

MESURER DE MANIERE QUANTITATIVE ET PRECISE LA RESISTANCE A LA RUPTURE

ESSAI CTOD

Cet article est consacré à un essai qui permet de mesurer, de manière quantitative et précise, la résistance à la rupture: l'essai CTOD (Crack Tip Opening Displacement).

Par Gene Mathers

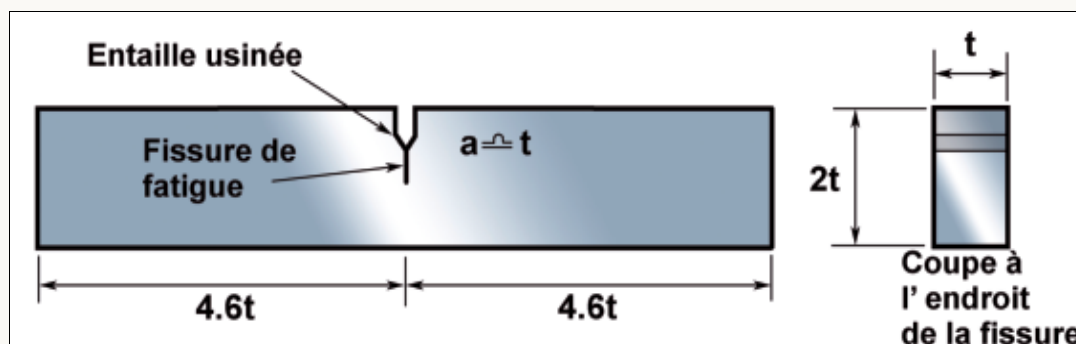


Figure 1: Éprouvette de pliage pour des mesures CTOD ayant une section rectangulaire proportionnelle

ESSAI MECANIQUE

Dans les essais CTOD, on utilise une éprouvette dont l'épaisseur est égale à l'épaisseur du matériau à examiner.

Cette éprouvette est pourvue d'une fissure réelle. L'essai est réalisé sous des charges représentatives des conditions de service.

Une analyse fitness-for-purpose est donc possible et permet de calculer la dimension critique des défauts.

Donc, avant la fabrication, des standards réalistes peuvent être établis et des décisions peuvent être prises quant aux techniques END (examen non destructif) appropriées.

Pour des appareils et constructions en service, il est possible de prendre une décision pour voir s'il est responsable d'utiliser un élément fissuré ou défectueux jusqu'au moment où il est possible de le réparer ou le remplacer.

Une telle méthode d'approche technique critique peut faire épargner beaucoup de temps et d'argent à un opérateur:

épargne qui peut s'élever à plusieurs centaines de millions s'il s'agit d'un équipement dans des installations de forage.

Bien que l'essai CTOD ait été mis au point pour caractériser les métaux, cet essai est également utilisé pour déterminer la ténacité de matériaux non métalliques comme les

matières plastiques soudables.

ÉPROUVETTE CTOD

L'essai CTOD est un essai basé sur la mécanique de la rupture qui est utilisé quand quelque déformation plastique précède une rupture catastrophique.

L'ouverture en fond de fissure peut s'étirer et la fissure peut s'ouvrir, d'où déplacement de l'ouverture.

Au contraire des éprouvettes de résilience Charpy V 10 x 10 mm meilleur marché pourvues d'une entaille, l'épaisseur de l'éprouvette CTOD est égale à l'épaisseur totale du matériau.

En outre, l'éprouvette CTOD est pourvue d'une fissure réelle et est mise sous charge de telle façon que la vitesse de l'essai correspond mieux aux conditions de service.

Habituellement, on réalise trois essais à température de service. Trois essais pour obtenir un résultat fiable et cohérent.

L'éprouvette même est proportionnelle c.-à-d. que la longueur, la profondeur et la largeur de chaque éprouvette sont liées entre elles de sorte que, indépendamment de l'épaisseur du matériau, chaque éprouvette a

des dimensions uniformes.

FORMES DE BASE

Il y a deux formes de base:

- une éprouvette ayant une section carrée ou
 - une section rectangulaire.
- Supposons que l'épaisseur de l'éprouvette soit t , la profondeur de l'éprouvette est donc de $2t$ avec une longueur standard de $4,6t$.

Au milieu de l'éprouvette, on fait, mécaniquement, une entaille qui se prolonge par une fissure de fatigue de telle sorte que la grandeur totale du défaut est égale à la moitié de la profondeur de l'éprouvette (fig. 1).

Un essai sur une soudure de 100 mm d'épaisseur exigera donc une éprouvette ayant les dimensions suivantes:

- 100 mm de

- large,
- 200 mm de profondeur et
- 460 mm de longueur.

La fabrication de l'éprouvette est donc une opération coûteuse.

De plus, l'utilité de cet essai onéreux n'apparaît qu'après l'essai.

L'essai est réalisé en mettant l'éprouvette sous charge de

pliage en trois points et en mesurant la dimension de l'ouverture de la fissure.

Cette mesure est faite à l'aide d'une jauge (strain gauge) fixée à une pince qui est coincée entre deux lames positionnées de façon précise au début de la fissure (fig. 2).

Par un pliage continu, une déformation va apparaître au fond de la fissure jusqu'à ce qu'un point critique soit atteint.

C'est le cas quand la fissure est suffisamment ouverte pour faire apparaître une fissure de clivage. Ceci mène à une rupture partielle ou complète de l'éprouvette.

L'essai peut être réalisé à différentes températures.

En règle générale, à la température de service minimale, une valeur CTOD entre 0,1 et 0,2 mm est nécessaire pour démontrer une ténacité suffisante.

Les valeurs nécessaires pour pouvoir calculer la ténacité sont premièrement la charge à laquelle la fissure apparaît et deuxièmement la mesure de l'ouverture de la fissure (fig. 3).

GRAPHIQUE CHARGE-DEPLACEMENT

Comme la longueur de la fissure et l'ouverture sont connues, il suffit d'une simple somme géométrique pour calculer l'ouverture en fond de fissure. Durant l'essai, la charge et l'ouverture sont automatiquement enregistrées sur un graphique. Un tel graphique est comparable à une courbe de traction.

La figure 4 donne un schéma des différentes formes de courbes qu'on peut avoir.

- La courbe (a) correspond à un essai où l'éprouvette s'est cassée de façon fragile avec une faible ou pas de déformation plastique.
- La courbe (b) a un "pop-in"; une fissure fragile s'est initiée mais s'est propagée sur une courte distance; la fissure s'est arrêtée dans un matériau plus dur. Ceci peut arriver plusieurs fois; la courbe se présente en dents de scie. Ou après cette déformation pop-in, elle peut continuer à croître d'une façon ductile comme dans
- (c), où on a un comportement

complètement plastique.

CONTROLE DE LA SURFACE DE LA FISSURE

L'emplacement de la fissure, dans la zone affectée thermiquement ou dans le métal de base, est importante car une fissure de fatigue mal positionnée ne donne pas l'information sur le domaine voulu; on n'a pas de valeur valable.

Afin de s'assurer que la fissure se trouve bien dans la bonne zone, la surface est souvent polie et décapée et ensuite contrôlée au microscope avant que l'entaille ne soit ajoutée et que la fissure de fatigue soit introduite.

Ceci permet de positionner la fissure très précisément.

Cet examen peut être refait après l'essai afin de confirmer la validité des résultats de

l'essai. Quand l'éprouvette se casse, la surface de rupture est examinée afin de s'assurer que la fissure de fatigue a un front de fissure de surface assez plat (fig. 5).

Front de fissure irrégulier

Les tensions internes, présentes dans une soudure, peuvent être la cause d'un front de fissure irrégulier.

Si c'est le cas, l'essai peut être invalidé.

Eviter

Afin d'éviter ce problème, l'éprouvette peut être empreinte localement à hauteur de l'entaille afin de redistribuer les tensions internes.

On voit souvent deux empreintes de chaque côté de l'éprouvette. Pour introduire une fissure de fatigue, on doit appliquer un faible intervalle de tensions.

L'application de tensions élevées afin d'accélérer la formation d'une fissure de fatigue peut donner à la fissure de fatigue un grand domaine déformé plastiquement, ce qui rend les résultats de l'essai non valables.

Constatation d'autres causes

D'autres causes invalidant l'essai ne peuvent hélas être constatées qu'après l'essai et le contrôle de la surface de fissure.

La longueur exacte de la fissure de fatigue est mesurée – c'est nécessaire pour l'analyse – mais

AFIN D'EVITER UN FRONT DE FISSURE IRRÉGULIER, L'ÉPROUVETTE PEUT ÊTRE EMPREINTE LOCALEMENT À HAUTEUR DE L'ENTAILLE AFIN DE REDISTRIBUER LES TENSIONS INTERNES

quand la longueur de la fissure ne tombe pas dans les valeurs posées par la spécification, l'essai n'est pas valable.

L'essai doit être recommencé:

- si la fissure de fatigue ne se trouve pas dans un seul plan,
- si la fissure forme un angle avec l'entaille ou
- si la fissure ne se trouve pas dans le bon

domaine. □

Cet article est une adaptation de 'Job Knowledge for welders' de TWI Connect réalisée par Theo Luijendijk, rédaction Lastechneik et traduite en français par Marie-Christine Ritzen (IBS).

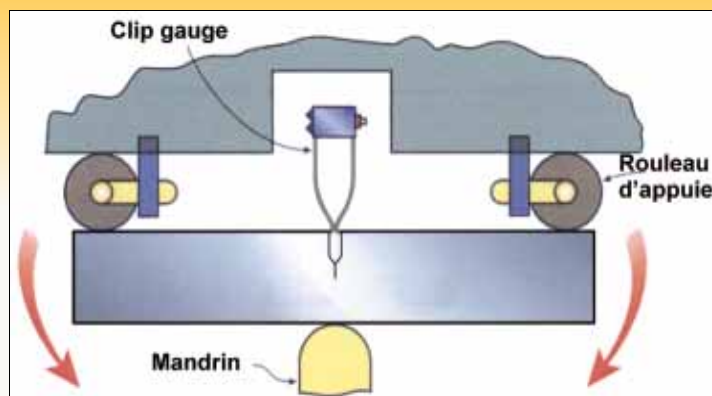


Figure 2: Montage caractéristique de l'essai. L'éprouvette peut facilement être immergée dans un bain à basse température

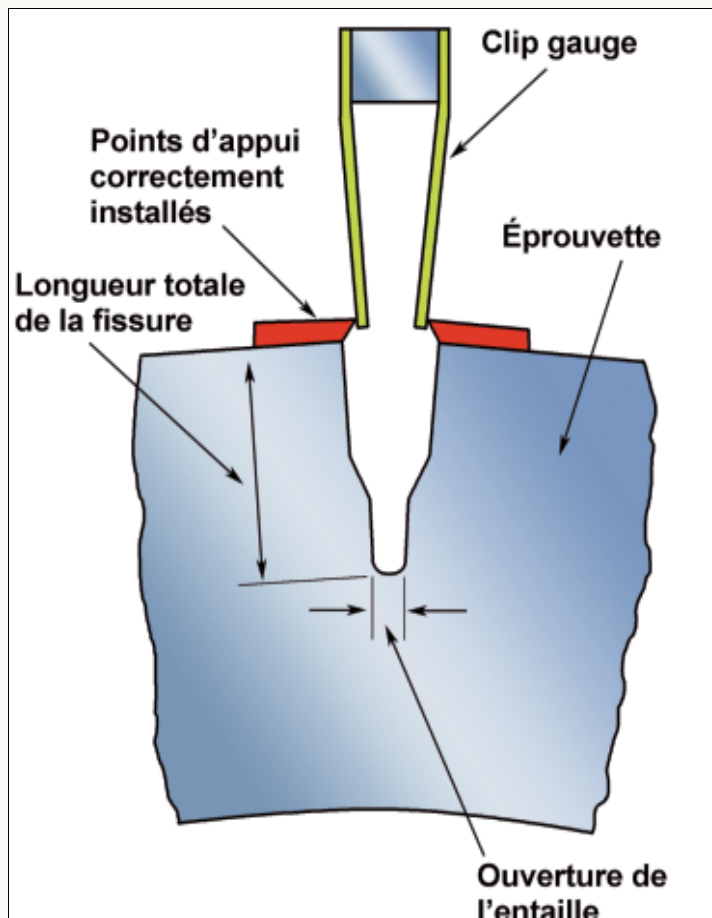


Figure 3: Position de l'éprouvette CTOD juste avant la propagation de la fissure.

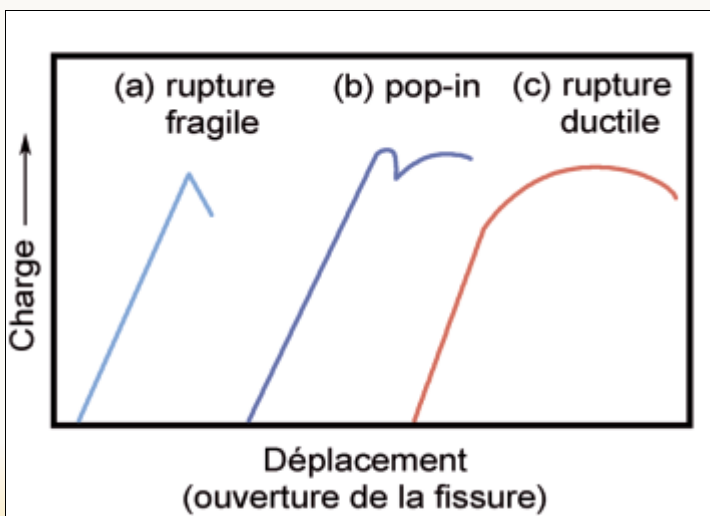


Figure 4: Charge lors du déplacement de l'ouverture de fissure. Trois types caractéristiques du comportement de la fissure



Figure 5: Surface de rupture d'une éprouvette CTOD. L'entaille se trouve en-dessous. L'extrémité de la fissure de fatigue (partie plus claire) n'est pas droite mais quelque peu courbe

NORMES PERTINENTES

- BS 7448 Partie 1 - 4 Fracture Toughness Tests
- BS 6729 Determination of the Dynamic Fracture Toughness of Metallic Materials
- BS 7910 Guide on Methods for Assessing the Acceptability of Flaws in Metallic Structures
- ASTM E1820 Standard Test Method for Measurement of Fracture Toughness
- EN ISO 15653 Méthode d'essai pour la détermination de la ténacité quasistatique à la rupture des soudures