

LES COULEURS DE REVENU INFLUENCENT LA RESISTANCE A LA CORROSION DE L'INOX

SOUDEGE D'ACIER INOXYDABLE

Le soudage d'acier inoxydable peut donner lieu à l'apparition de couleurs de revenu. Des recherches ont démontré que les couleurs de revenu influencent la résistance à la corrosion de l'inox. Il vaut dès lors mieux éviter ou éliminer ces couleurs de revenu.

Jens Conderaerts – Project Manager Corrosion à l'Institut Belge de la Soudure

APPARITION DE COULEURS DE REVENU

L'acier inoxydable (inox) doit sa bonne résistance à la corrosion à une teneur de minimum 12% en chrome (Cr). Dans l'air ou dans l'eau, un fin film passif stable transparent d'oxyde de chrome se forme, de ce fait, à la surface. L'épaisseur de ce film n'est que de quelques nanomètres. Dans des conditions agressives (p.ex. acide sulfurique (H₂SO₄), une teneur en chrome de plus de 12% est nécessaire pour conserver un film passif stable. La teneur en nickel (Ni) et en molybdène (Mo) peut aussi jouer un rôle dans la résistance à la corrosion dans des conditions agressives [1].

Lors du soudage, l'inox est chauffé à une température élevée. La figure ci-dessous illustre ce phénomène. La zone affectée thermiquement, se trouvant à côté de la soudure, mais pas fondue, voit des températures supérieures à 1.000 °C. S'il y a de l'oxygène, il réagira immédiatement avec le métal.

En cas de température de crête plus élevée et de durée plus longue, une couche d'oxyde plus épaisse se forme. C'est ainsi qu'apparaissent les couleurs de revenu (voir **Figure 2**), ou 'heat tints' en anglais. Le **tableau 1** reprend un certain nombre de couleurs de revenu possibles, avec leur température de formation et leur épaisseur de couche typique.

INFLUENCE DES COULEURS DE REVENU SUR LA RESISTANCE A LA CORROSION

Des recherches allemandes ont démontré que les couches formées à une température inférieure à 400 °C étaient en fait principalement une couche d'oxyde de chrome plus épaisse. Entre 400 °C et 700 °C, la couche d'oxyde consiste principalement en oxyde de fer. A une température de formation encore plus élevée (> 700 °C), la couche d'oxyde se compose d'oxyde de chrome comme d'oxyde de fer. Le soudage d'inox et la présence des

couleurs de revenu altèrent la résistance à la corrosion.

La **Figure 3** montre l'influence de la teneur en oxygène dans le backing gas sur le potentiel de corrosion par piqûres. Quatre aciers inoxydables ont été testés: un inox duplex S32205 (1.4462) et trois inox austénitiques: AISI 316L (1.4404), 316Ti (1.4571) et 304 (1.4301). Ils présentent un numéro PREN (Pitting Resistance Equivalent with Nitrogen) différent, permettant d'estimer la résistance à la corrosion par piqûres. Le PREN est calculé ainsi: $PREN = \% Cr + 3.3 \% Mo + 30 \% N$. Les différents numéros PREN sont repris sur la **Figure 3**.

Un potentiel de corrosion par piqûres plus élevé implique une meilleure résistance à la corrosion. Plusieurs choses ressortent de cette figure: le matériau de base non soudé (GW) est à chaque fois la référence. Un PREN plus élevé signifie un potentiel de corrosion par piqûres plus élevé. Il y a un rapport linéaire entre PREN et potentiel de corrosion par piqûres.

Même après le soudage avec un backing gas pur et une bonne procédure de rinçage de backing gas (donc sans décoloration), le potentiel de corrosion par piqûres diminue. Cela est dû à un certain nombre de changements microstructuraux survenant lors du soudage et pouvant entraîner localement une concentration moins élevée d'éléments d'alliage. Cela est également discuté dans l'article de Gooch [1]. Une teneur localement moins élevée en chrome, molybdène et/ou azote signifie un PREN moins élevé et une résistance localement réduite à la corrosion par piqûres.

La présence de couleurs de revenu (à cause de la présence d'oxygène dans le backing gas) réduit le potentiel de corrosion par piqûres. Plus d'oxygène implique une diminution plus forte de la résistance à la corrosion. Dans le cas de l'inox duplex, la différence entre le matériau de base et une pièce soudée avec un gaz protecteur avec 100 ppm d'O₂ est limitée et n'est que d'env. 40 mV, contre env. 150 mV pour l'inox 316L et 316Ti, et même 250 mV pour l'inox 304. Les aciers inoxydables plus faiblement alliés sont donc plus sensibles à une réduction de la résistance à la corrosion due aux

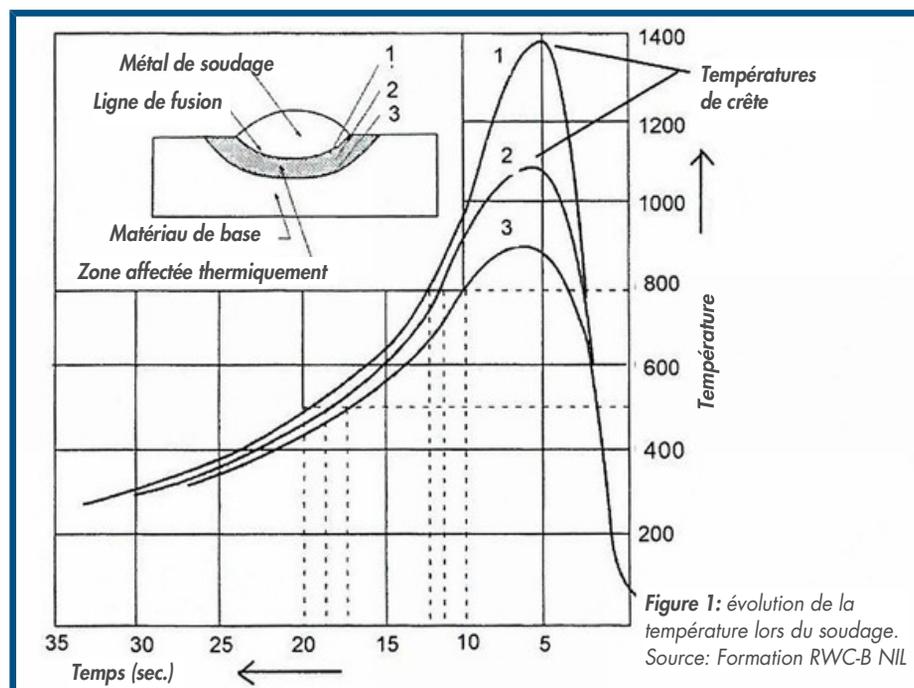


Figure 2: couleurs de revenu sur l'inox 316

COULEUR	TEMPERATURE	EPAISSEUR
Film passif (transparent)	Température ambiante	≤ 5 nm
Jaune chrome	< 400 °C	≤ 25 nm
Jaune paille	≤ 400 °C	25-50 nm
Jaune doré	500 °C	50-75 nm
Brun-rouge	650 °C	75-100 nm
Bleu de cobalt	900 °C	100-125 nm
Bleu clair	1.000 °C	125-175 nm
Incolore		175-275 nm
Brun-gris	1.200 °C	> 275 nm

Tableau 1: couleurs de la couche d'oxyde. Température de formation et épaisseur de couche (de [3])

couleurs de revenu. Notons également que l'inox duplex fortement allié avec des couleurs de revenu a toujours un potentiel de corrosion par piqûres nettement plus élevé que les autres types d'inox non soudés. Les types 316 ont aussi sur le graphique à 100 ppm d'oxygène une résistance à la corrosion similaire à celle des types 304 sous forme de base.

La corrélation des couleurs présentes avec le potentiel de corrosion par piqûres montre qu'une couleur de revenu jaune paille dans ce test implique déjà une résistance à la corrosion réduite. Le jaune paille est pourtant souvent qualifié de décoloration 'acceptable' dans les normes.

La norme NBN EN 12502-4 sur les installations de stockage et de distribution d'eau potable en acier inoxydable mentionne, par exemple, qu'une décoloration plus foncée que le jaune paille entraîne un risque accru de corrosion par piqûres. Dans des conditions agressives, même du jaune paille peut entraîner un risque accru [4]. Les conditions de test dans ce cas (0,1 M NaCl) peuvent

être considérées comme agressives, ce qui peut expliquer en partie la résistance à la corrosion réduite du jaune paille.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Il est clair que les couleurs de revenu ont un impact négatif sur la résistance à la corrosion. Que peut-on y faire?

Les couleurs de revenu peuvent tout d'abord être évitées à la base de la soudure en utilisant un backing gas et avec une bonne procédure de backing gas.

Les couleurs de revenu peuvent ensuite être éliminées via un traitement de surface. Pour cela, la soudure doit bien sûr être accessible. Un décapage permet un rétablissement optimal de la résistance à la corrosion.

Si ces options sont difficilement réalisables, il faut opter pour un inox plus fortement allié, voire un autre matériau. Le choix du matériau final dépend de l'application.

APPEL A PARTICIPER A LA RECHERCHE

Quelques questions restent sans réponse. Il est ainsi très clair que la résistance à la corrosion est altérée par la présence de couleurs de revenu, mais selon le type d'inox, il y a toujours une certaine résistance.

Reste donc à savoir pour quelles applications un traitement ultérieur est indispensable ou non. Les traitements ultérieurs exigent, en effet, non seulement beaucoup de temps (et donc d'argent), mais dans certains cas, ils sont aussi polluants (dans le cas de décapant avec de l'acide nitrique (HNO₃) et du fluorure d'hydrogène (HF)).

L'Institut Belge de la Soudure souhaite dès lors mettre un projet industriel conjoint sur pied pour étudier ces points.

Dans ce cadre, des soudures décolorées seront soumises à différents traitements ultérieurs et différents tests afin de déterminer l'influence du traitement ultérieur sur la résistance à la corrosion. Si ce projet vous intéresse, prenez contact via les coordonnées ci-dessous:

Jens Conderaerts – Project Manager Corrosion à l'Institut Belge de la Soudure
jens.conderaerts@bil-ibs.be
 +32 (0)9/292.14.22

SOURCES:

- [1] Gooch T.G., Corrosion Behavior of Welded Stainless Steel, Supplement to the Welding Journal, 135-s – 154-s, 1996.
- [2] Köstermann H., Schweißbedingte Anlauffarben – müssen grundsätzlich blanke Nähte gefordert werden? Abschätzung des korrosiven Einflusses von gelben Anlauffarben auf geschweißte CrNi(Mo)-Stähle, AiF 11.381 N/1, DVS 1.017
- [3] Ruge J., Radebold L., Einfluß von durch Schweißen erzeugten Oxidfilmen auf die Lochfraßbeständigkeit nichtrostender austenitischer Chrom-Nickel-Stähle in annähernd neutralen Chloridlösungen, BMFT-Abschlußbericht FE-KKs, Vol. 5, Proj.-Nr. B2 6/3, 101-104 (1990).
- [4] NBN EN 12502-4 Protection des matériaux métalliques contre la corrosion – Recommandations pour l'évaluation du risque de corrosion dans les installations de distribution et de stockage d'eau – Partie 4: facteurs à considérer pour les aciers inoxydables

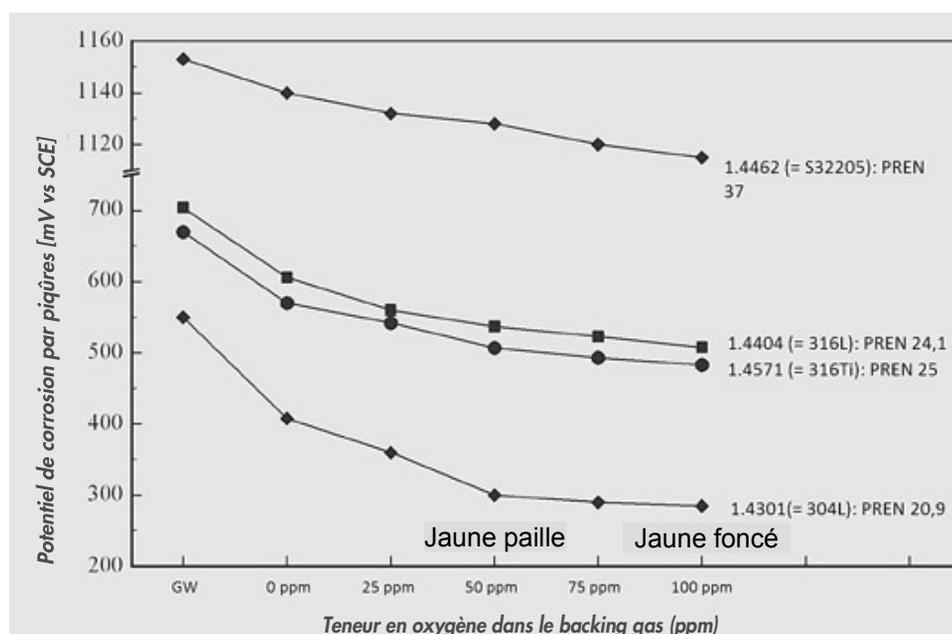


Figure 3: potentiel de corrosion par piqûres de différents aciers inoxydables avant le soudage (GW), après le soudage sans couleurs de revenu (0 ppm d'O₂ dans le backing gas) et après le soudage avec la présence de différents teneurs en oxygène dans le backing gas. Backing gas: argon. Solution de test: 0,1 mol NaCl par litre à 18 à 22 °C (de [2])