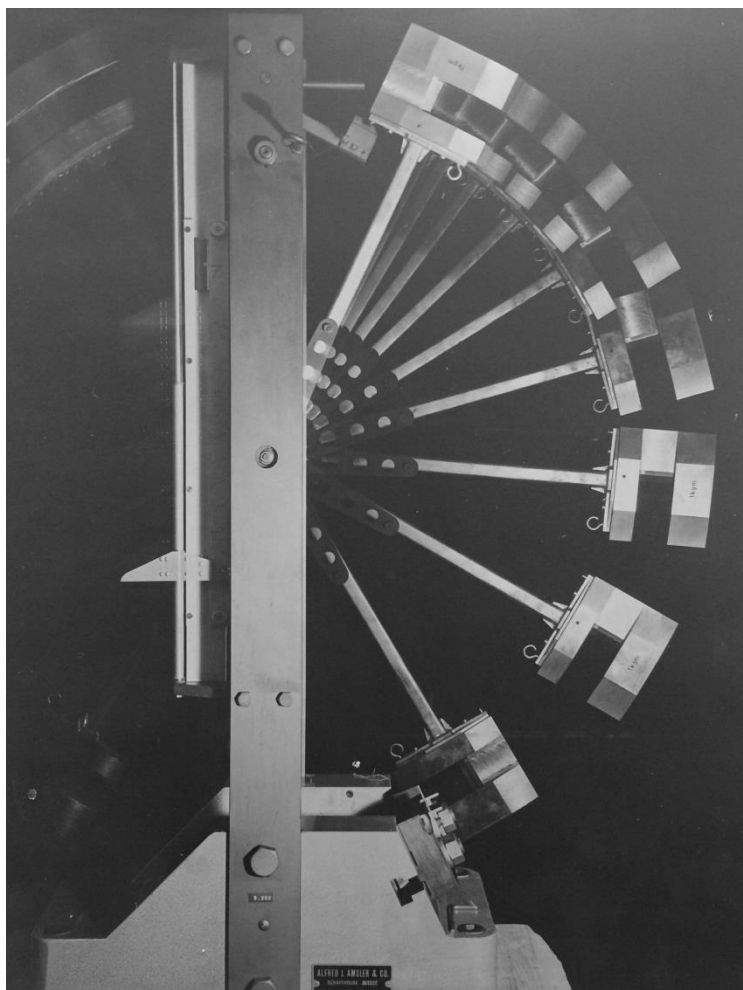


Matériaux II – travaux pratiques

Essai de flexion par choc sur un barreau entaillé (Résilience)



GC2 printemps 2024

Partie théorique

Introduction

L'essai de résilience a pour objet de déterminer la résistance des matériaux à la rupture sous l'effet d'un choc par l'intermédiaire de l'énergie de rupture. Bien que la résistance à la rupture se mesure traditionnellement, avec un essai de traction classique, la résistance que l'on vise à étudier ici a peu en commun avec la résistance observée dans un essai de traction statique. Dans l'essai de traction la déformation est graduellement imposée à l'éprouvette. La matière a ainsi assez de temps pour réagir et s'adapter au changement. Dans la pratique, une pièce est souvent soumise à des chocs brutaux. Pour cette situation, les valeurs observées dans un essai de traction ne donnent pas toujours satisfaction et peuvent même être trompeuses. De nombreux accidents spectaculaires survenus surtout à l'époque où l'on n'avait pas suffisamment reconnu cette différence, en témoignent (à la fin 19ème et au début 20^{ème} siècle).

Le problème se pose surtout avec les matériaux fragiles et les matériaux qui contiennent des retassures, des inclusions ou des fissures. Ces défauts provoquent un effet d'entaille, modifient localement les contraintes et entraînent surtout une triaxialité des contraintes. Des métaux initialement ductiles peuvent aussi se fragiliser en raison :

- d'une exposition prolongée à des températures élevées (grossissement des grains, précipitation sur les joints ou précipitation des phases fragiles)
- de l'absorption de gaz (surtout H₂, O₂)
- d'une attaque corrosive le long des joints de grains
- d'une accumulation des dégâts d'irradiation

Certains métaux sont ductiles lorsqu'ils sont rompus à faible vitesse de déformation, mais sont fragiles lorsqu'ils sont soumis à des chocs. Finalement, c'est aussi la température du métal lui-même qui détermine si la rupture est fragile ou ductile. Les aciers de structure ferritique peuvent présenter, même lors d'un choc, une rupture ductile à 20 °C mais deviennent fragiles à des températures hivernales. La transition entre le régime ductile et le régime fragile est assez rapide et se limite dans certains cas sur un intervalle de 20 °C seulement. Cet effet s'observe surtout sur les aciers au carbone, utilisés pour la construction des ponts, des chemins de fer et des bateaux. Pour ces aciers, le régime fragile commence parfois déjà à 0 °C et limite leur utilisation aux régions tempérées. L'addition des éléments d'alliage dans les aciers faiblement alliés permet d'abaisser cette température. L'apport massif de Ni et de Cr dans les aciers austénitiques fait complètement disparaître cette transition. Ces aciers gardent une ténacité élevée et se prêtent donc parfaitement à des constructions cryogéniques (récipients et tuyaux pour l'air où l'He liquide).

Le mouton pendule (ou mouton de Charpy)

Un marteau de masse m est fixé à l'extrémité d'un pendule (Fig. 1). Ce pendule peut tourner dans le plan vertical autour d'un axe horizontal. L'éprouvette repose sur un support et se trouve au point le plus bas sur la trajectoire du marteau (selon la norme, mais n'est pas le cas sur l'appareil utilisé pour ce TP). Pour effectuer un essai, on écarte le bras jusqu'à ce que le marteau atteigne sa position initiale P et on le lâche. Quand le pendule vient frapper l'éprouvette, il a une énergie cinétique qui est égale à l'énergie potentielle qu'il avait à sa position de départ mgh_0 , h étant la hauteur du marteau par rapport à sa position d'équilibre. Après la rupture, le marteau remonte. Dans son point culminant (hauteur h_1), l'énergie cinétique résiduelle s'est de nouveau transformée en énergie potentielle mgh_1 . L'énergie K dépensée pour rompre l'éprouvette vaut alors

$$KV = mg(h_0 - h_1)$$

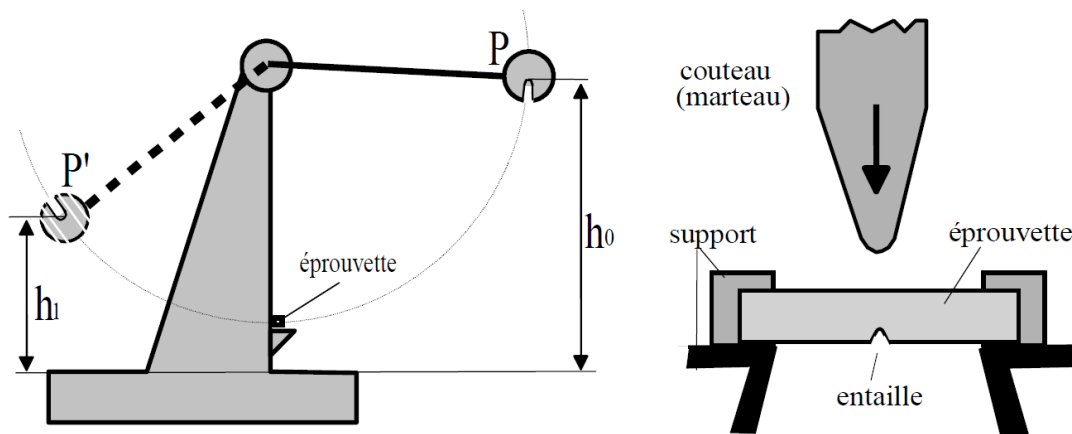


Fig. 1 Schéma d'un mouton pendule et vue de dessus de l'éprouvette avant choc

Comme l'énergie cinétique emportée par les débris après la rupture est négligeable, c'est l'énergie de rupture que l'on indique comme résultat de l'essai de résilience. De plus il faut absolument mentionner le type d'échantillon normé qu'on a utilisé pour sa détermination. Les éprouvettes les plus fréquemment utilisées aujourd'hui sont les types ISO-V et ISO-U (Fig. 2). Ils ont une entaille en forme de V ou U pour fixer l'endroit de la fissure. L'énergie de rupture est finalement indiquée en J (Joule), précédée par les lettres KV ou KU pour désigner qu'il s'agit d'une énergie de rupture (K, de l'allemand : Kerbschlagzähigkeit) mesurée avec une éprouvette ayant une entaille en forme de V ou U.

Pour obtenir la résilience a_K on divisera encore cette valeur par la section de l'échantillon à l'endroit de la fissure. L'unité habituelle pour exprimer la résilience a_K est le J/cm² tandis que l'énergie de rupture KV est indiquée en J. Comme la valeur a_K ne présente aucun avantage sur l'indication de l'énergie de rupture, **on indique aujourd'hui uniquement l'énergie de rupture K** (souvent directement appelée résilience).

Les éprouvettes

L'effet de la forme de l'éprouvette sur l'énergie de rupture est très prononcé. La Fig. 2 montre les formes et dimensions géométriques de 3 types d'éprouvettes standardisées. Elles ont toutes une longueur de 55 mm et une section nominale de $10 \times 10 \text{ mm}^2$, mais se distinguent dans leur forme et leur profondeur d'entaille qui se trouve sur le côté opposé à l'endroit où le marteau frappe (Fig. 1). Elle a pour objet de garantir un état de contrainte triaxiale, déjà lors de l'amorçage de la fissure, plutôt que de provoquer l'effet d'entaille. C'est pour cette raison que le fond de l'entaille n'est pas pointu mais cylindrique (rayon de 0.25 ou de 1 mm selon type d'éprouvette). L'aire de la section restant à l'endroit de l'entaille est, selon la définition de la résilience a_K , la section à utiliser pour le calcul de sa valeur. Notez que seuls des résultats obtenus sur des éprouvettes de dimensions identiques devraient être comparés. Il n'y a pas de méthode générale de conversion de valeurs de résilience, obtenues par une méthode d'essai, en valeurs qui seraient obtenues par une autre méthode d'essai. Un constructeur qui aimerait donner une garantie pour la sécurité de son produit doit donc tenir compte d'une importante marge d'incertitude.

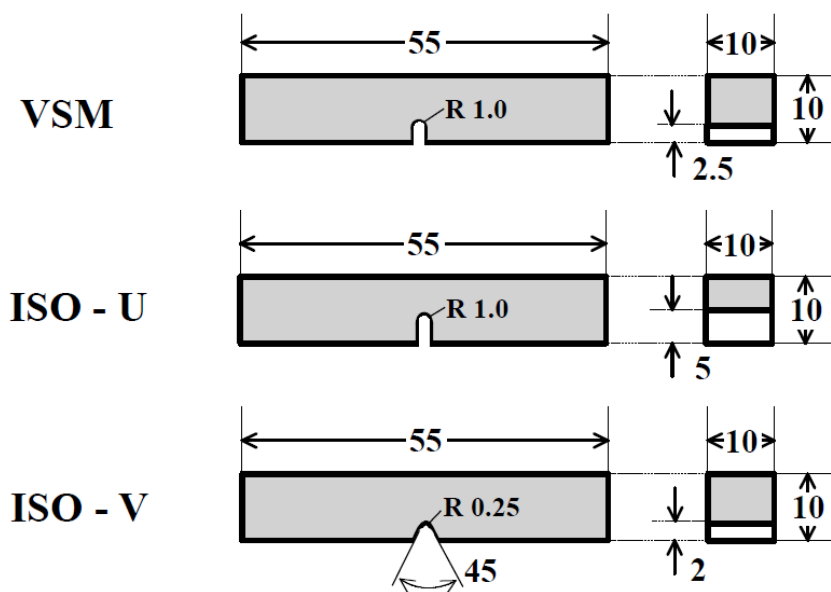


Fig. 2 Eprouvettes Charpy standardisées. Le type le plus utilisé est l'éprouvette ISO-V. Dimensions en mm

Pour des raisons d'organisation et de pratique, la géométrie des éprouvettes utilisées dans ce TP ne correspond pas aux normes décrites ci-dessus. Les éprouvettes sont entaillées de façon similaire à celles de la norme ISO-V mais sont prélevées dans des barreaux de section ronde.

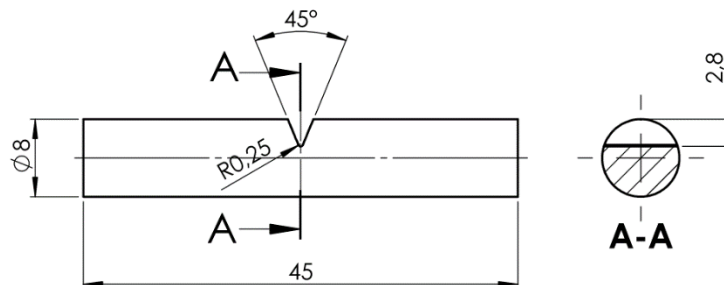


Fig. 3 Eprouvettes rondes avec entaille en V, dimensions en mm

Courbe énergie absorbée – température

La courbe énergie absorbée-température (courbe $KV-T$) donne l'énergie absorbée en fonction de la température d'essai pour une forme donnée d'éprouvette (Fig. 4). En général, la courbe est obtenue par tracé d'une courbe lissée à partir de valeurs individuelles. La forme de la courbe et la dispersion des valeurs d'essai dépendent du matériau, de la forme d'éprouvette et de la vitesse du choc. Dans le cas d'une courbe avec une zone de transition, une distinction est faite entre le plateau supérieur, la zone de transition et le plateau inférieur.

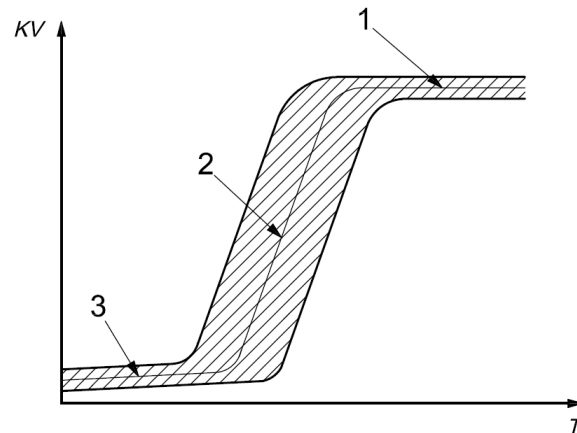


Fig. 4 Courbe schématique énergie absorbée – température, où 1 est le plateau supérieur, 2 est la zone de transition, 3 est le plateau inférieur

Température de transition T_t

La température de transition T_t caractérise la position de la partie fortement pentue de la courbe énergie absorbée-température. Comme la partie fortement pentue s'étend habituellement sur un intervalle de température assez large, il ne peut y avoir de définition applicable en général de la température de transition. Les critères suivants ont été trouvés utiles parmi d'autres, pour déterminer la température de transition.

La température de transition T_t est la température à laquelle :

- une valeur particulière d'énergie absorbée est atteinte, par exemple $KV_8 = 27J$ (KV_8 veut dire utilisation d'un marteau avec couteau de 8mm);
- un pourcentage particulier de la valeur d'énergie absorbée correspondant au plateau supérieur est atteint, par exemple 50% (critère à utiliser dans ce TP);
- un pourcentage particulier de rupture par cisaillement est obtenu, par exemple 50%; et
- une valeur particulière d'expansion latérale est atteinte, par exemple 0,9mm.

Il convient de spécifier le choix de la méthode utilisée pour définir la température de transition dans la norme ou spécification de produit ou par accord.

Partie expérimentale

Objectifs

- Comprendre le fonctionnement d'un essai de résilience.
- Connaitre l'existence de comportements différents aux chocs selon le matériau et la température.
- Savoir tracer la courbe de transition ductile-fragile en résilience et déterminer la température de transition.
- Savoir déterminer visuellement si une rupture est fragile, ductile ou mixte.

Instruments à disposition

- Machine d'essai Hounsfield « Balanced Impact Machine », 65J
- Bains thermostatiques, plaque chauffante, neige carbonique, glace, azote liquide
- Pinces et divers récipients

Echantillons

- 5 échantillons cylindriques avec entaille en V en acier de construction C15Pb
- 5 échantillons cylindriques avec entaille en V en acier inoxydable X5 CrNi 18 10

Désignation	Composition en %poids	N° matière	Couleur
C15Pb	0.15C, 0.15-0.3Pb	1.0403	Rouge
X5 CrNi 18 10	<0.07C, 18Cr, 10Ni	1.4301	Vert

Tab. 1 Matières fournies pour le TP

Travail à faire

- Disposer une éprouvette de chaque acier aux températures suivantes en employant les bains et autres récipients à disposition : -78 °C, 0 °C, ~20 °C, 50 °C, 80 °C.
- Préparer la machine : retirer la goupille et relever les marteaux.
- Faire un essai à vide pour contrôler le « zéro » de la machine.
- Disposer un échantillon dans les supports et déclencher le marteau immédiatement, la norme donne 5 s entre le temps de la prise de l'éprouvette et le temps où elle est frappée, ceci afin de garantir la température visée au moment de l'essai.
- Lire la valeur du cadran et la convertir en Joules.
- Récupérer l'échantillon et observer le mode de rupture (fragile, ductile ou mixte). Si l'éprouvette n'est pas rompue, noter l'énergie de rupture entre parenthèses.
- Débloquent les marteaux et les remettre en position haute.
- Répéter l'opération pour toutes les éprouvettes.
- Tracer un graphe comprenant l'énergie de rupture en fonction de la température pour les deux aciers.

ATTENTION : le mouton pendule est extrêmement dangereux !

- **Assurez-vous que personne n'est dans l'axe de la machine avant de déclencher l'essai. Stoppez l'essai en cas de doute.**
- **Avertissez vos collègues avant le déclenchement.**
- **Des fragments d'échantillons peuvent partir lors du choc, portez des lunettes pour tous les essais.**

Bibliographie

L. Weber, J.-M. Drezet, Travaux pratiques – Matériaux TPI (MX2) et Métaux et alliages (GM2), Polycopié EPFL, édition 2010

Norme NF EN ISO 148, Matériaux métalliques — Essai de flexion par choc sur éprouvette Charpy, 2011