



المؤسسة الوطنية للأشغال البترولية الكبرى

شركة مساهمة رأس المال 6.390.000.000 د ج (فرع سوناطراك)

Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers

Société Par Actions au Capital de 6.390.000.000 DA
(Filiale 100% Sonatrach)



CONTRÔLE SOUDAGE

3

Document stagiaire :

« Inspecteur en Soudage »

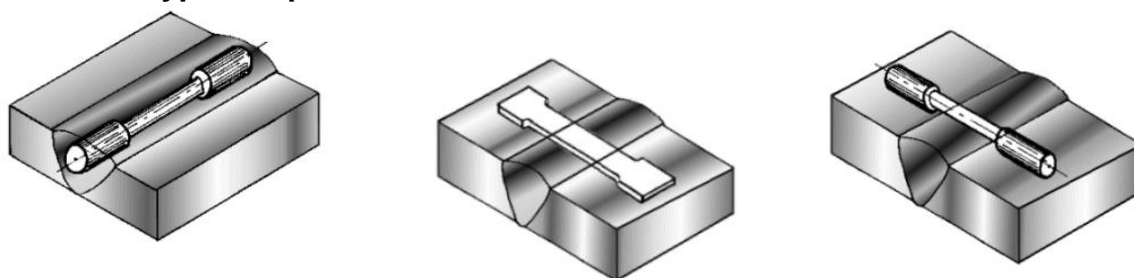
ESSAI DE TRACTION

Principe de l'essai :

L'essai de traction consiste à soumettre une éprouvette de section cylindrique ou prismatique à un effort progressif et croissant jusqu'à la rupture de la pièce d'essai. Cet essai est réalisé sur une machine spéciale qui enregistre les efforts et les allongements. L'essai permet de caractériser les propriétés mécaniques d'un matériau ductile. La norme de référence est la **NF EN 10002-1 Octobre 1990**.

Localisation des éprouvettes de traction dans un joint soudé :

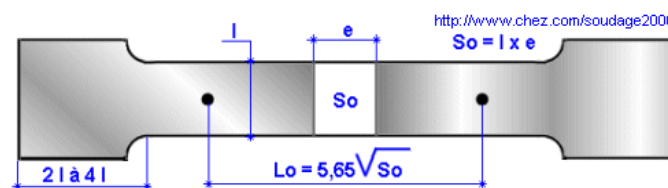
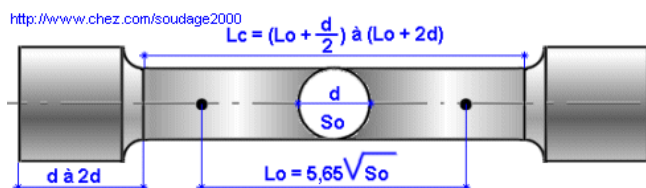
Différents types d'éprouvettes de traction



Les dimensions des éprouvettes de traction :

Éprouvette de traction cylindrique

Éprouvette de traction prismatique



Les caractéristiques mécaniques de la traction :

Caractéristiques de traction	Formules de calculs
Limite élastique apparente - Re	$Re \text{ (N/mm}^2\text{)} = Fe \text{ (Mpa ou N)} / So \text{ (mm)}$
Résistance à la rupture - Rm	$Rm \text{ (N/mm}^2\text{)} = Fm \text{ (Mpa ou N)} / So \text{ (mm)}$
Allongement en % - A %	$A \text{ (\%)} = ((Lu - Lo) / Lo) \times 100$
Striction en % - Z %	$Z \text{ (\%)} = ((So - Su) / So) \times 100$
Allongement de striction en %	$Zu \text{ (\%)} = ((So - Su) / Su) \times 100$

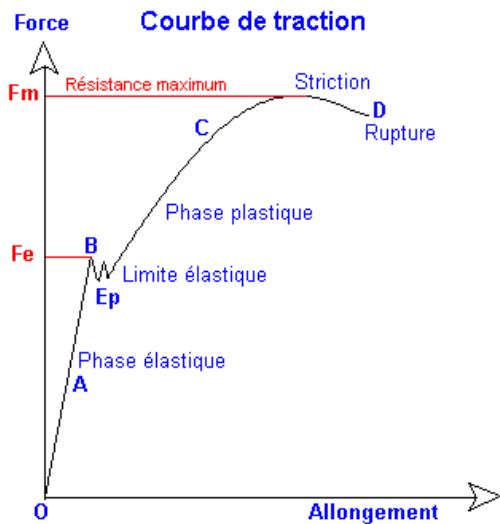


Diagramme conventionnel de traction :

La **phase élastique** est représentée par la ligne **OB**. L'éprouvette se déforme sous l'action de la charge et revient approximativement à sa longueur initiale si la charge est supprimée.

La **phase plastique** est représentée par la ligne **BC**. Les déformations de l'éprouvette sont permanentes et irréversibles.

La **phase de striction** est représentée par la courbe entre **Fm** et **D**. La **rupture** de l'éprouvette est représentée par la lettre **D**.

Remarques générales :

Dans le cas des matériaux fragiles comme les aciers bruts de trempe et les fontes dites grises, il n'y a pas de déformation plastique, Re et Rm sont confondus et l'allongement est nul.

Les valeurs de résistance mécanique ou charge de rupture :

La valeur de résistance mécanique d'un matériau peut varier de 80 N/mm² pour certains aluminiums à 2000 N / mm² pour certains aciers spéciaux.

- Rappel: 1 MPa = 1 N/mm² = 0,102 Kgf / mm²

Les vitesses d'essai de traction :

- **Acier** : Vitesse inférieure à 0,15 Lo (mm/min) ou inférieure à 30 Mpa / s
- **Cuivre** : Vitesse inférieure à 0,006 Lo (mm/min) ou inférieure à 10 Mpa / s
- **Aluminium** : Vitesse inférieure à 0,009 Lo (mm/min) ou inférieure à 10 Mpa / s

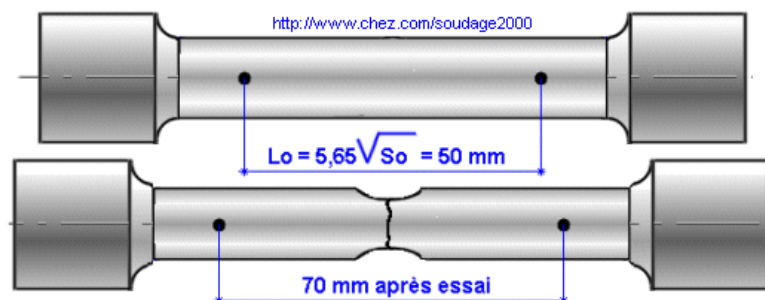
Détermination de l'allongement A en % :

L'allongement est la capacité d'un matériau à se déformer et à s'allonger sans rupture (ductilité du matériau). La longueur de référence est déterminée par deux coups de pointeau réalisés avant la traction (voir croquis au dessus). La distance entre repères est généralement de 5 x d (d est le diamètre calibré de l'éprouvette cylindrique)

Si la distance initiale entre repères est de 50 mm et la distance mesurée, après traction, est de 70mm, nous pouvons en déduire que l'allongement du matériau est de 40%.

$$\text{Allongement (\%)} = ((L_u - L_o) / L_o) \times 100 = ((70 - 50) / 50) \times 100 = 40\%$$

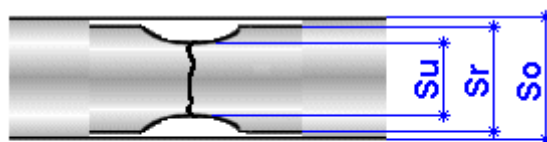
Allongement de l'éprouvette de traction



Détermination de la striction Z en % :

Striction de l'éprouvette de traction

La striction est le phénomène d'étranglement de la partie calibrée de l'éprouvette. La striction de la partie calibrée s'amorce lorsque la charge maximale de rupture est atteinte (F_m sur la courbe ci-dessus). L'allongement de l'éprouvette augmente très rapidement à ce moment jusqu'à la rupture de l'éprouvette de traction.



S_o : Dimension éprouvette initiale

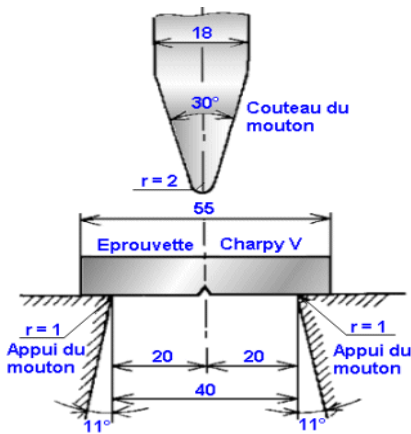
S_r : Dimension éprouvette après rupture

S_u : Dimension de la striction après rupture

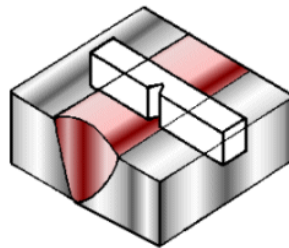
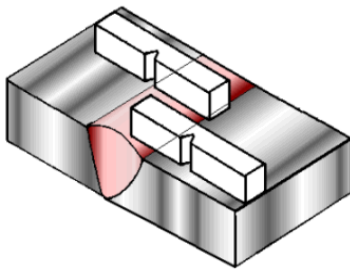
ESSAI DE RESILIENCE

Principe de l'essai :

L'essai de flexion par choc (essai de résilience ou essai de rupture fragile) consiste à mesurer le travail nécessaire pour rompre, à l'aide d'une masse pendulaire, un barreau usiné de forme carré de 1 cm² de section, entaillé en son milieu par une encoche et reposant sur deux appuis. Cet essai est réalisé sur une machine spéciale appelé mouton pendule rotatif qui enregistre l'énergie absorbée par la rupture. L'essai permet de caractériser les propriétés de résistance d'un matériau aux chocs. La norme de référence est la **NF EN 10045-1 Octobre 1990** et la **NF EN 875 Novembre 1995**



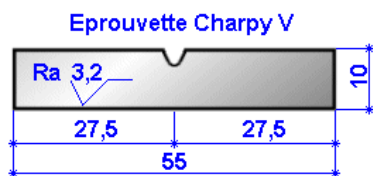
Localisation des éprouvettes de résilience dans un joint soudé : Différentes positions d'éprouvettes de résilience



Les types et dimensions des éprouvettes de résilience : Différents types d'éprouvettes de résilience

Type d'éprouvette

Observations

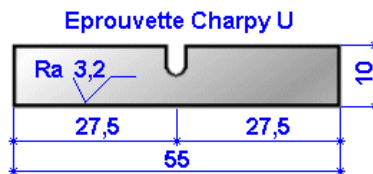


CHARPY - ISO Entaille en V

Profondeur d'entaille = 2 mm

Angle du V = 45°

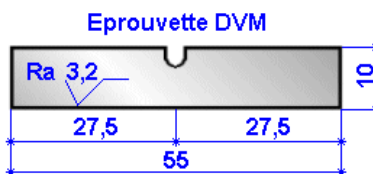
Rayon du fond entaille = 0,25 mm



CHARPY - ISO Entaille en U

Profondeur d'entaille = 5 mm

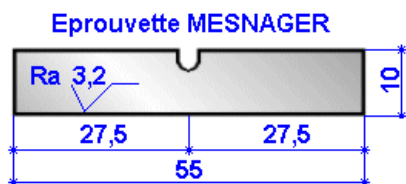
Rayon du fond entaille = 1 mm



DVM

Profondeur d'entaille = 3 mm

Rayon du fond entaille = 1 mm



MESNAGER

Profondeur d'entaille = 2 mm

Rayon du fond entaille = 1 mm

Les caractéristiques mécaniques de la résilience :

Caractéristique	Formule de calcul	Croquis
Résilience KCV	$KCV (J/cm^2) = \text{Énergie absorbée } W (J) / \text{Section au droit de l'entaille } S2 (cm^2)$ Exemple de calcul de résilience $KV = 95 \text{ J}$ soit $KCV = 95 \text{ J} / 0,8 \text{ cm}^2$ ou $95 \text{ J} \times 1,25 = 118,75 \text{ J/cm}^2$	

Formules de calcul				
Charpy ISO V	Dimensions	Surface S1	Surface S2	Formules de calcul
Éprouvette normale	55 x 10 x 10	1,0 cm ²	0,8 cm ²	$KCV = KV \times 1,25$
Éprouvette réduite	55 x 7,5 x 10	0,75 cm ²	0,6 cm ²	$KCV = KV \times 1,667$
Éprouvette réduite	55 x 5 x 10	0,50 cm ²	0,4 cm ²	$KCV = KV \times 2,5$

Les températures d'essais des résiliences :

Les essais de résiliences sont réalisés principalement à la température ambiante et à des températures inférieures à 0° celsius. (De - 20° C à - 196° C)

Les liquides réfrigérants utilisés pour abaisser la température des éprouvettes sont :

- L'alcool jusqu'à - 80° C
- Le fréon jusqu'à - 155° C
- L'azote liquide de - 155° C à - 196° C

Plus la température de l'essai est faible, plus la structure ductile de l'éprouvette devient fragile.

La courbe de transition ductile - fragile :

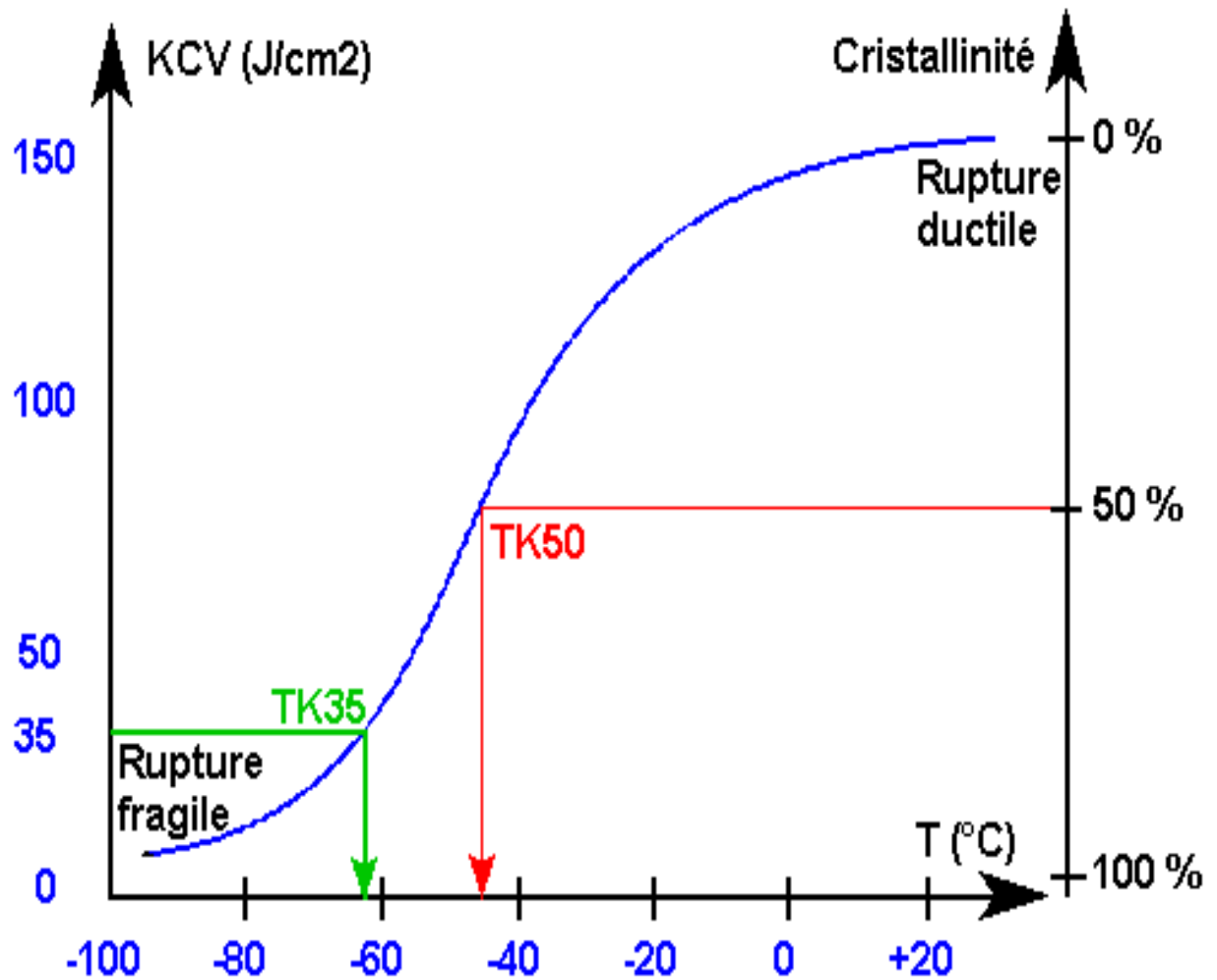
Cette courbe est déterminée par l'exécution de 3 séries d'éprouvettes de résiliences à différentes températures. Cette courbe permet de mettre en évidence, si elle existe, une zone de transition ductile-fragile de l'acier.

Les faciès des surfaces des éprouvettes rompues sont :

- faciès à grains ou cristallin à 100% dans la zone de rupture fragile
- faciès mixte dans la zone de transition ductile - fragile
- faciès sans grains dans la zone de rupture ductile

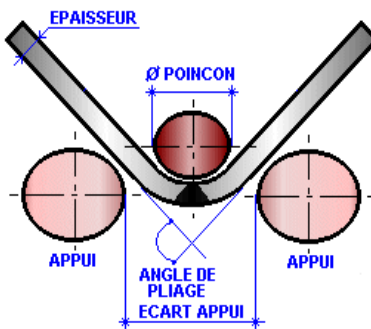
Plus la grosseur de grain d'un matériau métallique est faible, meilleurs sont les valeurs de résiliences à basse température.

$$\text{Striction (\%)} = ((S_o - S_u) / s_o) \times 100 = ((10 - 8) / 10) \times 100 = 20\%$$



ESSAI DE PLIAGE

Principe de l'essai :

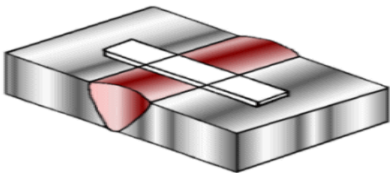


L'essai consiste à exercer sur une éprouvette, à température ambiante, une déformation plastique par pliage. L'éprouvette est prélevée transversalement ou longitudinalement à l'assemblage soudé. Une seule face de l'éprouvette est mise en extension (endroit, envers ou côté). Le pliage est réalisé jusqu'à ce que l'une des branches de l'éprouvette fasse un angle α déterminé avec le prolongement de l'autre branche. La norme de référence est la **NF EN 910** Mai 1996

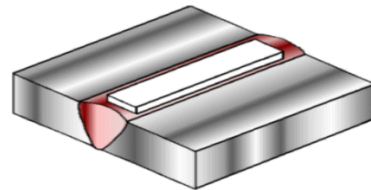
Localisation des éprouvettes de pliage dans un joint soudé

Différentes positions d'éprouvettes de pliage

Pliage transversal

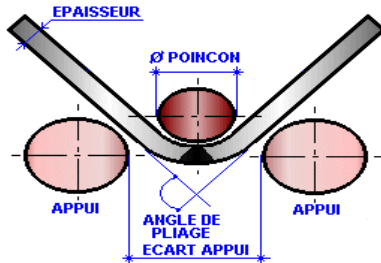


Pliage longitudinal



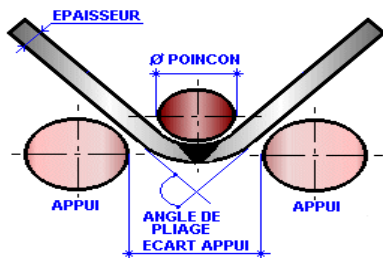
Différents types d'éprouvettes de pliage

Type d'éprouvette



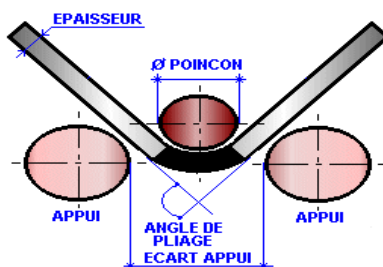
Pliage transversal endroit

La finition du cordon est en extension
Epaisseur de la pièce ≤ 12 mm
Diamètre du poinçon $4 \times e$ (acier)
Angle de pliage 120° à 180° (acier)



Pliage transversal envers

La racine du cordon est en extension
Epaisseur de la pièce ≤ 12 mm
Diamètre du poinçon $4 \times e$ (acier)
Angle de pliage 120° à 180° (acier)



Pliage transversal côté

La soudure est en extension
Epaisseur de la pièce > 12 mm
Diamètre du poinçon $4 \times e$ (acier)
Angle de pliage 120° à 180° (acier)

La découpe et la préparation des éprouvettes :

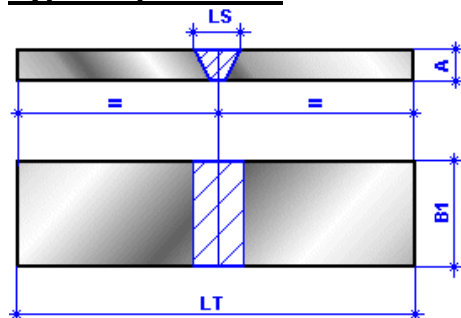
Les éprouvettes sont découpées avec un procédé mécanique ou thermique sur les aciers. Le procédé de découpage ne doit pas modifier les propriétés mécaniques de l'éprouvette. Le cisailage est interdit sur les épaisseurs supérieures à 6 mm.

La préparation ne doit pas altérer les propriétés mécaniques de l'éprouvette. Les bords de l'éprouvette doivent être arrondis (rayon = $0,2 \times$ épaisseur de l'éprouvette - maxi 3 mm) et l'état de surface doit être soigné et exempt de rayures ou entailles. Sauf convention contraire, les surépaisseurs de soudure sont éliminées.

Les dimensions des éprouvettes de pliage

Type d'éprouvette

Observations

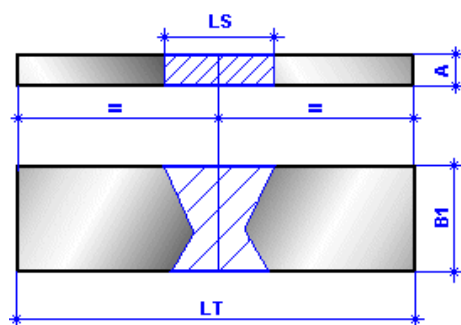


Pliage transversal endroit ou envers - $e < \text{ou} = 12 \text{ mm}$

A = épaisseur de l'éprouvette

B1 = largeur = $1,5 \times A$ (20 mm mini)

LT = longueur = distance entre rouleaux + 2 x rayon du rouleau

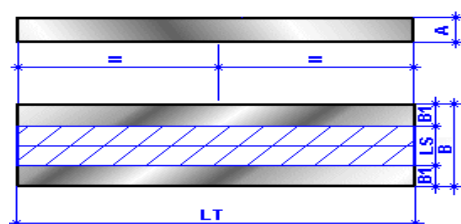


Pliage transversal côté $e > 12 \text{ mm}$

A = 10 mm au minimum

B1 $> \text{ou} = 1,5 A$

LT = longueur = distance entre rouleaux + 2 x rayon du rouleau



Pliage longitudinal endroit ou envers

B1 = $(B - LS) / 2$

LT = longueur = distance entre rouleaux + 2 x rayon du rouleau

ESSAI DE DURETE

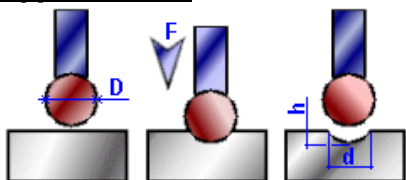
Principe de l'essai :

L'essai consiste à appliquer sur une pièce à mesurer, un pénétrateur sous une charge d'appui F donnée. La dureté est mesurée par rapport aux dimensions de l'empreinte du pénétrateur laissée sur la surface du matériau contrôlé. L'empreinte est d'autant plus importante que le matériau est mou. Les essais de dureté caractérisent la résistance qu'offre un matériau à la pénétration.

Les différents types d'essais de dureté :

Différents types d'essais de dureté

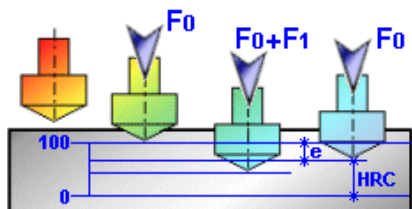
Type d'essai



$$HB = \frac{0,102 \times 2(K \times 9,81 \times D \times D)}{3,14 \times D(D - \sqrt{(D \times D) - (d \times d)})}$$

Essai Brinell - HB

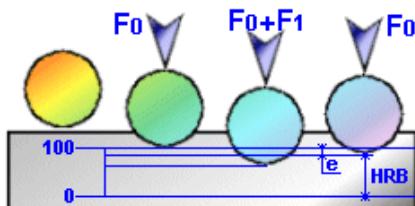
Le pénétrateur est une bille en acier trempé ou carbure de tungstène de Ø D sous une charge F en Newtons maintenue 15 secondes. On mesure le "d" de l'empreinte (d doit être compris entre 0,2 à 0,5 x D). K = 30 pour les aciers



$$HRC = 100 - e$$

Essai Rockwell C - HRC

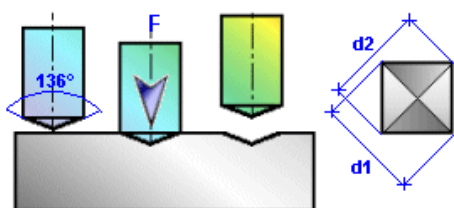
Le pénétrateur est un cône de diamant de 120° d'angle et de charge égale à 1373 N. On mesure l'accroissement "e" en profondeur ou enfoncement rémanent.



$$HRB = 100 - e$$

Essai Rockwell B - HRB

Le pénétrateur est une bille en acier trempé de 1,6 mm de diamètre et de charge égale à 883 N. On mesure l'accroissement "e" en profondeur ou enfoncement rémanent.



$$HV = 0,189 \times \frac{F}{d \times d} \quad d = \frac{d1 + d2}{2}$$

Essai Vickers - HV

Le pénétrateur est une pyramide droite à base carrée et d'angle au sommet de 136° sous une charge F. On mesure les diagonales "d" de l'empreinte

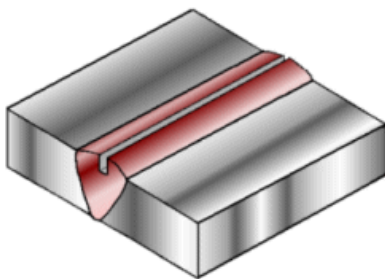
L'essai de dureté Vickers sur assemblage soudé :

L'essai est réalisé à température ambiante. L'essai de dureté Vickers est réalisé sur un échantillon préalablement poli et prélevé perpendiculairement à l'axe du cordon de soudure. La soudure, la zone de liaison, les zones thermiquement affectées et le métal de base sont révélés par une attaque chimique à l'aide d'un réactif.

La charge d'essai est généralement de 49,2 N soit 5 kgf (symbole de dureté **HV5**) ou de 98,07 N soit 10 kgf (symbole de dureté **HV10**). La charge est appliquée progressivement et de façon constante jusqu'à ce que la charge choisie soit atteinte. Le temps de maintien de la charge est de 10 à 15 secondes.

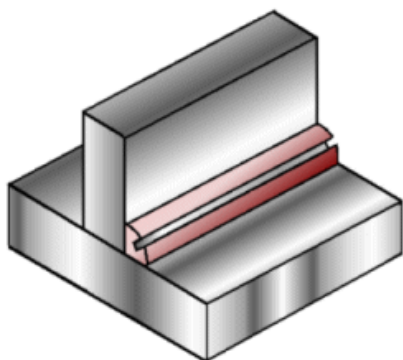
ESSAI DE TEXTURE

1 - Principe de l'essai :



L'essai de texture consiste à rompre un assemblage soudé par pliage ou traction après avoir réalisé une entaille longitudinale ou latérale sur la surface de la soudure. L'essai de texture permet de révéler les types, les dimensions et la répartition des défauts internes sur la surface de la cassure d'une soudure.

2 – Prélèvement de l'éprouvette d'examen :

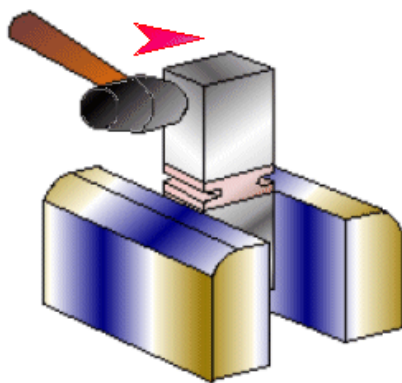


La coupe de l'éprouvette est réalisée, généralement dans le sens travers de la soudure, avec une scie à ruban ou une meule sous eau pour éviter les échauffements néfastes. Un usinage de la surface est nécessaire, dans le cas d'une découpe avec un lapidaire sans système de refroidissement de la pièce, pour éliminer la zone surchauffée de la découpe. En règle généralement, quatre éprouvettes uniformément réparties sont réalisées dans un assemblage soudé.

3 – Préparation de l'éprouvette d'examen :

Une entaille est réalisée dans l'axe et sur la surface de la soudure. La profondeur de l'entaille doit être suffisante pour que la rupture se produise dans la soudure. L'entaille peut être à fond plat, arrondi ou à angle vif (ce dernier est recommandé sur l'aluminium et le cuivre).

4 – Rupture de l'assemblage



L'essai de texture est effectué :

- par choc dynamique (à l'aide d'un marteau).
- par pression dans un étau, une machine de pliage ou une presse d'atelier.
- par traction avec une machine spéciale.

6 – Observation de l'éprouvette d'essai :

La surface de la rupture de la soudure est examinée visuellement sous un bon éclairage (> 350 lux). L'observation peut se faire avec une loupe de grossissement G x 5 pour les défauts fins. La détection et l'identification des défauts internes exigent une expérience confirmée de la part de l'observateur.