

# FICHES D'INFORMATION ACIERS INOXYDABLES [3-3]

## LE SOUDAGE EN TANT QU'INITIATEUR DE FISSURATION ET FRAGILISATION DANS L'ACIER INOXYDABLE

La partie 3-3 de notre série de fiches d'information traite des problèmes possibles non liés à la corrosion lors du soudage d'acier inoxydable, y compris les mesures à prendre.

Par Ir. Robert Vennekens, IWE, CEWE, Fweldl, Centre de recherche de l'IBS, Service Guidance Technologique (Service subsidié par la Région Wallonne), Ir. Wim Van Haver, Centre de Recherche de l'IBS, Traduction: M.C. Ritzen – IBS-BIL

### FISSURATION A CHAUD

Quand des aciers inoxydables à structure complètement austénitique sont soudés, ceux-ci sont sensibles à la fissuration à chaud dans le métal déposé et la ZAT (fig. 1). Dans le dernier cas, on parle de 'liquation cracking'. De plus, quand on soude avec un métal d'apport complètement austénitique, le risque de fissuration à chaud est élevé. Ces fissures de solidification apparaissent à haute température durant le refroidissement de la soudure. Il subsiste de petits films liquides entre les dendrites austénitiques primaires ayant un point de solidification plus faible. Quand les dendrites austénitiques se rétractent durant le refroidissement, apparaissent alors de petites fissures intercrystallines dues aux tensions de retrait. Cependant, si de la ferrite delta (2-6 %) est présente dans le métal déposé austénitique, la sensibilité à la fissuration diminue alors fortement (fig. 2). Lors du soudage de l'acier inoxydable types 304 et 316, aucune fissure à chaud n'apparaît. Ceci sera expliqué plus tard à l'aide des diagrammes de Schaeffler/De Long. Les métaux d'apport stabilisés au niobium (Nb) semblent être sensibles à la fissuration à chaud même s'il y a de la ferrite dans le métal déposé. Ceci vaut également pour la ZAT de l'acier inoxydable austénitique stabilisé au Nb et Ti. Des éléments dans le métal déposé tels que P, S, O Si et Nb influencent négativement la fissuration. Afin d'éviter ces problèmes, il faut, en plus d'un choix approprié de l'exécution des soudures, poser des exigences élevées quant à la composition chimique et la teneur en ferrite du matériau de base et du métal d'apport. Les aciers

complètement austénitiques tels les types 310 sont très sensibles à la fissuration à chaud. On ajoute souvent 3-8 % Mn afin d'éviter cette fissuration. Cependant, la soudabilité est influencée négativement par le manganèse.

#### Mesures

- veiller à ce que le métal déposé contienne quelques pourcentages de ferrite delta;
- maintenir aussi bas que possible la teneur en P, S, O et Si du métal d'apport (par ex. %P + %S < 0,020);
- ajouter du Mn au métal d'apport lors du soudage d'aciers complètement austénitiques;
- dans le cas des aciers au Nb, poser des exigences pour la teneur en C et en Nb ainsi que pour le rapport Nb/C.

### PHASE SIGMA

Si des aciers inoxydables austénitiques tels que les types 310, 316, 317 et les types stabilisés 321 et 347 sont chauffés dans une plage de températures allant de 450 à 850 °C, une liaison intermétallique de fer et de chrome peut apparaître (FeCr) – appelée phase sigma – qui, à température ambiante, est dure et fragile et qui réduit fortement la ténacité. Cette phase sigma peut également apparaître dans les aciers au chrome ferritiques. Cette tendance à la précipitation augmente au fur et à mesure que la teneur en Cr augmente. Les aciers contenant du molybdène sont plus sensibles à la formation de cette phase. Le Si, le Ti et le Nb ont également une influence néfaste sur la vitesse de formation. Dans le cas des aciers inoxydables sans molybdène, cette formation apparaît généralement après un long séjour dans cette plage de températures critiques (fig.



Figure 1: Fissuration à chaud dans le métal déposé d'une pièce coulée et d'une tôle, en AISI 316, soudées en TIG sans métal d'apport



Figure 2: Soudure en AISI 304 avec quelques pourcents de ferrite delta



Figure 3: Une pièce coulée en AISI 316 a été refroidie trop lentement. Par conséquent, la ferrite delta s'est transformée en grande partie en phase sigma (deuxième phase plus sombre). A certains endroits, on distingue encore de la ferrite delta (plus claire que la phase sigma) Figure 5: Cassure dans un élément d'une installation de résine en acier inoxydable duplex. Cette pièce a été nettoyée tous les deux mois durant 1 h à 420-450 °C. Après 2 ans est apparue de la fragilisation à 475 °C. A gauche, on voit la fissure qui traverse la ferrite et évite l'austénite plus ductile



3 et 4). Dans le cas des aciers du type 316, si de la ferrite delta apparaît dans l'austénite, la phase sigma peut apparaître dans la ferrite après un séjour relativement court à haute température. Dans certains aciers à haute teneur en éléments formateurs de ferrite (par ex. le 317 à haute teneur en Mo), la phase sigma peut déjà apparaître durant le cycle thermique, surtout lors du soudage en multicouches. La ténacité du matériau diminue considérablement à température ambiante au fur et à mesure que la teneur en phase sigma augmente de sorte que des valeurs de résilience très faibles peuvent être rencontrées. L'action néfaste de la phase sigma peut être contrée par un traitement thermique au-dessus de 1.000 °C mais celui-ci est rarement fait dans la pratique. Il est recommandé de souder les aciers sensibles avec un apport calorifique relativement faible. On parlera plus tard de la formation de la phase sigma et d'autres précipités dans l'acier au Cr et au CrNi. Surtout dans le cas des aciers réfractaires à haute teneur en Cr, il faut tenir compte du comportement de ces précipités. Les aciers duplex sont également sensibles à la phase sigma sous certaines conditions.

**Mesures**

- lors du cycle de soudage, passer rapidement la plage de T critiques (850-450 °C);
- ne pas utiliser d'aciers sensibles dans la plage de T critiques;
- limiter la teneur en ferrite dans le métal déposé;
- utiliser des aciers à faible teneur en éléments favorisant la phase sigma (Mo, Si) et à haute teneur en Ni.

**FRAGILISATION À "475 °C"**

Ce phénomène apparaît dans des aciers au chrome ferritiques et dans l'acier inoxydable duplex si le matériau est chauffé entre 400 et 550 °C. Dans ce domaine de températures se forme une précipitation riche en chrome sur les limites de grains ce qui peut

fortement fragiliser l'acier (fig. 5). La précipitation se manifeste le plus rapidement à environ 475 °C. Il faut en première instance choisir un acier qui ne soit pas trop sensible à la fragilisation à la température de service dans la plage concernée (par ex. aciers à teneur un peu plus faible en Cr). Lors du soudage d'aciers sensibles à la fragilisation, il faut passer la plage de températures critiques aussi rapidement que possible. Les propriétés de l'acier fragilisé à la suite de ces précipitations peuvent être améliorées en appliquant un traitement thermique.

**Mesures**

- refroidir l'acier rapidement lors du passage dans la plage de températures critiques (400 – 550 °C), éviter l'utilisation de l'acier dans cette plage de températures;
- traitement thermique du matériau à une température supérieure à la plage de températures critiques.

**GROSSISSEMENT DES GRAINS**

L'acier ferritique au chrome pose problème en raison du fort grossissement des grains et de la fragilisation allant de pair quand il est chauffé à hautes températures où les carbures sont complètement dissous: ceci peut apparaître en quelques minutes à 900 °C et même en quelques secondes à 1.150 °C. Ceci peut donc arriver à des températures de service dans cette plage de températures et également durant le soudage. Si on utilise un métal d'apport de même composition que celle du métal de base, le grossissement des grains apparaît également dans le métal déposé (fig. 6). C'est pourquoi, on utilise souvent pour le soudage de l'acier ferritique au chrome un métal d'apport austénitique du type 309. Cependant, le grossissement des grains dans la ZAT est maintenu. Comme la structure reste ferritique jusqu'au point de fusion, elle ne peut pas être affinée par un traitement thermique. A l'acier au

chrome, on ajoute parfois un peu de Ti, Al ou Ni pour réfréner le grossissement des grains.

**Mesure**

Choix d'un matériau allié à des éléments freinant suffisamment le grossissement des grains (Ti, Al, Ni).

**FISSURATION A FROID**

En ajoutant suffisamment de carbone à l'acier au Cr, celui-ci devient durcissable. En fonction de la composition, du traitement thermique et de la vitesse de refroidissement, de la martensite va se former, phase à dureté élevée. En effectuant un revenu de la martensite, la dureté et la fragilité peuvent être réduites. Ces aciers au chrome martensitiques doivent être considérés comme des matériaux transformables dans le groupe des aciers inoxydables. Ils sont utilisés pour les outils de coupe et les matrices où on ne soude que très rarement. On les applique également dans l'industrie pétrolière, la construction de chaudières et la construction d'avions où l'acier à 12% Cr est utilisé pour les pièces soudées sous forme de tube ou de tôle. Les aciers inoxydables martensitiques ayant moins de 0,15% C peuvent être soudés à condition de prendre des mesures de précaution appropriées mais le préchauffage et le recuit après soudage sont généralement conseillés afin d'éviter la fissuration. Le soudage des variantes avec une teneur élevée en C doit se faire avec le plus grand soin. Si on ne préchauffe pas ou insuffisamment, le risque est grand de voir apparaître, après le soudage de l'acier au Cr martensitique, des fissures martensitiques, principalement dans la ZAT. De la fissuration retardée peut également apparaître en raison de la présence d'hydrogène (fissuration à froid). En préchauffant et en refroidissant relativement lentement, le niveau de tensions dues au retrait est moindre et une diffusion suffisante de l'hydrogène de la ZAT vers l'extérieur est

possible. Pour les aciers à 12% Cr, des températures de préchauffage entre 150 et 400 °C sont indiquées. Lors du choix de la température appropriée du préchauffage, il faut tenir compte de la quantité d'hydrogène provenant du procédé de soudage et de l'apport calorifique. Si on préchauffe à une température trop élevée, de l'austénite peut rester dans la soudure et la zone de transition qui se transforme en martensite dure après le recuit de relaxation. Ce qui est exigé au point de vue de la résistance et des propriétés physiques des soudures est d'utiliser des métaux d'apport ayant à peu près la même composition. Dans tous les autres cas, on utilisera des métaux d'apport du type 309 ou à haute teneur en Ni; ces matériaux à microstructure austénitique empêchent, dans une mesure importante, la diffusion de l'hydrogène vers les zones sensibles dans la ZAT.

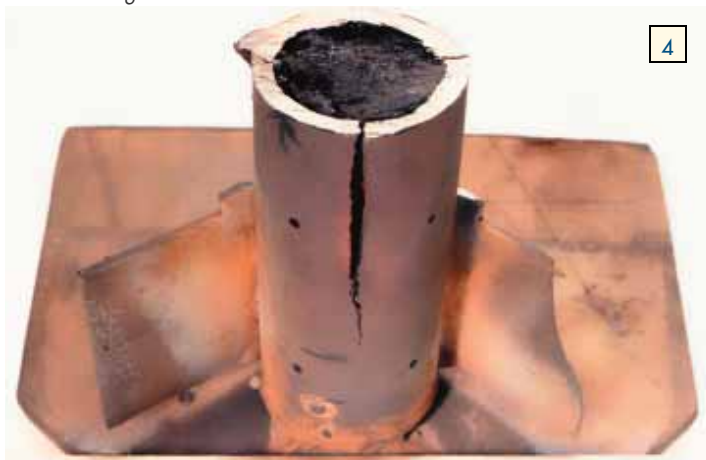
**Mesures**

- préchauffer et refroidir la pièce d'une façon appropriée;
- appliquer un revenu après soudage;
- utiliser des procédés à bas hydrogène et/ou un procédé à apport calorifique élevé;
- utiliser un métal d'apport austénitique. □

**BIBLIOGRAPHIE**

- Roestvast staal lassen, Van voorbereiding tot nabewerking; Smitweld bv, Nijmegen (1986)
- Lassen van roest- en hittevast staal, vm42, FME – NIL
- Corrosion Atlas – A collection of Illustrated Case Histories, During E D.D. compiler, 3th edition, 812p, 1997 Elsevier Science Amsterdam
- Les aciers inoxydables: Propriétés-Mise en Oeuvre-Emploi-Normes, Traduction autorisée de l'ouvrage allemand "Nichtrostende Stähle" - 2<sup>nd</sup> edition 1989 (Verlag Stahleisen mbH), 372 p, 1990, Technique et Documentation - Lavoisier

**Figure 4:** Tube en AISI 310 fissuré dans un four de distillation. A cause d'un bourrage provoqué par de la suie, la température a augmenté jusque dans la plage de la phase sigma. Les tensions engendrées ont provoqué de la fissuration intercrystalline sur le métal fragilisé



**Figure 6:** Grossissement des grains dans la zone affectée thermiquement de la soudure dans un acier inoxydable ferritique à 18 % Cr et 3 % Mo. Remarquez également la structure grossière des grains dans le métal déposé également ferritique

