


Fig. 2-13

Principe (Fig. 2-15)

Le pénétrateur est amené en contact avec la surface à essayer et enfoncé progressivement avec une charge initiale: F₀ = 100 N.

On amène le zéro du cadran en face de l'aiguille et le pénétrateur est soumis à une charge supplémentaire F₁:

F₁ pour HRB = 900 N
F₁ pour HRC = 1400 N

Pour atteindre progressivement de 3... à 6 secondes la charge totale F :

F pour HRB = 100 + 900 = 1000 N
F pour HRC = 100 + 1400 = 1500 N

Lorsque l'aiguille, qui se déplace dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, s'est arrêtée, on supprime la charge supplémentaire F₁ pour ne laisser que la charge initiale F₀.

En raison de la suppression des déformations élastiques de la matière, le pénétrateur remonte légèrement, l'aiguille du comparateur revient en arrière.

DURETÉ ROCKWELL CONE

Symbole HRC

Le pénétrateur est un cône de diamant dont l'angle au sommet est de 120°, l'extrémité est une calotte sphérique de rayon 0,2 mm (fig. 2-14).

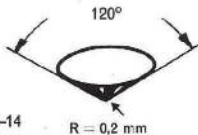


Fig. 2-14

Remarques

La dureté ROCKWELL n'est pas indiquée pour les fontes malléables ou grises riches en carbone ou graphite.

2. 2. 3. 1. Procès-verbal d'essai

Le symbole HRB désigne l'essai ROCKWELL bille.
Le symbole HRC désigne l'essai ROCKWELL cône.

La dureté ROCKWELL est indiquée directement sur le cadran par la position de l'aiguille.

L'échelle pour HRB est de 130 divisions.
L'échelle pour HRC est de 100 divisions.
Pour avoir une mesure précise, une division correspond à une différence de profondeur de 0,002 mm (fig. 2-15).

Dureté HRC = 100 divisions — la profondeur e

Exemple: HRC 60
Profondeur de l'empreinte e:
100 - 60 = 40
40 x 0,002 = 0,08 mm

Dureté HRB = 130 divisions — la profondeur e

Exemple: HRB 80
Profondeur de l'empreinte e:
130 - 80 = 50
50 x 0,002 = 0,1 mm

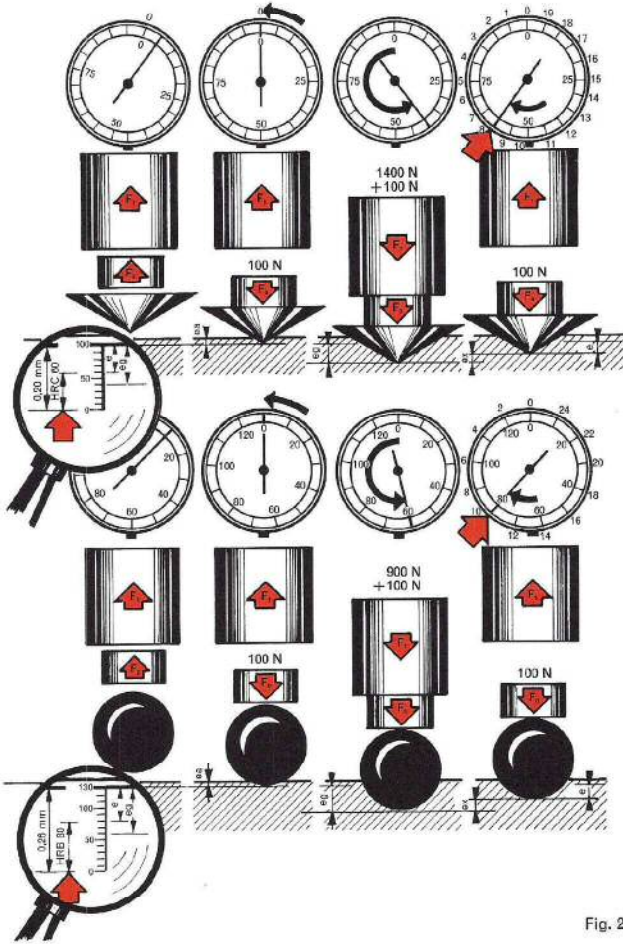


Fig. 2-15

2. 2. 4. Essai Knoop

DURETÉ KNOOP

Le pénétrateur est un diamant taillé en forme de pyramide à base de losange et dont la grande diagonale est 7,11 fois plus grande que la petite diagonale. L'angle correspondant à la grande diagonale est de $172^{\circ} 30'$ tandis que l'angle formé par les deux autres arêtes est de 130° . Fig. 2-15.

Principe

Les charges sur le diamant sont en rapport avec la nature de l'essai. On mesure l'empreinte laissée par la grande diagonale au moyen d'un microscope spécial.

Une table fournit le chiffre de dureté Knoop en fonction de la charge et de la longueur de la grande diagonale.

Remarques

L'avantage de l'essai Knoop est de permettre l'essai de matériaux très durs et en même temps fragiles.

La dureté Knoop est intéressante en horlogerie pour mesurer la dureté des pivots ou des lames de ressorts dont les diamètres, respectivement les épaisseurs, sont de l'ordre de quelques centièmes de millimètre.

On l'utilise aussi pour déterminer la dureté des pierres employées en horlogerie.

Shore
 R'essai de dureté Shore n'endommage pas la pièce. YP se fait en tombant, d'une certaine hauteur, une bille en acier trempé sur la pièce à contrôler et en mesurant la hauteur du rebond.

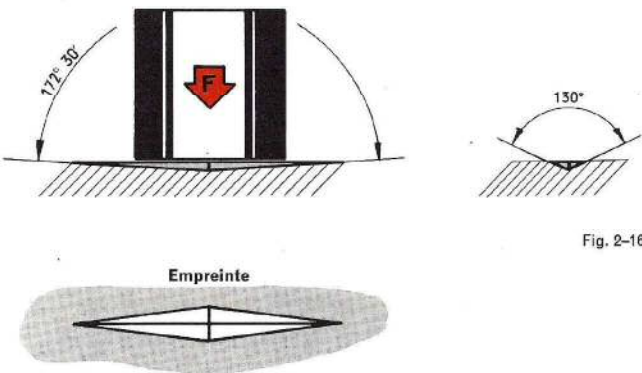


Fig. 2-16

2. 2. 5.

Tableau de comparaison

Les chiffres de cette table ne sont que des valeurs de comparaison et ne sont donnés qu'à titre indicatif.

Résistance à la traction Rm N/mm ²	Birrell F = 30 000 N	HB	HRB F = 1000 N	Rockwell F = 1500 N	HRC F = 1500 N	Vickers F = 300 N	HV**
380	d	111	84				
390	5,60	114	66				
390	5,95	116	67				
400	5,60	118	68				
410	5,48	121	69				
420	5,40	123	70				
430	5,38	125	71				
440	5,30	128	72				
450	5,25	128	73				
460	5,20	131	74				
470	5,15	137	75				
480	5,10	140	77				
490	5,05	143	78				
500	5,00	146	79				
510	4,95	148	80				
520	4,90	150	82				
530	4,85	152	83				
540	4,80	156	84				
550	4,75	159	85				
560	4,70	163	86				
570	4,65	167	87				
580	4,60	170	88				
590	4,55	174	89				
600	4,50	179	90				
610	4,45	183	91				
620	4,40	187	92				
630	4,35	192	93				
640	4,30	197	94				
650	4,25	201	95				200
660	4,20	207	96				205
670	4,15	212	97				210

Echelle de Mohs

1. talc
2. gypse
3. calcite
4. fluorine
5. apatite
6. orthose
7. Quartz hyalin
8. topaze blanche
9. corindon
10. diamant

Une forte dureté 250 Birrell correspond à la topaze sur l'échelle de Mohs.

Un minéral de dureté 7,4 sera rayé par la topaze blanche, non pas le quartz hyalin.

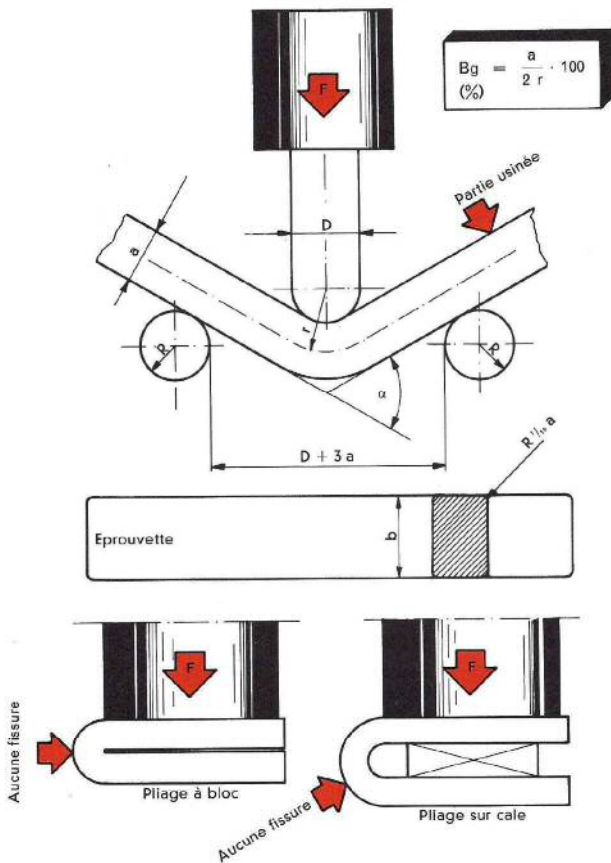


Fig. 2-19

2. 5. Essai d'emboutissage

Généralités

L'essai consiste à se rapprocher des conditions pratiques d'emboutissage. La tôle est à la fois refoulée et étirée, elle subit donc un effort différent de l'essai de traction.

Principe

L'essai consiste à appliquer, au centre d'une éprouvette, un poinçon ou une bille de $\varnothing 20$, qu'un effort mécanique ou hydraulique presse progressivement jusqu'à l'apparition des premières fissures.

2. 5. 1. Essai Erichsen (fig.2-20)

L'éprouvette est de forme carrée 70 x 70 mm avec comme épaisseur maximale 2 mm.

On peut également se servir de bandes de 70 mm de largeur.

IMPORTANT: l'éprouvette est laissée libre entre les mâchoires.

2. 5. 2. Essai Persoz (fig. 2-21)

L'éprouvette a un diamètre de 90 mm, avec comme épaisseur maximale 2 mm.

IMPORTANT: l'éprouvette est serrée entre les mâchoires.

2. 5. 3. Procès-verbal

On détermine la force F maximale, ainsi que la profondeur f maximale atteinte lors du déchirement de la pièce d'essai.

2. 5. 4. Emploi

L'essai permet de comparer les propriétés d'étréage (en profondeur) des tôles et bandes métalliques.

Contrôle de la qualité du recuit des tôles: non recuites ou mal recuites, flèche plus petite que la normale.

Essai Erichsen

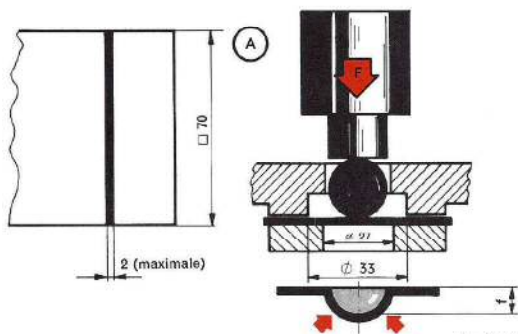


Fig. 2-20

Essai Persoz

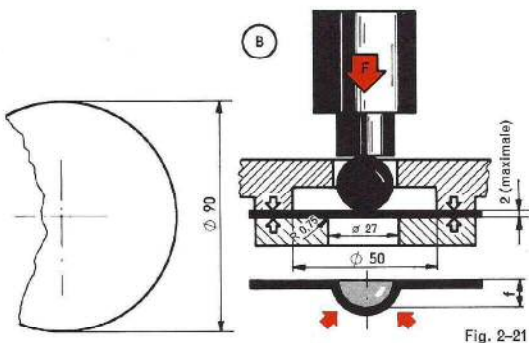


Fig. 2-21

2. 6. Essai de fatigue

Généralités

Les essais de traction, de choc et de dureté ne permettent pas de qualifier les métaux en vue de toutes leurs applications.

Les recherches poursuivies sur la fatigue ont montré l'insuffisance de ces essais.

Les pièces soumises à des efforts variables et répétés se rompent au bout d'un certain temps, sans que jamais la contrainte n'ait dépassé la tension de rupture (R_m) et même la charge limite d'écoulement (R_e).

Il est donc indispensable de faire sur les métaux des essais dans des conditions aussi voisines que possible de leur utilisation.

Ce sont les essais de flexion par rotation qui ont permis de réunir la plus grande partie de la documentation sur la fatigue.

2. 6. 1. Essai de fatigue par flexion rotative (fig. 2-22)

Principe

On soumet à une rotation autour de son axe une éprouvette, de type donné, dont l'extrémité est fixée de façon rigide dans l'arbre du moteur (M) et à l'extrémité de la partie libre est suspendu un poids.

Pendant la rotation, les fibres de l'éprouvette sont alternativement tendues et comprimées.

Important

L'éprouvette est meulée pour ne pas avoir d'amorces de cassure dues au tournage.

Exemple: la fibre « A » est tendue et la fibre « B » comprimée, pour un demi-

tour la fibre « A » devient comprimée et la fibre « B » tendue. Le taux de travail est maximum pour les fibres de la périphérie.

Limite de fatigue

Si l'éprouvette n'est pas rompue au bout d'un nombre d'alternances conventionnelles, 10-20-30 ou 100 millions suivant le métal à essayer, la charge appliquée est inférieure ou égale à la limite de fatigue.

Alternance

Deux variations de l'effort F (tendu et comprimé). (Fig. 2-22)

2. 6. 2. Courbe Wöhler (fig.2-22)

On essaie une série d'éprouvettes du même métal avec des charges décroissantes (F 1 - F 2 - F 3, etc.) et l'on note pour chacune d'elles les nombres croissants correspondant d'alternances où la rupture a lieu ou n'a pas lieu. Chaque éprouvette est soumise à une seule charge pendant toute la durée de l'essai.

2. 6. 3. Résultats obtenus

Influence de l'état de surface

Les rayures d'outil constituent des amorces de cassure, elles diminuent dans des proportions assez grandes la limite de fatigue.

Changements brusques de section

Les trous, les entailles ont une influence sur la tenue des pièces soumises aux efforts variables.

Certains traitements thermiques

Incorrectement exécutés, diminuent également la limite de fatigue.

Influence de la forme des pièces

(x · y · z fig. 2-22)

VSM N°14 330, 14 331 et 14 334.

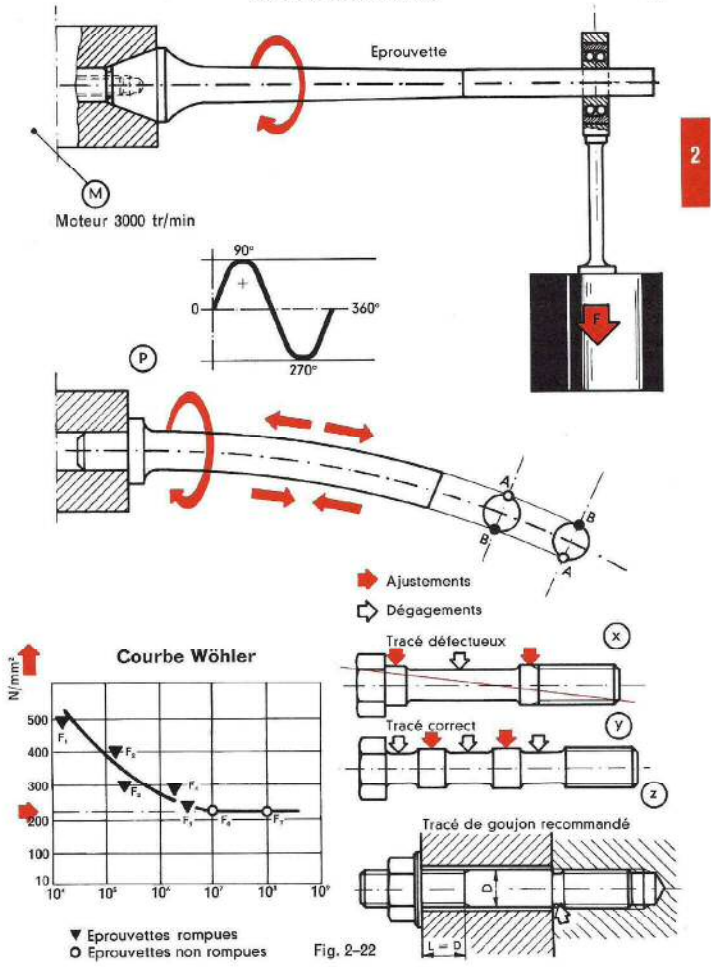


Fig. 2-22

2. 7. Essai de fluage

Généralités

La connaissance des propriétés mécaniques à haute température est d'une grande importance (tableau 2-23).

Un métal ou un alliage soumis à un effort statique continu d'une certaine valeur, se déforme et même se rompt, en fonction du temps à partir d'une certaine température.

Pour les constructions de turbines à gaz, turboréacteurs, des soupapes de moteurs à explosions subissant une charge mécanique pendant de longues périodes, à hautes températures, il faut tenir compte non de la limite d'élasticité mais de la résistance au fluage.

Principe

On soumet plusieurs éprouvettes de traction à une charge et une température constantes pendant un temps de: 1° 45 heures pour les essais de courte durée.

2° 10 000 heures pour les essais de longue durée.

En variant les charges et en relevant l'allongement temps, on peut déterminer la résistance au fluage (tableau 2-24).

2. 7. 1. Procès-verbal

La résistance au fluage est la charge statique maximale que peut supporter indéfiniment une éprouvette sans qu'il y ait rupture. Toutefois, les valeurs ainsi déterminées sont si basses qu'elles ne peuvent utilement servir au calcul des dimensions des pièces en service. Pour cette raison, on tolère

en général une contrainte des pièces plus élevée, mais parallèlement on décide de limiter la durée d'emploi des pièces.

Température de quelques matériaux au-dessus de laquelle il faut tenir compte du fluage.

Matériaux	Température °C
Acier fondu	350
Fonte	350
« Monel »	350
Alliages de cuivre } Cu Sn	200
	Cu Zn
Alliages d'aluminium	100-200
Plomb } et alliages	< 20
Etain }	
Zinc }	

Tableau 2-23

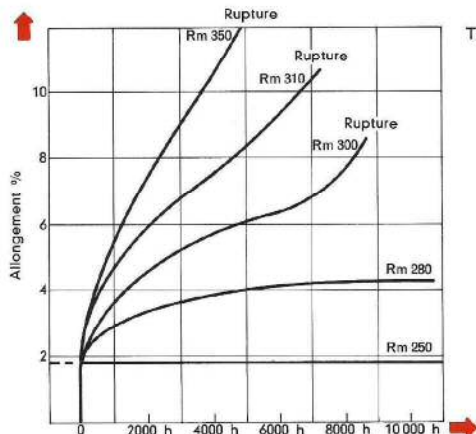


Tableau 2-24

2. 8. Essai aux rayons X

Historique

En 1895, le physicien allemand Röntgen découvrit, par hasard, des rayons capables de traverser la main et un écran fluorescent.

En raison du caractère mystérieux de ces rayons, il leur donna le nom de rayons X.

En 1913, le chimiste américain W. D. Coolidge, inventeur d'un tube cathodique à chaud, vient apporter une très grande amélioration.

Principe (fig. 2-25)

L'émission des rayons X est due au choc d'un faisceau d'électrons projetés à très grande vitesse sur un obstacle matériel.

Le faisceau d'électrons est généralement obtenu dans un tube à émission thermoélectrique (A).

Ce tube est formé d'un ballon de verre portant deux tubulures diamétralement opposées sur lesquelles sont soudées deux électrodes (cathode négative et anode positive).

Il règne dans ce tube un vide aussi poussé que possible, afin de ne pas ralentir les électrons.

La cathode: chargée négativement, est constituée par un filament spiralé de tungstène porté à l'incandescence par un courant à basse tension (B).

A haute température, une évaporation électronique se produit, le métal émet des électrons et d'autant plus que la température est élevée.

L'anode: chargée positivement est une pièce en cuivre taillée obliquement par rapport à l'axe longitudinal du tube, dans laquelle est encastrée une pastille de tungstène (anticathode) ou d'un autre métal à point de fusion élevé.

Les électrons: ils entrent dans la composition de tous les atomes, ce sont des corpuscules chargés négativement auxquels on communique une grande accélération en établissant une forte tension de plusieurs milliers de volts entre les électrodes.

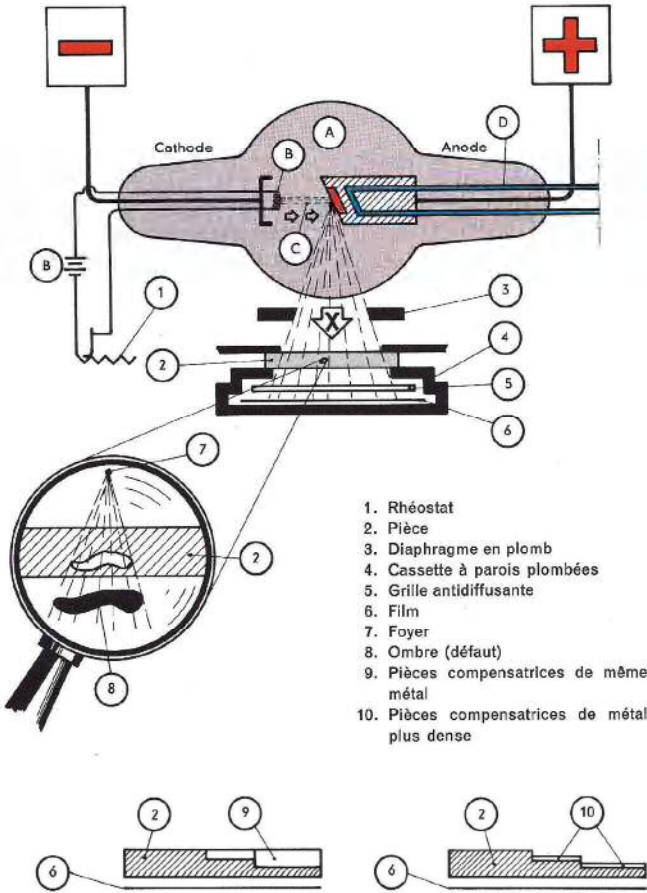
Les électrons sont aspirés par l'anticathode chargée positivement (C).

En frappant l'anticathode, les électrons ou rayon cathodique émettent des rayons X, mais la presque totalité de l'énergie cinétique des électrons est transformée en chaleur.

Cette élévation de température est donc abaissée par une circulation d'eau ou d'huile à l'intérieur de l'anode (D).

2. 8. 1. Emplois

Contrôle de la bonne exécution des soudures. Pour les moulages, décèle les cavités (soufflures, porosités, criques, retassures) et les inclusions (scories, laitier).



1. Rhéostat
2. Pièce
3. Diaphragme en plomb
4. Cassette à parois plombées
5. Grille antidiffusante
6. Film
7. Foyer
8. Ombre (défaut)
9. Pièces compensatrices de même métal
10. Pièces compensatrices de métal plus dense

Fig. 2-25

2. 9. Gammagraphie

Généralités

Les rayons gamma produits par une désintégration de la matière, corps radio-actifs comme le radium, s'apparentent de façon très proche aux rayons X, mais ils ont une force de pénétration considérable. Les rayons gamma peuvent traverser une plaque de plomb de plus de 100 mm d'épaisseur. Pour obtenir des rayons X aussi durs, donc aussi pénétrants, il faudrait une tension de plus de un million de volts.

Principe

On utilise des éléments à radioactivité artificielle créée dans les piles atomiques par un bombardement de neutrons, tels que le radiocobalt 60 avec une durée de cinq ans et le radiotantale 182 de quatre mois de durée. Les éléments créés artificiellement sont aussi efficaces que le radium difficile à obtenir et très onéreux.

2. 9. 1. Emploi

Même emploi que les rayons X. De grosses pièces de fonderie à parois très épaisses (200 mm et plus). On peut mesurer l'épaisseur des parois de récipients métalliques pour voir l'importance des ravages causés par l'oxydation.

Remarques

Ils n'exigent pas l'emploi d'installation compliquée, une surveillance continue en cours d'essai n'est pas nécessaire et la méthode peut être utilisée en n'importe quel endroit des pièces.

Il faut observer les règles de protection contre les rayons gamma, dangereux pour le corps humain.

2. 10. Ultra-sons

Historique: 1880, découverte de l'effet « piézo-électrique » du cristal de quartz par les frères Curie.

1917, Paul Langevin utilise le premier l'effet « piézo-électrique » du cristal de quartz pour produire des **ultra-sons**.

2. 10. 1. Ondes sonores

Généralités (fig. 2-26).

L'**amplitude des vibrations** est indiquée par la distance AB (A).

La **durée de la période** pour la distance CD (A).

Fréquence, nombre de périodes complètes accomplies en une seconde (B). La fréquence se désigne en hertz, kilohertz ou mégahertz.

Exemples: 1 000 000 Hz

1 000 kHz

1 MHz

Ultra-sons, ondes sonores dont la fréquence est supérieure à 20 000 Hz ou 20 kHz.

L'ouïe humaine ne peut capter que les sons dont la fréquence est comprise: entre 16 Hz et 20 000 Hz.

Infra-sons, les sons dont la fréquence est inférieure à 16 Hz.

Les animaux, dont le chien, peuvent entendre des ultra-sons de 30 000 Hz. (Sifflets spéciaux à ultra-sons.)

La **vitesse du son** se propage: Dans l'air à 340 m/s. ou 1224 km/h. Dans l'eau à 1504 m/s. ou 5414 km/h. Dans l'acier à environ 5850 m/s. ou 21 060 km/h.

Echo: lorsque les ondes sonores rencontrent un obstacle fixe, elles se réfléchissent de telle sorte que l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.

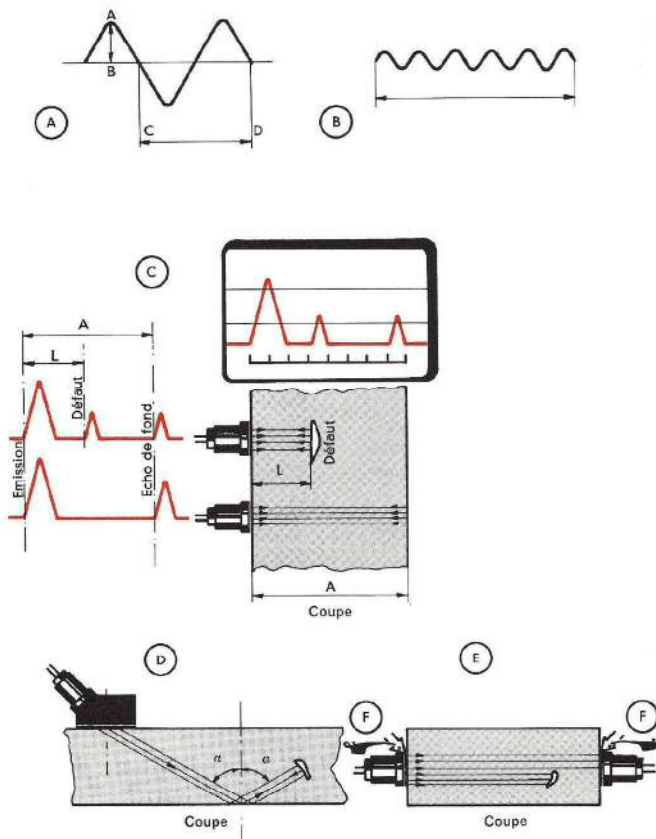


Fig. 2-26

2. 10. 2 L'effet « piézo-électrique »

Lorsque certains cristaux, dont le quartz, taillés spécialement sont soumis à une pression, ils produisent des charges électriques positives sur une des faces et négatives sur l'autre face. Si la pression fait place à la traction, ces charges électriques changent de sens.

En inversant le mécanisme, et en envoyant une charge positive ou négative sur le cristal de quartz, il se dilate ou se contracte.

En appliquant à la lame de quartz une différence de potentiel alternative, la lame se dilate ou se contracte à la cadence des alternatives de la tension électrique.

C'est-à-dire que ces faces vibrent comme une membrane.

Une tension de HF (40 000 Hz) appliquée sur la lame de quartz la fait vibrer à la même fréquence, ce qui produit les **ultra-sons**.

2. 10. 3. Différentes méthodes de contrôle des pièces

1° Méthode par écho ou par réflexion... (C)

Dans cette méthode, on utilise un seul palpeur qui fonctionne en émetteur-récepteur.

En l'absence de défaut, l'onde émise traverse la pièce et se réfléchit sur le fond (face opposée).

L'onde reçue sur le palpeur se traduit sur l'écran du tube cathodique par un écho dit « écho de fond » à une distance fixe de l'image de l'impulsion émise. Lorsqu'un défaut entre dans le champ du faisceau, il se réfléchit et provoque à la fois la disparition totale ou partielle de l'écho de fond et provoque

l'apparition d'un écho dit « de défaut » dont la position par rapport à l'impulsion d'émission indique la profondeur, dans le rapport A/L.

Cette méthode, la plus employée, a l'avantage de ne nécessiter l'accès que sur une seule face de la pièce et de localiser les défauts en profondeur.

2° Sondage en incidence oblique... (D)

Le sondage s'effectue avec un palpeur à prisme.

Lorsque la pièce est homogène, l'onde subit plusieurs réflexions et en général ne revient pas.

En cas de défaut, il y a réflexion sur le parcours et une partie de l'énergie revient sur le palpeur par un trajet analogue.

Cette méthode permet d'explorer des régions difficilement accessibles.

3° Méthode par transparence... (E)

La pièce à examiner est placée entre deux palpeurs, le premier émetteur, le second récepteur.

Si la pièce présente un défaut, la hauteur de l'écho est d'autant plus faible que le défaut est important.

Cette méthode est peu employée car elle nécessite l'accessibilité des deux faces opposées de la pièce. Il faut aussi que les deux faces soient parallèles.

Important

Les ultra-sons sont entièrement réfléchis par une très petite couche d'air. Pour assurer un bon contact acoustique entre la pièce et le palpeur, on interpose un fluide dit « de contact » (graisse, huile, ou eau selon les cas) (F).

2. 10. 4. Utilisations

Recherche d'une teneur de trempe par ondes de surface.
Sondage par écho d'une billette.
Sondage en incidence oblique d'un cordon de soudure, etc.

2. 10. 5. Choix de la fréquence

Le coefficient d'absorption étant proportionnel au carré de la fréquence, il s'ensuit qu'une fréquence élevée pénètre moins profondément qu'une fréquence basse.

Mais une fréquence élevée permettra de mieux déceler les petits défauts. Des essais successifs permettent de connaître rapidement la fréquence la plus convenable en fonction des contrôles à assurer.

Les fréquences de 2 - 4 - 6 MHz s'emploient pour les aciers à grains fins.

Les fréquences de 0,25 - 0,5 - 1 MHz pour les aciers coulés, bronze, matériaux à gros grains.

2. 11. Fluorescence

Généralités

La fluorescence est la propriété d'un produit capable d'émettre de la lumière sous un rayonnement de faible longueur d'onde (notamment les rayons ultraviolets).

Principe

1° On enduit la pièce à contrôler d'un liquide fluorescent (sulfure de zinc).

2° Essuyer la pièce.

3° On éclaire la pièce avec une source de lumière filtrée de façon à ne laisser projeter que les rayons ultraviolets. Toutes les parties resteront noires, sauf: les fentes, les porosités, etc., qui s'éclairciront et l'on pourra les photographier, grâce au liquide fluorescent qui se sera infiltré.

2. 11. 1. Emploi

Pour tous les défauts de surface, ou qui atteignent la surface: trempé, laminage, emboutissage, etc.

Les défauts internes entourés de métal sain ne pourront pas être détectés.

2

2. 12. Macrographie

Examen de la structure.

Echelle des grandeurs le millimètre.

Généralités

La macrographie est un moyen simple et industriel, susceptible de fournir des indications sur les défauts des métaux et sur leur structure interne.

On ne l'utilise généralement que pour les aciers.

Sa technique simple peut être employée dans les ateliers.

Principe

Observation à l'œil nu ou à la loupe d'une surface ou d'un ensemble poli et attaqué par un réactif.

2. 12. 1. Polissage

La surface à observer est soigneusement usinée, sans écrouissage, puis polie à la toile abrasive fine de façon à obtenir une surface n'ayant aucune trace de rayures.

La pièce est débarrassée de tout corps gras par un lavage à l'alcool ou à l'éther.

2. 12. 2. Attaque lente

La pièce est plongée dans le réactif, généralement de l'acide sulfurique dilué à 20%.

Il faut de temps en temps brosser la surface attaquée dans un courant d'eau pour la débarrasser des dépôts adhérents.

L'opération dure quelques heures dans le bain froid.

L'opération est d'environ une demi-heure si le bain est porté à l'ébullition.

2. 12. 3. Attaque rapide

La pièce est badigeonnée à l'aide d'un pinceau du réactif suivant:

Iode	10 gr
Iodure de potassium	20 gr
Eau	100 gr

La durée de l'attaque varie de quelques secondes à quelques minutes.

2. 12. 4. Attaque par impression

Détection de soufre, procédé Baumann. Ce procédé consiste à tremper un papier photographique au bromure d'argent dans une solution d'acide sulfurique à 3%.

On applique la surface polie de la pièce sur le papier durant une minute environ en évitant les glissements et les bulles d'air.

L'épreuve est ensuite lavée à l'eau 10 mn, puis trempée dans un bain de trisulfate de sodium à 20% pendant 10 mn, ce qui dissout l'excès de bromure, puis lavée à l'eau pendant deux heures.

Les taches foncées ainsi formées indiquent la présence de soufre.

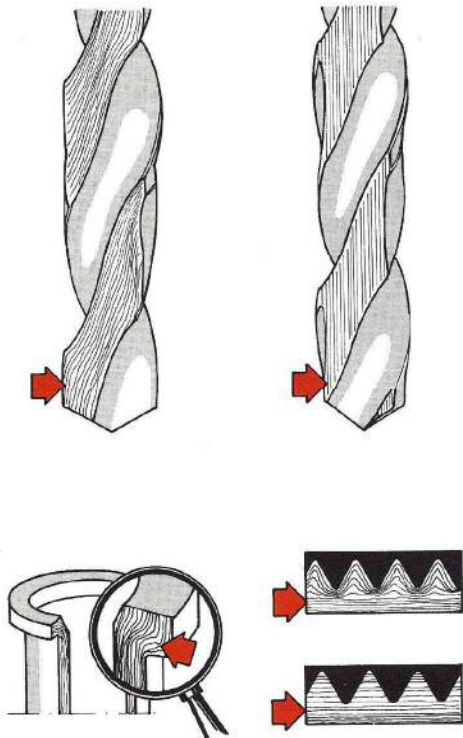
2. 12. 5. Procès-verbal

Déceler les inégalités, les défauts d'homogénéité d'un lingot (scories, retassures, soufflures).

Présence d'éléments néfastes (soufre etc.).

Connaître le mode de fabrication d'après l'orientation des fibres métalliques (forgeage, matriçage, laminage, fig. 2-27).

Les causes de rupture.
L'examen d'une soudure.



2

2. 13. Micrographie

Examen de la structure (fig. 2-28, 2-29).
Echelle des grandeurs, le micron.

Généralités

La micrographie met en évidence la structure des alliages métalliques, ce qui permet de déceler:

- le nombre de leurs constituants, leurs formes, leurs répartitions, leurs dimensions;
- les défauts du métal ou les inclusions qu'il renferme lorsqu'ils sont présents à l'échelle microscopique, porosités, fissures, intercrystallines, silicates, sulfures, oxydes, etc.;
- l'hétérogénéité ou l'homogénéité de la structure;
- l'efficacité des traitements thermiques.

Principe

Observation à l'aide d'un microscope métallographique avec des grossissements qui atteignent couramment 1000, la surface de l'échantillon, polie puis attaquée par des réactifs choisis pour différencier les constituants.

2. 13. 1. Polissage

La préparation des échantillons consiste à réaliser des sections planes et convenablement polies, ne présentant aucune rayure susceptible de gêner l'examen.

A) Polissage mécanique (procédé classique)

Les sections dressées, soit à la meule ou à la lime, sont polies avec du papier abrasif de plus en plus fin, en changeant le sens du polissage de 90°.

On continue le polissage avec une meule de drap ou de feutre, arrosée d'une poudre d'alumine en suspension dans l'eau.

Après le polissage, l'échantillon est soigneusement lavé à l'eau puis à l'alcool et séché.

B) Polissage électrolytique

Les laboratoires utilisent des dispositifs de polissage électrolytiques plus rapides et aussi plus précis que le procédé classique.

Fig. 2-27

Attaque. — L'attaque a pour objet de soumettre l'échantillon à l'action d'un réactif, pour faire apparaître les constituants du métal en les colorant et en provoquant des figures de corrosion. En micrographie, il est fait usage d'un grand nombre de réactifs dont il existe des formules. En voici quelques-uns d'un emploi très répandu.

Matière	Attaque micrographique	Durée d'attaque
Fontes et aciers	Acide nitrique	4 cm ³
	Alcool éthylique	96 cm ³
Alliages cuivreux	Perchlorure de fer	3,5 g
	Acide chlorhydrique	25 cm ³
	Alcool éthylique	75 cm ³
Alliages d'aluminium	Acide fluorhydrique	0,5 %
	Eau, quantité suffisante pour.	100 cm ³

Remarque : Certains constituants apparaissent au microscope sans avoir été attaqués.

Exemple : Le graphite ou carbone libre des fontes.

2

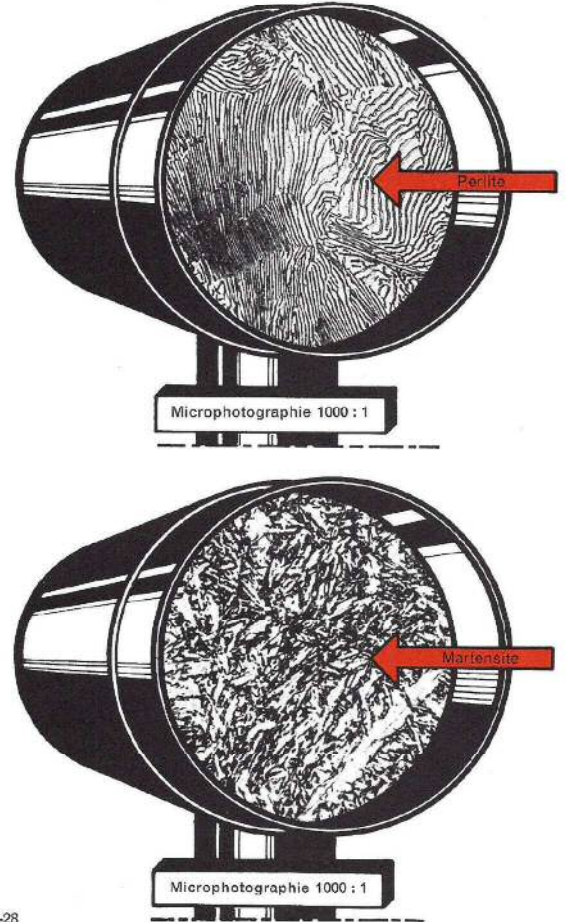


Fig. 2-28

2

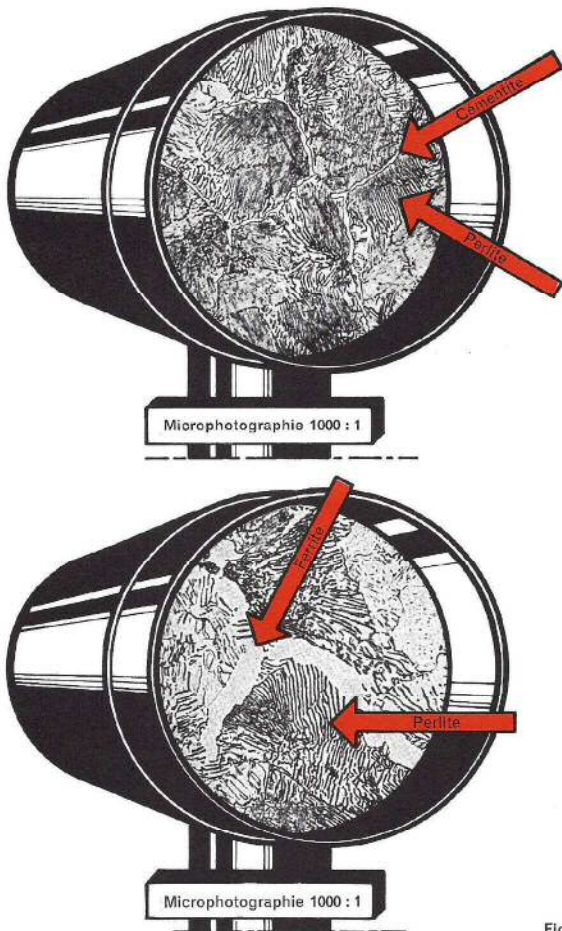


Fig. 2-29