

# FICHES D'INFORMATION – ACIERS INOXYDABLES [PARTIE 3-2]

## LE SOUDAGE EN TANT QU'INITIATEUR DE CORROSION: PROBLEMES POSSIBLES ET REMEDES

Lors du soudage de l'acier inoxydable, des problèmes peuvent apparaître durant ou après le soudage.

Les principaux sujets traités dans cet article, appliqués aux aciers inoxydables, sont les différentes formes de corrosion locale accélérée suite au soudage, la fissuration et la fragilisation pouvant être provoquées par le soudage.

 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

### PROBLEMES

Nous partons du fait que le soudage est réalisé par des personnes expérimentées/soudeurs qualifiés qui ont été formés pour le soudage de ces matériaux et que les procédures de soudage ont été établies par un coordinateur en soudage (Ingénieur, Technologue ou Spécialiste en Soudage). Même avec un métal d'apport approprié, une procédure de soudage correcte et une bonne exécution de la soudure, des constructions soudées apparaissent, après un certain temps, être sujettes à des endommagements et ce, sous la forme de fissures, corrosion, fatigue, fatigue par corrosion, ... L'examen de tels cas d'endommagement montre que la dégradation est parfois due au soudage même par

un échauffement et un refroidissement local trop rapide, mais est bien souvent dû aux propriétés métallurgiques des matériaux. On tentera parfois de faire correspondre les propriétés de la soudure à celles des métaux de base. Ceci veut dire que les propriétés du métal d'apport ne peuvent pas trop s'écarter de celles des matériaux soudés (tôles, profils ou tubes). Il est donc indispensable d'avoir une certaine connaissance de base métallurgique lors de la mise en œuvre du soudage de l'acier inoxydable c.-à-d. tout ce dont il faut tenir compte, au stade de la conception, en ce qui concerne les propriétés du matériau qui sont ou peuvent être importantes lors du soudage.

**Figure 2:** Corrosion par piqûres, principalement concentrée dans la zone de la soudure, due à de l'eau chlorée dans un élément d'une installation de traitement de déchets en acier inoxydable austénitique stabilisé AISI 316 Ti



**Figure 1:** Corrosion localisée dans un tube en acier inoxydable duplex 2205 (dessus: extérieur, dessous: intérieur du tube) due à la présence d'oxydes thermiques dans la zone de la soudure

### CORROSION ACCÉLÉRÉE SUITE AU SOUDAGE

#### A. Généralités

Dans les fiches précédentes, il a été dit que la résistance à la corrosion de l'acier peut être améliorée par l'addition de Cr ferritique et martensitique, la teneur en Cr varie entre 12 et environ 30%. Quand on ajoute d'autres éléments d'alliage, on peut obtenir une meilleure résistance à la corrosion (dans le cas du Mo et Ni), mais également une meilleure soudabilité. Les alliages austénitiques (avec minimum 17% Cr et 9% Ni) possèdent en plus de la résistance à la corrosion la plus élevée, la meilleure ductilité et une meilleure soudabilité en comparaison avec les aciers au Cr. Comme nous l'avons déjà mentionné, les aciers inoxydables ferritiques et austénitiques sont seulement résistants à la corrosion quand ils sont appliqués dans un milieu oxydant à la suite de la formation d'une peau d'oxydes de Cr bien adhérente. Cependant, quand ces oxydes ont été formés à haute température ("oxydes thermiques") par ex. à la suite du soudage ou d'un traitement thermique, le matériau est alors localement plus sensible à la corrosion en raison de petites fissures dans la peau d'oxydes (**fig. 1**). Dans des cas critiques, ces oxydes doivent être correctement éliminés (pour ce faire, nous vous renvoyons aux fiches sur le traitement de surface).

#### B. Corrosion par piqûres (pitting)

La corrosion par piqûres est très

dangereuse car l'attaque n'est pas régulière mais très localisée. Il apparaît dans la matière des piqûres qui peuvent rapidement devenir profondes. La corrosion par piqûres dans l'acier inoxydable austénitique apparaît surtout dans des milieux à teneur en Cr. L'attaque commence près d'un défaut local dans la couche d'oxydes. Il apparaît de petites taches directement sous la surface qui agissent comme une anode. La corrosion par piqûres peut également apparaître en présence de peinture, rouille, ... Du laitier ou de projections qui restent après soudage peuvent également poser des problèmes. Un bon décapage et une bonne passivation sont des remèdes pour éviter la corrosion par piqûres. Un contrôle régulier sur la formation de dépôts sur le métal d'installations dans l'entreprise est aussi important. L'insertion de l'oxygène est

contrecarrée et la surface métallique devient localement sensible. La couche d'oxydes invisible qui assure la résistance à la corrosion ne résiste pas absolument à l'attaque mais se dissout très lentement. Pour garantir une protection permanente, elle doit à nouveau se former. Il faut donc que l'oxygène puisse s'introduire librement (voir "Corrosion cavernueuse"). Une autre voie à suivre est de choisir des aciers moins sensibles à la corrosion par piqûres (teneur plus élevée en Ni ou Mo par ex.) lors de la construction de l'installation. Il en va de même pour les aciers inoxydables duplex. Par contre, les aciers stabilisés au Ti sont souvent beaucoup plus sensibles à la corrosion par piqûres que les autres aciers austénitiques (**fig. 2**). Dans la corrosion par piqûres, on a également la corrosion par contamination. Cette forme de corrosion apparaît du fait que des particules étrangères se déposent sur l'acier inoxydable d'une façon ou d'une autre. L'insertion de l'oxygène et la formation de couches protectrices d'oxydes de Cr sont ainsi contrecarrées de telle sorte que la surface est localement active. Des particules étrangères et des impuretés peuvent par ex. apparaître lors de l'utilisation d'outils comme des brosses en acier ou des disques de décapage pour l'acier non allié. Il est donc généralement déconseillé de mettre en œuvre l'acier ordinaire et l'acier inoxydable dans le même espace.

#### Mesures à prendre pour éviter la corrosion par piqûres:

- Utiliser des aciers contenant du Mo

- ne pas utiliser d'aciers stabilisés au Ti;
- toujours décaper et passer;
- éviter la contamination par des particules étrangères.

### C. Corrosion caverneuse

Quand deux surfaces d'aciers inoxydables sont situées l'une près de l'autre dans un liquide ou quand l'une ou l'autre matière non métallique recouvre l'acier entièrement ou partiellement, une fente se forme dans laquelle stagne du liquide peu en contact avec le liquide extérieur et donc non régénéré. Dans de tels cas, de la corrosion sérieuse apparaît souvent. On trouve des exemples dans les garnitures entre des brides où le liquide peut stagner entre la garniture et le métal. D'autres exemples où on peut penser à la corrosion caverneuse sont des spirales de refroidissement et de chauffage.

Ceci s'explique par le fait que la concentration en oxygène dans la fente est moindre qu'à l'extérieur de telle sorte que le degré d'acidité augmente et que l'acier dans la fente se met en solution. C'est donc un point auquel il faut faire attention lors de la conception des assemblages dans une construction. Ceci est également valable pour les soudures. Les fentes doivent être évitées autant que possible ou doivent être aussi grandes que possible. Obtenir les fentes en soudant est aussi un moyen de diminuer le risque de corrosion caverneuse. Une petite fente étroite donne toujours lieu à des problèmes, une fente large moins au pas. Il faut donc choisir des aciers moins sensibles à la corrosion caverneuse. L'utilisation d'aciers alliés au Mo, non stabilisés – comme pour la corrosion par piqûres – diminue le risque.

#### Mesures à prendre pour éviter la corrosion caverneuse:

- ne tolérer aucune fente;
- utiliser des aciers à teneur en Mo;
- ne pas utiliser d'aciers stabilisés au Ti;
- bien décaper et passer.

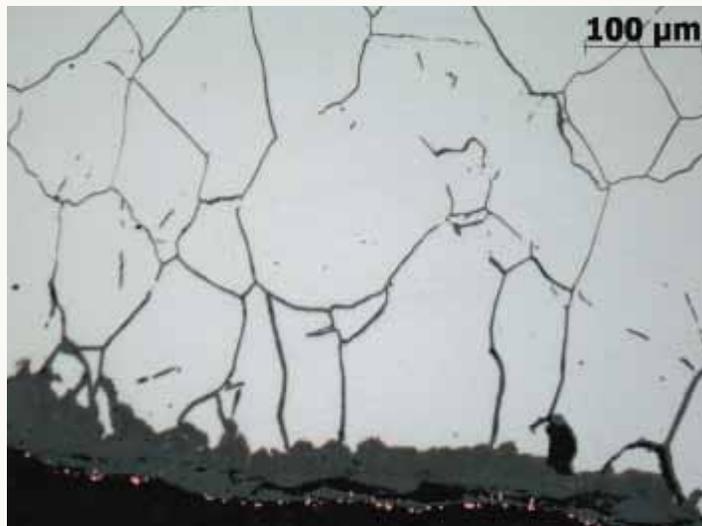
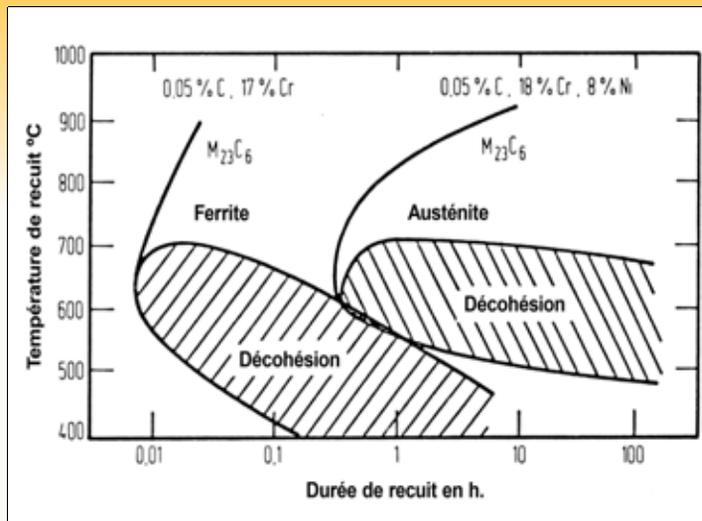
### D. Corrosion intercrystalline

Les aciers inoxydables austénitiques contiennent, à l'état de livraison, en fonction de leur composition, une quantité de carbone dissoute, en grande partie, dans la structure austénitique. Lors d'un échauffement entre 450 et 850 °C, ce carbone peut se fixer au chrome pour former des carbures qui vont migrer vers les limites de grains. La vitesse de formation de ces carbures est la plus élevée entre 500 et 700 °C en fonction du type d'acier (fig. 3). Dans le domaine de températures 450-850 °C, les atomes de carbone se déplacent assez facilement vers les limites de grains. La vitesse de diffusion du Cr n'est pas aussi élevée. Des carbures de

chrome se forment ainsi.

L'environnement des limites de grains est donc plus pauvre en chrome. Si la teneur en Cr descend sous 12 % se crée alors une zone plus sensible à la corrosion, appelée corrosion intercrystalline. Le matériau sensible à la corrosion intercrystalline est dit sensibilisé. La fig. 4 montre une telle structure et la fig. 5 une corrosion intercrystalline. Lors du soudage, la corrosion intercrystalline ne se présente pas principalement dans le métal déposé mais surtout dans la zone influencée thermiquement. On parle alors de "weld decay" (fig. 6). Lors du soudage en multicouches, le risque d'apparition de corrosion intercrystalline dans la soudure augmente. L'acier sensibilisé, acier appauvri en Cr autour de la limite des grains, peut être soumis à un recuit homogène aux environs de 900 °C. A cette température, les carbures subsistent mais la diffusion de Cr plus élevée compense l'appauvrissement en Cr aux limites de grains. Une autre méthode pour diminuer la sensibilité à la corrosion intercrystalline est de soumettre le matériau à un recuit de mise en solution à 1050-1100 °C et ensuite à une trempe de préférence dans l'eau. Les particularités des différents traitements thermiques seront traitées dans la partie 8. Les carbures de Cr ne se forment pas uniquement dans la zone influencée thermiquement mais également dans le reste de la construction quand la température de service se situe dans le domaine de sensibilisation. Dans ce cas, il y a entre autres risque de corrosion intercrystalline par formation de produits condensés lors de l'arrêt et du démarrage des installations ou si les installations sont nettoyées chimiquement. S'il y a risque de corrosion intercrystalline, il est nécessaire de choisir un autre matériau. Afin d'éviter ou de retarder la formation de carbures de Cr, plusieurs méthodes sont disponibles:

- diminuer la teneur en carbone jusqu'à un minimum de 0,03 % comme par ex. le type 304L ou 316L. Attention au déplacement des domaines de sensibilisation dans la figure 7,
  - ajouter des éléments d'alliages stabilisants qui sont de meilleurs formateurs de carbures que le Cr; ce sont le Ti et le Nb.
- Si l'acier inoxydable doit être exposé à des températures de service situées dans le domaine critique de température, on peut choisir une des possibilités susnommées: soit une qualité à teneur en C plus faible (éventuellement avec addition d'azote pour les résistances plus élevées, qualité "LN"), soit un acier stabilisé. Lors du traitement thermique des aciers stabilisés se créent, dans le matériau, des carbures de Ti ou Nb qui migrent à



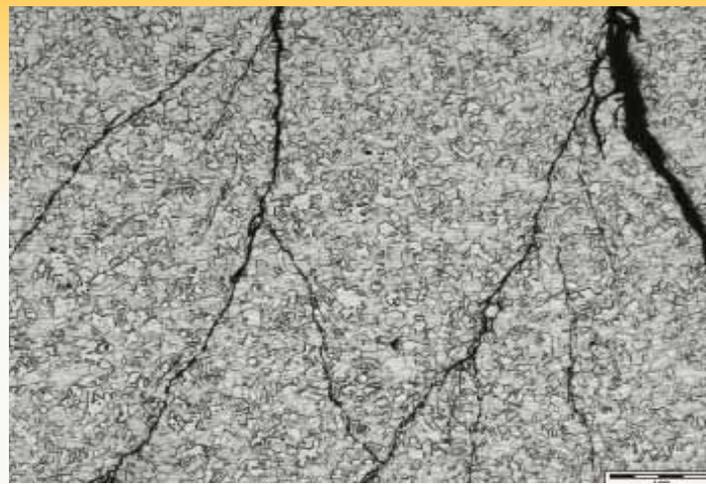
**Figure 3:** Formation de carbures dans un acier inoxydable ferritique typique (à gauche) et un acier inoxydable austénitique AISI 304 (à droite) en fonction du temps et de la température.

La zone hachurée donne le domaine critique pour différents matériaux, déterminé au moyen d'un essai standard (Strauss test)

**Figure 4:** Coupe métallographique décappée d'un tube à vapeur, à haute pression, en AISI 316, sensibilisé par un long séjour à 510 °C

**Figure 5:** Coupe métallographique non décappée du même tube qu'à la fig. 4 où de la corrosion intercrystalline est visible du côté interne du tube

**Figure 6:** "Weld decay" dans un coude d'une conduite de vapeur en AISI 304: la corrosion intercrystalline apparaît à 1 cm environ de part et d'autre de la soudure



**Figure 9:** Corrosion sous tension par chlorures dans l'acier inoxydable stabilisé AISI 304 Ti. Dans la coupe non découpée (à gauche), les précipités de carbures de titane sont visibles

l'intérieur des cristaux et spécifiquement à la limite des grains. Cependant, dans certaines circonstances, l'acier stabilisé peut, lors du soudage, être encore parfois sensible à la corrosion intercrystalline (voir paragraphe suivant).

#### Mesures à prendre pour éviter la corrosion intercrystalline:

- utiliser des aciers stabilisés;
- utiliser des aciers à faible teneur en carbone;
- ne pas appliquer de préchauffage, chauffage et de pliage à chaud;
- éliminer l'huile, la graisse, la peinture, les impuretés, ... dans et près de la soudure;
- faire de préférence un recuit de mise en solution.

#### E. Corrosion en lame de couteau

Si on soude de l'acier inoxydable stabilisé, des carbures de titane et de niobium peuvent être mis en solution très localement dans la ZAT. Ceci peut avoir lieu dans le domaine où la température a été un temps au-dessus de 1.100 °C – en d'autres termes tout près de la ligne de fusion. Le carbone se libère à nouveau et peut se lier au chrome. De ce fait, à température plus faible, dans un domaine très limité, des carbures de chrome peuvent

migrer ce qui donne de la corrosion intercrystalline. Cette forme d'attaque localisée, de la taille d'une lame de couteau, est appelée "knife-line attack". (fig. 8)

#### Mesures à prendre pour éviter la corrosion en lame de couteau:

- ne pas utiliser d'aciers stabilisés, mais par ex. des aciers à teneur faible en C;
- après soudage, faire un recuit de stabilisation.

#### F. Corrosion sous tension

Des tensions résiduelles apparaissent dans le matériau après soudage. Dans le cas de l'acier inoxydable austénitique, celles-ci peuvent entraîner de la corrosion sous tension, surtout dans des milieux contenant des chlorures. Les chlorures sont présents dans l'eau de mer, mais également dans des matériaux d'isolation contenant du PVC. Ils peuvent également être présents dans des produits de découpage, de l'eau de rinçage, ... Lors de l'attaque par des chlorures apparaissent des fissures qui, dans le cas de l'acier inoxydable austénitique, se propagent souvent à travers les cristaux métalliques (transcrystalline).

Les nombreuses ramifications de la

fissure constituent une deuxième caractéristique. La figure 9 donne un exemple des fissures par corrosion sous tension dans un acier Cr-Ni austénitique. Lors de la corrosion sous tension, la direction principale de la fissure est perpendiculaire à la direction de la tension. Cette forme de corrosion apparaît généralement au-dessus de 50 °C aux endroits où des tensions de traction sont présentes. Afin d'éviter l'apparition de corrosion sous tension dans ce cas, on peut appliquer un traitement thermique à 900 °C ou plus où les tensions résiduelles sont éliminées. Le risque de corrosion sous tension peut être diminué par ex. en maintenant aussi bas que possible les tensions de soudage. On peut y arriver en utilisant une séquence de soudage appropriée, des soudures symétriques, ... On peut également choisir un autre matériau (acier au chrome, duplex, alliage de Ni) qui est moins ou pas sensible à ce phénomène: l'apparition ou non de la corrosion sous tension, dans un milieu déterminé, dépend très souvent du matériau.

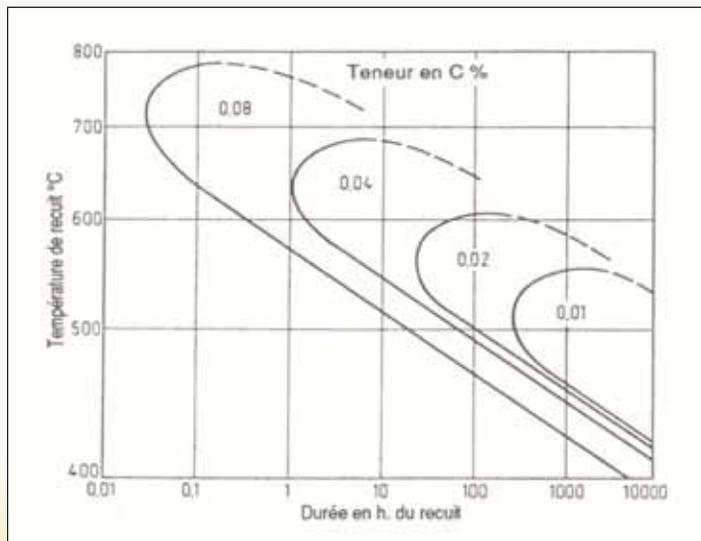
#### Mesures à prendre pour éviter la corrosion sous tension:

- construire sans tensions;

- souder, couper le moins possible;
- ne pas marteler, ou le moins possible, le matériau;
- veiller à avoir un bon film d'oxydes par découpage et passivation;
- appliquer un recuit de relaxation;
- utiliser, si possible, un acier au chrome, un acier duplex ou un alliage de nickel
- ne pas plier à froid ou déformer à froid;
- bien polir l'entièreté de la soudure. □

#### 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, 3rde editon, 812 p, 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 7:** Formation de carbures dans un acier inoxydable austénitique 18% Cr – 8% Ni en fonction du temps, de la température et de la teneur en carbone



**Figure 8:** Corrosion en lame de couteau (knife-line attack) (ligne verticale juste à gauche de la soudure) dans l'AISI 316 Ti dans la même installation dont on a vu un détail à la fig. 2