

L'ESSAI DE DISQUES ENCASTRES, METHODE D'ESSAI
SENSIBLE DE LA FRAGILISATION DES MATERIAUX

FR 81 01544

INTRODUCTION

Nous décrivons un essai mécanique destiné à caractériser la fragilisation de matériaux travaillant en contraintes et déformations inhomogènes. Après une analyse mécanique théorique, confrontée à des mesures expérimentales, on envisage son domaine d'application. Enfin on aborde plus succinctement les essais dérivés de l'essai standard et l'ouverture expérimentale ainsi offerte.

I - DESCRIPTION DE L'ESSAI. (Fig. 1).

Le principe général de l'essai consiste à rompre sous pression gazeuse généralement croissante des disques encastrés à leur périphérie, et à comparer les pressions de rupture obtenues dans des conditions de référence (gaz neutre par exemple) à celles obtenues dans des conditions fragilisantes. Le rapport de ces deux pressions permet de quantifier l'endommagement obtenu. La morphologie des ruptures donne également des indications sur la fragilisation.

Les études ordinairement effectuées concernent, hormis l'essai de préqualification standard à vitesse de montée en pression constante pour une classe de matériau, l'influence de la température (-196°C à 1000°C) et l'influence de la vitesse de sollicitation ($0,5 \text{ bar.h}^{-1}$ à $50.000 \text{ bar.mn}^{-1}$).

II - ASPECTS MECANIQUES.

Une étude par éléments finis nous a permis de dégager un certain nombre de résultats pratiques. Ces résultats ont été confrontés à des mesures expérimentales : flèche ou allongement local en fonction de la pression. Et cet ensemble a fourni une meilleure compréhension de la sensibilité de cet essai.

Les points essentiels sont les suivants :

- 1) Le sommet est en contraintes planes (analogie avec une sphère mince),
- 2) L'encastrement est en déformations planes,
- 3) Le début de la plastification apparaît très tôt par rapport à la pression de rupture,
- 4) La composante hydrostatique est élevée à l'encastrement,

* Service Métallurgie CEA BP 561 92542 MONTROUGE.

5) Lorsque l'on est en plastification générale, les vitesses de déformations restent sensiblement constantes jusqu'à la fin de l'essai,

6) Enfin, dès le début de l'essai, on est en régime triaxial contrairement à d'autres essais sur éprouvettes lisses.

Ces raisons font que l'essai est particulièrement sensible pour l'étude des matériaux fragilisables par des interstitiels tels que l'hydrogène ou sensible à des phénomènes faisant intervenir la plastification.

III - DOMAINE D'INVESTIGATION.

A la différence d'autres techniques, tous les matériaux sont a priori susceptibles d'être étudiés simplement au moyen de cet essai, des plus fragiles aux plus ductiles. Signalons en passant qu'il s'utilise facilement aussi dans le cas des matériaux non métalliques (plastiques, verres...).

De même les conditions de dégradation peuvent être diverses :

● Fragilisations d'origine interne ou fragilités intrinsèques :

Fragilité à basse température (on peut tracer des courbes de transitions ductile-fragile). Fragilisations dues à l'écrouissage, aux traitements thermiques, au soudage, à de l'oxygène interne, à de l'hydrogène interne absorbé en diverses circonstances ; certaines sont bien connues, d'autres plus insidieuses : corrosion, mise en forme électrochimique, usinage... sont particulièrement bien mises en relief grâce au rapport élevé surface/volume que l'on a pour les disques.

● Fragilisation par l'environnement externe : H₂ gazeux, solvants, milieux corrosifs, gaz liquéfiés... (corrosion sous contrainte).

Lorsque le matériau et/ou le milieu sont peu connus a priori, on étudie systématiquement l'influence de la vitesse de sollicitation. En effet la cinétique de transport et d'abord - s'il y a lieu - d'absorption d'une espèce fragilisante est un élément essentiel ; de même les cinétiques de dépassivation de la surface par déformation plastique et de sa repassivation par adsorption d'impuretés contenues dans le fluide fragilisant. La figure 2 relative à la Fragilisation Par l'Hydrogène Gazeux montre :

— l'influence de la diffusivité de l'hydrogène D_H dans le cas de 2 aciers à haute résistance (HR) martensitiques :

D_H acier moyennement allié ① < D_H acier maraging

— l'influence de la température sur l'acier HR ① :

$(D_H)_{-60^\circ C} < (D_H)_{20^\circ C}$

— l'influence du niveau de résistance et corrélativement de la sensibilité à la FPH de l'acier ① traité à 2 niveaux de résistance :

Acier ① HR / ① MR (moyenne résistance)

— l'influence de la structure cristallographique, agissant sur la diffusivité D et la sensibilité σ à la FPH :

Alliage de Co CFC $\left[D_{250^\circ}, \sigma \right] / \left[D_{20^\circ}, \sigma \right]$ Aciers martensitiques.

Les courbes présentent une zone de sensibilité maximale qui correspond à un optimum de l'interaction H-dislocations. On voit Fig. 2b que l'atténuation de la FPHG aux basses vitesses peut devenir très importante dans le cas de matériaux très sensibles à la recontamination de la surface par les impuretés du gaz.

Lorsque la zone de vitesses donnant la sensibilité maximale est connue, on s'y replace pour des essais ultérieurs, comme l'évaluation sommaire de nouveaux lots de matière ou le suivi de la qualité de fabrication destinées à être utilisées en présence d' H_2 .

La comparaison des essais de disques avec le comportement des matériaux en service permet l'établissement d'un critère de qualité pour un matériau ou pour un environnement donné.

p_{He}/p_H doit être incontestablement inférieur à 2

p_{He} est la pression de rupture sous hélium d'un disque standard de métal non chargé,

p_H est

- soit la pression de rupture sous hélium du métal chargé en hydrogène
- soit la pression de rupture sous hydrogène gazeux ou sous fluide susceptible de libérer de l'hydrogène.

p_H est déterminé à la vitesse de mise sous pression donnant la sensibilité maximale.

En comparant les résultats des essais de laboratoire avec le bon comportement ou l'échec des matériaux en service on a montré que la valeur 2 constitue un repère entre le domaine des matériaux à la sensibilité acceptable et celui des matériaux trop sensibles.

Naturellement la position par rapport à ce repère ne dépend pas seulement du matériau, mais aussi des conditions fragilisantes p. ex. pression, pureté, température d'un gaz....

Donc, dans un programme d'essai, il est d'abord souhaitable d'effectuer si possible, des essais de rupture standard sous pression croissante de gaz à la température ordinaire, pour comparer les matériaux avec les quelques 130 matériaux déjà inventoriés dans ces conditions standard. Ensuite, s'il y a lieu, on effectuera des essais dans des conditions correspondant aux conditions de service particulières envisagées (soit moins ou plus sévères).

Si le rapport est alors > 2 , il est impératif de ne pas utiliser sous contrainte notable :

- soit le matériau donné chargé en hydrogène, si la teneur en hydrogène interne ne peut être abaissée.
- soit le matériau donné dans un milieu envisagé (rejet du milieu)...
- soit un matériau envisagé dans le milieu fixé (rejet du matériau)...

si l'on ne peut améliorer le milieu (p. ex. par inhibiteurs) ou le métal (p. ex. traitements thermiques ou de surface). Si le rapport est peu supérieur à 2, mais inférieur à 2,3, une tentative d'emploi, si des circonstances particulières la

motivent, doit être soumise à la prise de dispositions appropriées de différents ordres (p. ex. modification des conditions de service : pression, durée des cycles de fonctionnement, dégazages etc...)

Signalons enfin que l'on peut commodément étudier l'effet synergique ou la compétition entre différents types de fragilité ou de fragilisation.

IV - ESSAIS DERIVES.

- Essais de fatigue statique ou de rupture différée. Ils sont bien adaptés au cas où de l'hydrogène est fourni par une réaction de corrosion ou à l'étude de revêtements protecteurs.

- Fatigue lente : le disque est soumis à une pression alternative dont la fréquence est réglable. On peut comparer l'endurance d'un matériau donné en présence d'un milieu agressif à celle obtenue en milieu neutre.

- Disque entaillé au sommet. Cette éprouvette s'utilise cette fois avec le milieu agressif côté aval. L'éprouvette est plus épaisse et peut simuler une paroi soumise à une pression et à un milieu agressif (coque de bateau, citerne etc.) Cette éprouvette peut naturellement être utilisée en fatigue lente asymétrique. Des essais encourageants ont été entrepris sur des disques pré-fissurés en fatigue de façon à simuler le cas de parois comportant des défauts.

V - CONCLUSION.

L'existence d'une zone en déformation plane à l'encastrement, ainsi qu'une pression de franchissement de la limite élastique faible vis-à-vis de la pression de rupture, rendent cet essai particulièrement sensible pour l'étude de milieux agressifs sur les matériaux ainsi que pour la mise en évidence de fragilité.

Parmi les applications essentielles nous rappellerons :

- le choix des matériaux
- leur mode d'élaboration
- les traitements de surface
- l'assemblage
- l'optimisation des traitements thermiques
- la qualification de différents milieux à utiliser en présence d'un matériau donné.

C'est aussi un essai bien adapté aux recettes de matière.

Enfin la possibilité d'utiliser de minidisques en fait également un outil d'expertise.

References

- [1] JP. FIDELLE, L.E. ALLEMAND, C. ROUX, M. RAPIN. Essai rapide de fragilisation de disques métalliques par l'hydrogène sous pression (Quick pressure hydrogen embrittlement test on metallic disks). Coll. Valduc (1967). Ed. JP. FIDELLE, M. RAPIN CEA 91680 Bruyères-le-Châtel. Fr. (1969) 131-172.
- [2] JP. FIDELLE et al. The Disk Pressure Technique, DPT of Hydrogen Environment. Hydrogen Embrittlement Testing ASTM STP 543 (1974) 31-47, 221-253.
- [3] Les essais de disques sous pression (The Disk Pressure Tests). Coll. Ivry (1975). Ed. JP. FIDELLE. CEA 91680 Bruyères-le-Châtel, Fr.

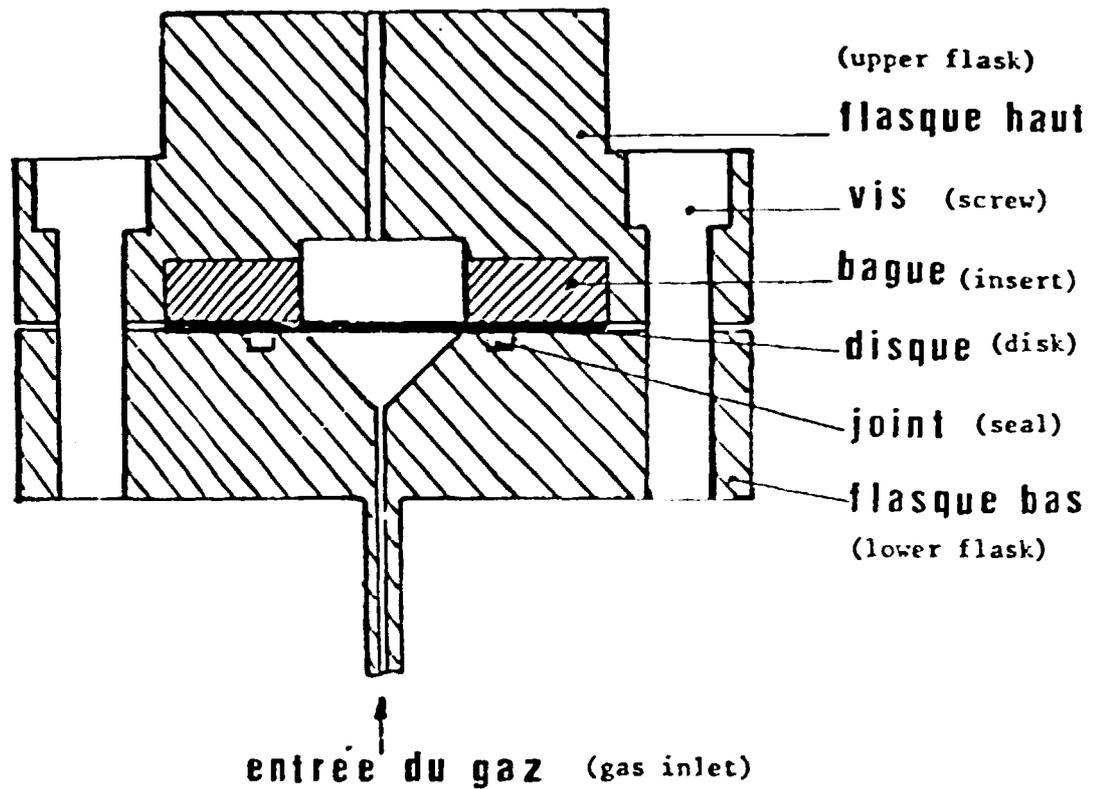


Fig. 1. Cellule de rupture sous pression de gaz. Modèle de base BF 58.

Disk Pressure Test, Basic Cell BF 58.

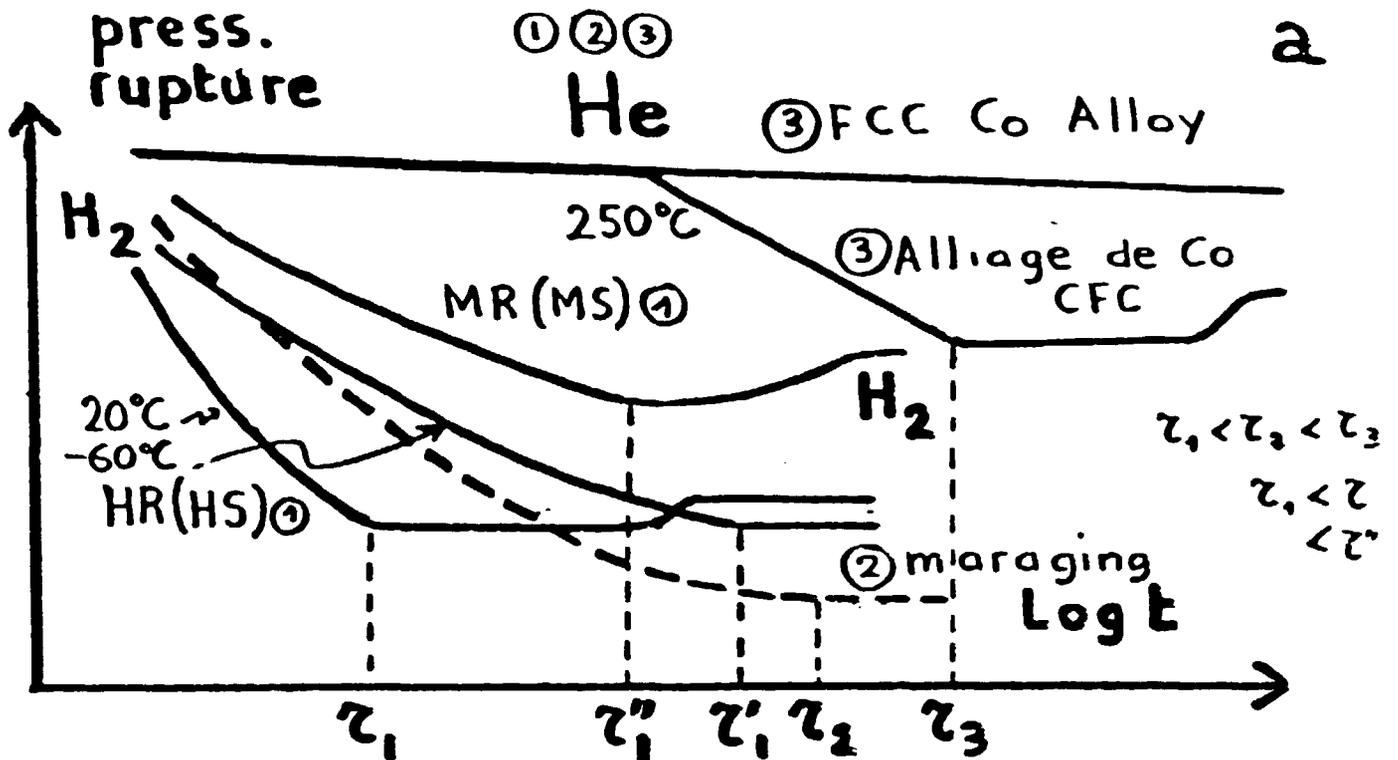


FIG 2 INFLUENCE DU TEMPS t OU DE LA VITESSE D'ESSAI SUR LA PRESSION DE RUPTURE
 INFLUENCE OF TEST DURATION t OR $\Delta p / \Delta t$ PRESSURE INCREASE RATE ON RUPTURE PRESSURE

