

LA FISSURATION INDUITE PAR L'HYDROGÈNE DANS LA PRATIQUE

CONNAISSANCES EN SOUDAGE

À la suite de l'article "Fissures induites par l'hydrogène dans l'acier", cet article présente des conseils afin de limiter le risque d'apparition de fissures dues à l'hydrogène dans les assemblages soudés. Nous parlerons entre autres du préchauffage, de la température d'interpasses et après soudage, de directives générales et de critères d'acceptation et nous vous donnons quelques conseils afin d'obtenir une soudure sans fissuration induite par l'hydrogène.

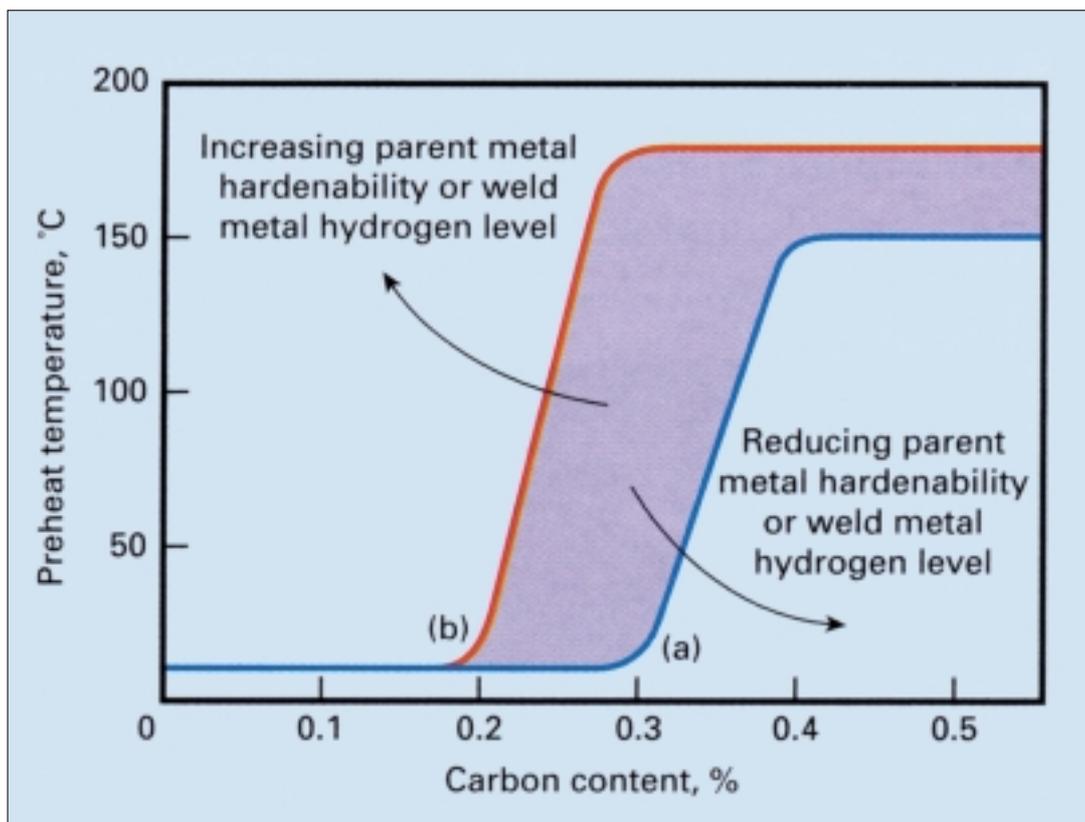


Figure 1 : les électrodes à haute teneur en nickel sont plus chères mais ont un coefficient de dilatation qui est voisin de l'acier au carbone

CAUSES

Trois facteurs sont responsables de l'apparition de ces fissures dans les soudures :

- l'hydrogène émanant du procédé de soudage choisi, l'air environnant et les conditions lors du soudage;
- une structure sensible à la fissuration due à l'hydrogène, souvent dure et fragile;
- la présence de tensions dans la soudure.

Pour une certaine application dans la pratique, on pourrait formuler ceci autrement, comme par exemple l'épaisseur du matériau, apport calorifique, composition chimique du matériau, type de joint, métal d'apport à choisir ou maintien de la température.

INFLUENCE DU PRÉCHAUFFAGE

L'effet du préchauffage lors du soudage est important. Une température élevée donne à l'hydrogène éventuellement présent le temps de diffuser hors de la soudure. De plus, la vitesse de refroidissement de la soudure est ralentie d'où le risque d'apparition d'une structure dure et fragile moindre, si pas exclus.

INFLUENCE DE LA TEMPÉRATURE D'INTERPASSES ET APRÈS SOUDAGE

Dans la pratique, il y a souvent une différence négligeable entre la température de préchauffage et la température d'interpasses. En fonction de l'épaisseur du matériau, de l'apport calorifique et de l'analyse chimique, cette température variera entre 50 et 300 °C. Le choix de la température adéquate dépend, entre autres, du C équivalent dans lequel la teneur en carbone joue un grand rôle pour la dureté finale à avoir. La fissuration due à l'hydrogène apparaît rarement dans le cas d'une température élevée. C'est pourquoi on maintient la température de préchauffage après soudage durant 2 à 3 heures dans des constructions où on présume que des fissures dues à l'hydrogène peuvent éventuellement être générées, afin de laisser s'échapper l'hydrogène présent dans la soudure. Il va de soi qu'en pratique, on ne doit pas laisser refroidir entre-temps une construction critique. Les constructions critiques doivent être soudées en une seule température. Le maintien de la

température de préchauffage (interpasses) durant le cycle complet du soudage est donc une nécessité.

Il faut parfois faire un traitement thermique. Si on refroidit entre-temps, ceci peut poser des problèmes. Après soudage, les soudures peuvent, dans presque tous les cas, être examinées pour détecter la présence de défauts après que la soudure soit refroidie. Si on chauffe après soudage ou si

LA BS 5135 APPENDIX E DONNE DES CONDITIONS COMPLÉMENTAIRES AUXQUELLES IL FAUT VEILLER AFIN D'OBTENIR UNE BONNE CONSTRUCTION

la soudure est soumise à un recuit de relaxation, on peut seulement contrôler la soudure après ce traitement. Si on détecte des défauts qui nécessitent des réparations, ceci peut entraîner des travaux très onéreux. Il est clair qu'il faut poser des exigences plus sévères à des soudures critiques afin d'éviter la

fissuration. Ainsi, la BS 5135 appendix E donne les points auxquels il faut veiller afin d'obtenir une bonne construction :

- importance de la tension interne
- épaisseur de l'acier à souder
- faible C équivalent (acier C-Mn avec - acier "propre" et acier avec une faible teneur en soufre (S
- utilisation de métaux d'apport à faible teneur en hydrogène.

MÉTAUX D'APPORT AUSTÉNITIQUES ET À FORTE TENEUR EN NICKEL

Les électrodes austénitiques et à forte teneur en nickel ont une structure austénitique. Dans cette structure, à température ambiante, une plus grande quantité d'hydrogène peut se dissoudre que dans une structure ferritique ou une variante de cette structure. L'hydrogène est retenu dans la structure austénitique de sorte que peu ou pas d'hydrogène ne peut diffuser vers une zone de transition fragile et dure. C'est pourquoi, dans certains cas où le préchauffage n'est pas pratique à réaliser, on choisit des électrodes austénitiques ou des électrodes à forte teneur en nickel. Les électrodes austénitiques sont du type E 307, E 309 et/ou E 312. Les électrodes à

haute teneur en nickel sont plus chères mais ont un coefficient de dilatation qui est voisin de l'acier au carbone. La tension de retrait dans les soudures sera donc moindre que lors de l'utilisation d'électrodes austénitiques. Voir **figure 1**.

CONSEILS PRATIQUES

La méthode la plus judicieuse pour éviter les fissures induites par l'hydrogène, est d'utiliser des procédés de soudage à faible teneur en hydrogène ou des électrodes à faible ou très faible quantité diffusible d'hydrogène. Les procédés de soudage peuvent être subdivisés en groupes:

- très faible (< faible (5-10 ml/100 g de métal déposé)
- moyen (10-15 ml/100 g de métal déposé)
- élevé (> 15 ml/100 g de métal déposé) (voir **figure 2**)

On trouve même sur le marché des électrodes ayant des teneurs en hydrogène inférieures à 3 ml/100 g de métal déposé.

On peut généralement dire que les procédés GTAW et GMAW (soudage TIG et MIG) fournissent des faibles à très faibles teneurs en hydrogène pour un choix approprié de gaz de soudage. Les procédés FCAW, SMAW et SAW (procédé de soudage avec fil fourré, avec électrodes et sous flux) peuvent avoir de fortes différences en teneur en hydrogène diffusible suivant le type, le fabricant, l'emballage et le traitement. Dans le cas d'applications critiques, il faut en tenir compte et suivre précisément les conseils des fournisseurs de métaux d'apport.

DIRECTIVES GÉNÉRALES

L'EN 1011, le "successeur" de la BS 5135, donne des directives pour le soudage sûr de certains types d'acier. Pour un aperçu détaillé, il faut approfondir cette norme. Globalement, on peut dire ceci:

- "Mild steel" (Céq < 0,4)

Bien soudable. Préchauffage souvent pas nécessaire lors de l'utilisation de procédés de soudage à faible teneur en hydrogène. Lors du soudage de fortes épaisseurs avec une tension interne élevée ou lors d'un procédé de soudage avec une forte teneur en hydrogène, le préchauffage est nécessaire.

- "Acier C-Mn" (teneur moyenne en carbone, acier faiblement allié, Céq 0,4-0,5)

Les sections minces peuvent être soudées sans préchauffage. Les sections plus importantes doivent être préchauffées et soudées avec des métaux d'apport à faible teneur en hydrogène.

- "Aciers alliés à teneur élevée en hydrogène" (Céq > 0,5)

Préchauffage. Application de métaux d'apport à faible teneur en hydrogène. Refroidissement lent souvent nécessaire. Traitement thermique complémentaire.

LES CONDITIONS IDEALES

Les conditions idéales pour obtenir une soudure sans fissuration induite par l'hydrogène sont:

- Veiller à avoir des joints propres, exempts de rouille, peinture, huile

et graisse.

- Appliquer un procédé de soudage à faible teneur en hydrogène.

- Sécher les électrodes et/ou le flux suivant les prescriptions du fournisseur.

- Diminuer la tension dans la soudure par une forme de joint,

l'hydrogène peuvent être très petites et peuvent également apparaître sous la surface, la détection de ces fissures n'est pas simple. Elles peuvent encore apparaître après un certain temps, après que la soudure soit déposée et refroidie. C'est pourquoi, il faut examiner une soudure après un certain temps



Un conseil pour éviter les fissures induites par l'hydrogène: utilisez des procédés de soudage à faible teneur en hydrogène

une succession des soudures et un remplissage du joint appropriés.

- Quand le préchauffage est prescrit, il est également nécessaire lors du pointage et du gougeage des joints.

- Préchauffer sur une largeur d'au moins 75 mm à partir du milieu du joint afin d'être sûr d'avoir une répartition uniforme de la chaleur sur l'épaisseur et la largeur du joint.

- Contrôler la température de préchauffage de l'autre côté du joint à souder. Si c'est impossible, laisser prendre le temps à la chaleur de pénétrer dans la construction.

- Suivre strictement les données d'apport calorifique mentionnées dans la procédure.

- Maintenir la construction à la température de préchauffage durant 2 à 4 heures afin de donner la possibilité à l'hydrogène de disparaître.

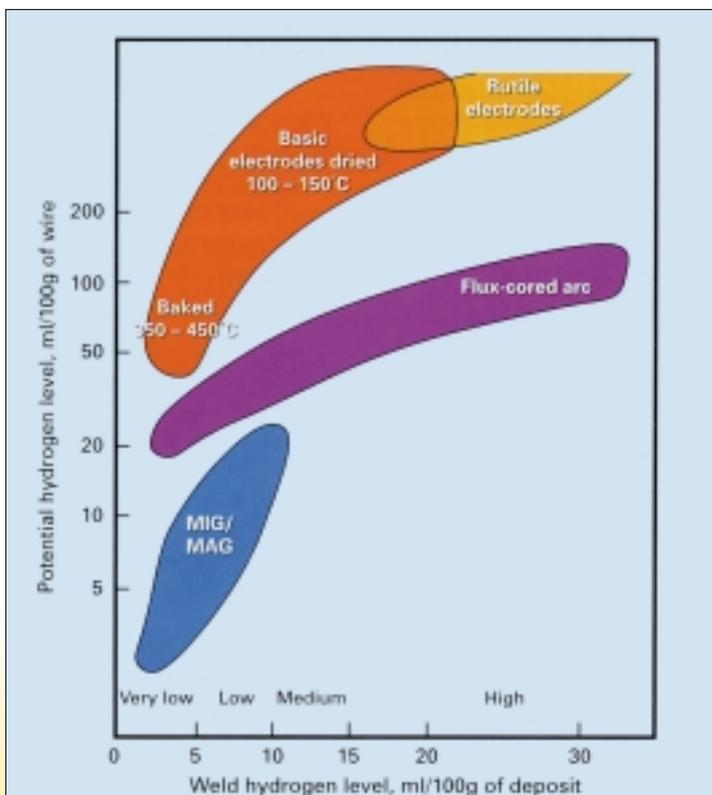
- Dans des situations où un préchauffage adéquat n'est pas réalisable, utiliser des métaux d'apport austénitiques.

pour détecter une éventuelle fissuration due à l'hydrogène. Si les fissures atteignent la surface, elles peuvent facilement être détectées par un examen visuel ou à l'aide d'un examen par ressuage ou des contrôles magnétiques.

Les fissures sous la surface peuvent être détectées par examen radiographique ou examen par ultrasons. L'examen par ultrasons a la préférence. La plupart des codes prescrivent que la fissure due à l'hydrogène doit être éliminée et même 5 mm plus profond et plus large que la fissure elle-même. Il va de soi que lors de la réparation, il faut utiliser des métaux d'apport, des procédés de soudage à faible teneur en hydrogène. □

Cet article est une adaptation de 'Job Knowledge for welders Part 46' de TWI Connect réalisée par Karel Bekkers et traduite en français par M.C. Ritzen (IBS)

Figure 2: les procédés de soudage peuvent être subdivisés en 4 groupes: très faible, faible, moyen, élevé



CRITÈRES D'ACCEPTATION, DÉTECTION DES IMPERFECTIONS ET REMÈDE

Les fissures dues à l'hydrogène sont des imperfections qui présentent des angles aigus. Dans les soudures, ces fissures sont inadmissibles si les soudures doivent satisfaire aux exigences posées par l'EN 25817 classe B, C et D.

Comme les fissures dues à

COLOPHON CAHIER I.B.S.

Alfred Dhooge
 Diamant Building
 Reyerslaan 80
 B-1030 Bruxelles
 Tél.: +32/270.681.50 et 53
 Fax: +32/270.681.55
 E-mail: alfred.dhooge@rug.ac.be
 Rédaction:
 Tilly Baekelandt
 Torhoutsesteenweg 226, boîte 2
 8210 Zedelgem
 Tél.: 050/24.04.04
 Fax: 050/24.04.45