

# FICHES D'INFORMATION - ACIERS INOXYDABLES [PARTIE 1]

## HISTORIQUE ET GROUPES PRINCIPAUX

Cette série de fiches d'information consacrées aux aciers inoxydables passera en revue divers aspects de ces matériaux. Les principes de base seront traités ainsi que des sujets spécifiques. L'objectif est de donner des informations de base aux néophytes et de fournir une brochure d'informations pratiques aux spécialistes. Cette première partie présentera un historique du développement de ces matériaux, répondra à la question "Pourquoi l'acier inoxydable est-il inoxydable?" et expliquera également la différence entre les principaux groupes

**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**

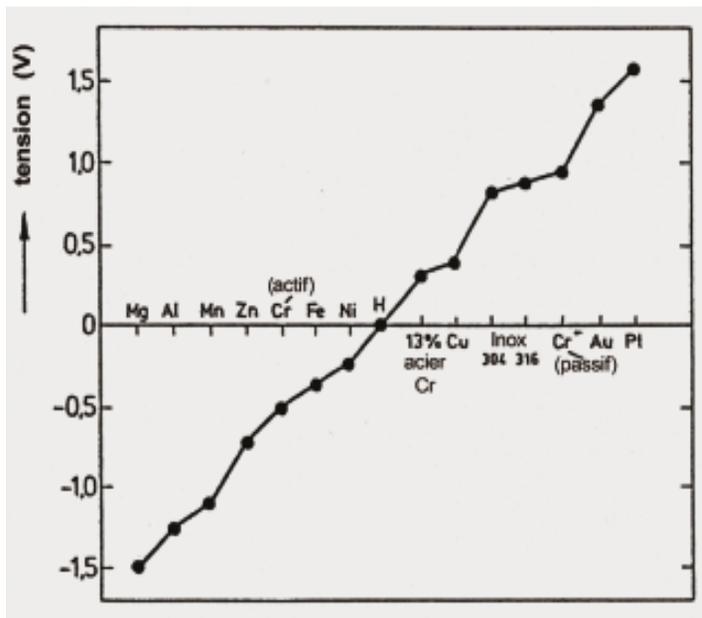


Figure 1: les valeurs de potentiel de certains éléments dans l'échelle des potentiels

## SERIE FICHES D'INFORMATION

### Partie 2

La deuxième partie traitera la classification de l'acier inoxydable et présentera des tableaux reprenant l'analyse type des différentes qualités. On retrouvera des tableaux comparatifs de la classification européenne et américaine (AISI).

### Partie 3

Bien que l'acier inoxydable ait une très bonne résistance à la corrosion, il peut cependant se

corroder dans des circonstances spécifiques ou lors d'un mauvais usage. La partie 3 reprendra les différents types de corrosion ainsi qu'une énumération de différentes structures métallographiques dangereuses qui peuvent apparaître dans des conditions d'utilisation spécifiques.

### Partie 4

La partie 4 traitera du choix des matériaux d'apport pour le soudage des différents types. Les joints dissemblables (noir-blanc) ne seront pas oubliés.

Le diagramme Schaeffler-De Long sera expliqué à l'aide d'applications pratiques. Le soudage des types les plus utilisés sera brièvement expliqué. De plus, on retrouvera des tableaux donnant la composition des différents métaux d'apport de soudage.

### Parties 5 et 6

Les parties 5 et 6 seront consacrées aux procédés de soudage couramment utilisés pour ces matériaux, en l'occurrence le soudage TIG et MIG (MAG), le

soudage à l'électrode enrobée et le soudage au plasma.

### Partie 7

Le traitement de surface de l'acier inoxydable fera l'objet de la partie 7.

### Partie 8

La partie 8 décrira brièvement les traitements thermiques.

### Parties 9 et 10

Enfin, les parties 9 et 10 donneront des exemples pratiques d'endommagements.

*Ir. Robert Vennekens, IWE, CEWE, FWeldl, Centre de Recherche de l'Institut Belge de la Soudure, Service Guidance Technologique:*  
 "L'objectif est de donner des informations de base aux néophytes et de fournir également une brochure d'informations pratiques aux spécialistes"



TABLEAU 1 - QUELQUES APPLICATIONS DE L' ACIER INOXYDABLE

TYPE AISI	WERK-STOFFNR.	PROPRIETES	DOMAINE D = APPLICATION
<b>Série AISI 200</b>		<b>Alliages austénitiques au Cr, Ni, Mn</b>	
<b>Série AISI 300</b>		<b>Alliages austénitiques au Cr, Ni</b>	
<b>AISI 302</b>	1.4310	Emboutissage	Décoration, cuisine
<b>AISI 303</b>	1.4305	18/8 acier de décolletage	Tournage, fraisage
<b>AISI 304</b>	1.4301	Acier 18/8 le plus utilisé	Industrie alimentaire, ind. chimique
<b>AISI 304L</b>	1.4306	Pas sensible à la corrosion intercrystalline	Soudure de qualité
<b>AISI 305</b>	1.4303	% Ni plus élevé, emboutissage	Casseroles, poêles, couverts
<b>AISI 308</b>	1.4315	Cr et Ni plus élevé	Métal d'apport pour AISI 304
<b>AISI 309</b>	1.4828	Résistant à haute température	Fours, brûleurs
<b>AISI 310S</b>	1.4845	Résistant à haute température	Fours, brûleurs
<b>AISI 316</b>	1.4401	Le plus utilisé après 18/8	Industrie alimentaire, ind. chimique
<b>AISI 316L</b>	1.4404 / 1.4435	Pas sensible à la corrosion intercrystalline	Soudure de qualité
<b>AISI 316Ti</b>	1.4571	Pas sensible à la corrosion	Spécialement au-dessus de 400 °C
<b>AISI 321</b>	1.4541	Pas sensible à la corrosion intercrystalline	Aussi au-dessus de 400 °C
<b>AISI 347</b>	1.4550	Pas sensible à la corrosion intercrystalline	Aussi au-dessus de 400 °C
<b>Série AISI 400</b>		<b>Aciers ferritiques et martensitiques au Cr</b>	
<b>AISI 409</b>	1.4512	Pas cher, résistant à haute température et à la corrosion	Echappements automobile
<b>AISI 410</b>	1.4006	Martensitique	Résistance élevée
<b>AISI 420</b>	1.4021	Martensitique	Qualité couteaux
<b>AISI 430</b>	1.4016	Décoratif	Industrie automobile
<b>AISI 440</b>	1.4112	Martensitique, %C plus élevé	Qualité rasoir

**HISTORIQUE**

Pour le néophyte, l'acier inoxydable est un terme simple pour dire qu'un matériau est indestructible, ne rouille jamais et résiste à toute forme de corrosion. Si c'était si simple! Pour le spécialiste, c'est un sujet très compliqué... Chaque année, des quantités énormes d'acier sont perdues à cause de la corrosion. Pour y remédier, on a développé différents types d'alliages résistants à la corrosion à l'air ambiant, dans un milieu corrosif ou à haute température. Des groupes très importants de ces alliages sont les aciers inoxydables au chrome et chrome-nickel. Ceux-ci peuvent être alliés à d'autres éléments pour améliorer les propriétés sous conditions d'applications spécifiques. Un matériau exempt de rouille n'est pas nécessairement inoxydable, c.-à-d. résistant à la rouille ou à la corrosion. La pratique montre que ces aciers peuvent rouiller dans des conditions spécifiques. Une autre propriété de ces alliages est qu'ils sont résistants à l'oxydation jusqu'à une certaine température. Une couche d'oxydes est formée à la surface qui protège le métal contre l'oxydation/attaque. Des additions d'autres éléments d'alliages peuvent augmenter la résistance à l'oxydation. Un descriptif de la création de ces aciers inoxydables nous mènerait trop loin. En voici donc un bref aperçu. Tout commence en 1797 quand Vauquelin a pu isoler l'élément

chrome. Les premières publications sur les alliages fer-chrome datent de 1820. C'est en 1912 qu'on a eu connaissance de la structure et des propriétés mécaniques et chimiques. Un peu après la première guerre mondiale, donc après 1918, ces matériaux ont été développés pour des applications industrielles. Grâce aux nouvelles méthodes de production et aux nouveaux domaines d'application, un grand nombre de types ont été développés au cours des ans et... la recherche continue.

**POURQUOI L'ACIER INOXYDABLE EST-IL INOXYDABLE?**

La résistance à la corrosion d'un acier inoxydable semble dépendre des conditions d'utilisation. En termes simples, la définition de l'acier inoxydable est: "L'acier inoxydable est un alliage de fer avec d'autres éléments très résistants à la corrosion" ou "Les aciers inoxydables et les aciers résistants à haute température sont des alliages de fer au chrome et d'autres éléments qui ont une résistance relativement élevée à la corrosion et/ou à l'oxydation". L'acier inoxydable est résistant à la corrosion car une fine couche d'oxydes fermée se forme à la surface. Grâce à cette fine couche protectrice, le processus d'oxydation, la formation de

rouille, est tellement retardé qu'on peut parler d'un matériau inoxydable. Un acier "ordinaire" peut rouiller ou se corroder car la couche d'oxydes est poreuse. La résistance à la corrosion des aciers inoxydables ne se limite pas à des cas où l'eau entre en ligne de compte. Ces matériaux sont résistants à la corrosion dans d'autres milieux dits agressifs comme dans la pétrochimie. L'acier inoxydable trouve ses applications dans des domaines où la corrosion n'est pas

**LES ELEMENTS QUI INFLUENCENT DE FAÇON POSITIVE LA FORMATION D'UNE COUCHE D'OXYDES FERMEE SONT, ENTRE AUTRES, LE CHROME, LE MOLYBDENE, LE CUIVRE, L'ALUMINIUM, LE SILICIUM ET LE COBALT**

admissible pour des raisons techniques, esthétiques ou médicales comme par exemple l'industrie alimentaire, les brasseries, les installateurs de cuisine, l'appareillage médical, etc. Le tableau 1 donne un aperçu des applications des aciers inoxydables. Les éléments qui influencent de façon positive la formation d'une couche d'oxydes fermée sont, entre autres, le chrome, le molybdène, le cuivre, l'aluminium, le silicium et le cobalt. Si on ajoute, par ex. à un acier ordinaire au carbone 1 à 2% de cuivre (avec addition éventuelle de 0,1 à 0,2% de phosphore), on améliore, de façon significative, la résistance à la corrosion atmosphérique; ce sont les aciers dits "Cor-Ten" ou aciers résistants aux intempéries. Pour des applications chimiques, cela ne suffit pas. Il faut donc ajouter du

chrome, éventuellement en combinaison avec du nickel, du molybdène et parfois de l'aluminium. L'aluminium, le chrome et le silicium sont très efficaces s'il s'agit d'une oxydation pure à l'air et surtout à des températures élevées. Le chrome comme élément d'alliage donne la meilleure résistance à la corrosion grâce à la place de cet élément dans l'échelle des potentiels électrochimiques (figure 1). L'échelle va de l'électropositif et très noble, à l'électronégatif et non noble. A l'état actif, le chrome a un potentiel négatif (-0,56 V), le fer est plus noble et a un potentiel moins négatif (-0,44V). La couche d'oxydes de chrome à la surface des aciers inoxydables a un potentiel positif de + 0,8 V; dans cet état, le chrome est passif. Les valeurs citées sont valables pour un potentiel standard de l'hydrogène de 0 V. La teneur en chrome et la présence d'autres éléments influencent cette valeur. La figure 1 donne les valeurs de potentiel de certains éléments dans l'échelle des potentiels. L'acier inoxydable a une teneur en chrome de 12 à ± 30%. Avec une faible teneur en chrome (12-14%), l'état de surface a également une influence sur la résistance à la corrosion.

**LES DIFFERENTS GROUPES PRINCIPAUX**

Afin d'améliorer la résistance à la corrosion et les propriétés mécaniques, on ajoute, en plus du chrome, d'autres éléments d'alliages comme le nickel, le molybdène, le titane, le cuivre, le

**TABEAU 2 - PROPRIÉTÉS PHYSIQUES**

Dénomination		Re 0,2 0,2% limite d'élasticité MPa	Re <sub>m</sub> Résistance à la traction MPa	A Allongement %	Dureté HRB	Coefficient de dilata- tion moyen à 20 °C 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> 20 - 400 °C
EN	AISI / ASTM					
<b>Aciers inoxydables austénitiques</b>						
1.4301	304	210 - 230	520 - 720	45	80	17,5
1.4306	304L	200 - 220	500 - 670	45	79	18,0
1.4436	316	220	530 - 730	40	-	17,5
1.4404	316L	220 - 240	520 - 680	45 - 40	79	17,5
1.4541	321	200 - 220	500 - 720	40	80	17,5
1.4450	347	200 - 220	500 - 720	40	85	17,5
<b>Aciers inoxydables ferritiques</b>						
1.4512	409	220 - 280	380 - 560	25	75	11,6
1.4016	430	260 - 280	430 - 630	20 - 18	85	10,5
1.4749	446	380	550 - 585	15 - 13	83 - 84	11,0
<b>Aciers inoxydables martensitiques</b>						
1.4006	410	205 - 450	550 - 850	20 - 12	90	12
<b>Aciers inoxydables duplex</b>						
1.4462		460 - 480	640 - 950	25 - 20	31	14
<b>Aciers inoxydables à durcissement par précipitation</b>						
1.4542	630	600 - 1150	850 - 1300	12 - 8	-	11,6
<b>Aciers</b>						
S235JR		235	340 - 470	24 - 26		12,0
S355JR		355	490 - 630	20 - 22	-	12,0

niobium (parfois appelé columbium), l'azote ... Selon la manière d'allier et suivant la teneur en éléments d'alliages, différentes phases structurales peuvent être créées. Il existe ainsi des aciers inoxydables à structure ferritique, martensitique, austénitique ou ferritique-austénitique (figure 2). La plupart des normes relatives aux aciers inoxydables donne une classification en quatre groupes principaux

- l'acier ferritique au chrome
- l'acier martensitique au chrome
- l'acier ferritique/austénitique au chrome-nickel aussi appelé acier "duplex"
- l'acier austénitique au chrome-nickel.

En fait, il existe cinq groupes principaux d'aciers inoxydables. Dans la plupart des cas, les aciers inoxydables à durcissement par précipitation sont également

considérés comme une catégorie séparée. Bien que, dans la pratique, ces aciers soient moins mis en œuvre, on les traitera également.

Ces principaux groupes se distinguent sur le plan métallurgique et sont très différents du point de vue physique et mécanique. Ceci est surtout important lors de l'évaluation de la soudabilité qui sera traitée ultérieurement.

**COMME LA TENEUR EN CARBONE EST RELATIVEMENT ÉLEVÉE, LES ACIERS MARTENSITIQUES AU CHROME SONT DURCISSABLES AU CONTRAIRE DES ACIERS FERRITIQUES AU CHROME**

durcissable.

On peut en déduire que ces aciers ont un pouvoir de conductibilité thermique relativement faible par rapport à l'acier non allié.

Une propriété importante de l'acier ferritique au chrome est que lors de l'échauffement jusqu'au point de fusion, la structure n'est pas modifiée. Par conséquent, le grossissement des grains qui se manifeste à des températures élevées (comme par ex. lors du soudage), ne disparaîtra pas suite à un traitement thermique. Il est bien connu qu'un grossissement de grains entraîne une fragilisation du métal. Il faut en tenir compte lors du soudage d'un acier ferritique au chrome.

L'addition de certains éléments d'alliages comme le nickel, le titane, le vanadium et l'azote diminue légèrement cette sensibilité au grossissement de grains.

Quand un acier ferritique au chrome reste longtemps entre 600 et 850 °C, une nouvelle phase peut se former sur les joints des grains, c'est la phase sigma. Il s'agit d'un alliage intermétallique fer-chrome qui a une dureté élevée et une grande fragilité à l'air ambiant ce qui donne

de faibles résiliences.

Plus la teneur en chrome est élevée, plus le matériau est susceptible de former cette phase. De plus, il existe un phénomène qui, pour un acier ferritique au chrome, peut mener à une faible ductilité (faible résilience): c'est la fragilisation à 475 °C qui est créée par la précipitation d'une phase riche en chrome.

Une autre propriété d'un acier ferritique au chrome est que le matériau peut devenir fragile (en fonction de la composition chimique et de la grosseur du grain) à basse température (sous 0 °C). On préchauffera donc légèrement (100-200 °C) le matériau avant soudage. En raison de la soudabilité limitée des aciers ferritiques au chrome, ils ne sont pas souvent utilisés comme matériau de construction dans la pétrochimie.

**Aciers martensitiques au chrome**

Ces aciers contiennent généralement 12 à 18% Cr, pas de nickel et ont une teneur en carbone relativement élevée. Du point de vue métallographique, les aciers martensitiques au chrome ressemblent fort à des

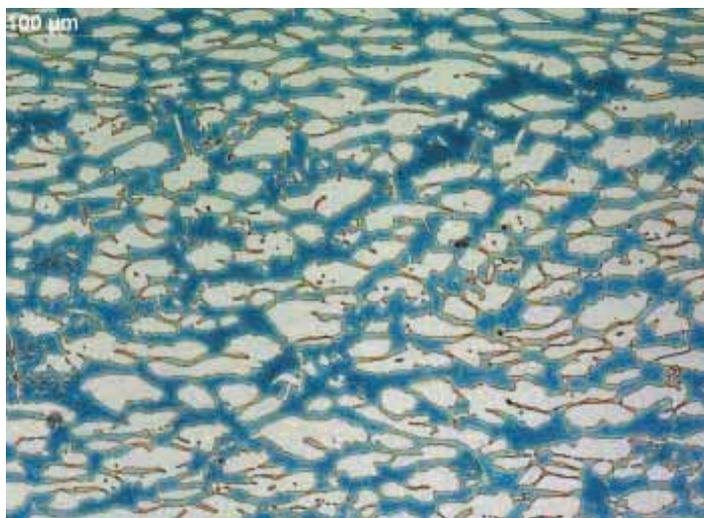


Figure 2 (de haut en bas)  
 Aciers ferritiques au chrome  
 Aciers martensitiques au chrome  
 Aciers austénitiques au chrome et au nickel  
 Aciers ferritiques-austénitiques au chrome-nickel

aciers au carbone durcis. Comme la teneur en carbone est relativement élevée, les aciers martensitiques au chrome sont durcissables au contraire des aciers ferritiques au chrome. Les aciers martensitiques au chrome ne sont guère utilisés dans les constructions soudées. Ils trouvent leur application dans la fabrication de couteaux, instruments médicaux, pièces de turbines, matrices, ... autrement dit quand une exigence en résistance à la corrosion et résistance à l'usure est posée.

**Aciers ferritiques-austénitiques au chrome-nickel**

Ces aciers, et surtout les aciers "duplex", connaissent un vif intérêt étant donné leur faible sensibilité à la corrosion sous tension et à la corrosion par piqûres (pitting). Les aciers inoxydables ferritiques-austénitiques sont magnétisables mais non durcissables.

Ils contiennent comme principaux éléments d'alliages du chrome (18-28%), du nickel (4-10%) et également du molybdène (1,5-3%).

Le nom "duplex" vient de ce que la structure contient environ 50% d'austénite et 50% de ferrite. Grâce aux techniques de fusion modernes spéciales, il a été possible de produire ces aciers de façon économique. Ils se distinguent des autres aciers inoxydables conventionnels par une combinaison de différents facteurs comme la limite d'élasticité et la résistance à la corrosion plus élevées.

Ces aciers sont également sensibles à la fragilisation à 475 °C et sont moins sensibles au grossissement de grains par comparaison avec les aciers inoxydables ferritiques. Le préchauffage de ces aciers n'est généralement pas nécessaire mais il est conseillé de limiter la température d'interpasses à 150-180 °C.

*La résistance à la corrosion des aciers inoxydables ne se limite pas à des cas où l'eau entre en ligne de compte. Ces matériaux sont résistants à la corrosion dans d'autres milieux dits agressifs comme dans la pétrochimie*



*En termes simples, la définition de l'acier inoxydable est: "L'acier inoxydable est un alliage de fer avec d'autres éléments très résistants à la corrosion" ou "Les aciers inoxydables et les aciers résistants à haute température sont des alliages de fer au chrome et d'autres éléments qui ont une résistance relativement élevée à la corrosion et/ou à l'oxydation"*

La phase sigma peut se former lors d'un maintien de longue durée entre 600 et 850 °C

**Aciers austénitiques au chrome et au nickel**

Pour appartenir à ce groupe, la somme des teneurs en chrome et nickel doit être supérieure à 26%. Les types 18/8 et 18/10 bien connus appartiennent à ce groupe. La teneur en C est limitée à 0,08% ou 0,03% (qualité L).

Les aciers austénitiques au chrome-nickel ne sont pas magnétisables et ont une microstructure homogène.

Celle-ci rend le matériau ductile, doux et déformable. Les propriétés mécaniques sont bonnes, également à très basses températures (jusque -196 °C). La déformation à froid entraîne une

augmentation de la résistance à la traction et de la dureté du matériau, mais une diminution de

l'allongement, de la striction et de la ténacité.

En général, les aciers austénitiques au chrome-nickel sont bien soudables. Ils ne sont pas durcissables et pas trop sensibles au grossissement des grains, mais ils sont sensibles à la fissuration à chaud du métal fondu (surtout quand le rapport chrome-nickel est inférieur ou égal à 1,8). Cette sensibilité à la fissuration à chaud

diminue quand il y a un certain pourcentage de ferrite dans le matériau qui se solidifie. Lors du refroidissement, cette ferrite est principalement transformée en austénite.

**EN GENERAL, LES ACIERS AUSTENITQUES AU CHROME-NICKEL SONT BIEN SOUDABLES. ILS NE SONT PAS DURCISSABLES ET PAS TROP SENSIBLES AU GROSSISSEMENT DES GRAINS, MAIS ILS SONT SENSIBLES A LA FISSURATION A CHAUD DU METAL FONDU**

En pratique, on essaie d'obtenir une teneur résiduelle en ferrite de 3 à 10% (c'est la ferrite delta). La limite d'élasticité de l'acier inoxydable austénitique est relativement basse avec une résistance à la traction supérieure à celle d'un acier non allié. L'addition d'azote entraîne une augmentation de la limite d'élasticité.

De plus, il faut mentionner que ces aciers ont un coefficient de dilatation élevé, une faible conductibilité thermique et une résistance électrique élevée (tableau 2).

**Aciers au chrome-nickel à durcissement par précipitation**

Ces aciers inoxydables spéciaux sont un compromis entre la résistance et la dureté des aciers inoxydables martensitiques et la résistance à la corrosion des aciers inoxydables austénitiques. En plus du chrome (souvent 17 %) et du nickel, des éléments comme le cuivre, l'aluminium, le titane, le niobium et le molybdène sont ajoutés pour obtenir un durcissement par précipitation dans la matrice martensitique ou austénitique. Un traitement thermique à température relativement élevée, après déformation à froid, entraîne une forte augmentation de la résistance mécanique et de la dureté et également de la résistance à la corrosion. Ces aciers peuvent être magnétisables ou non en fonction de leur composition chimique. La soudabilité de ces aciers est comparable à celle des aciers austénitiques au chrome-nickel. Il est conseillé de réaliser le traitement de durcissement par précipitation après soudage pour éviter une forte diminution de la dureté, de la résistance mécanique et de la résistance à la corrosion due à l'apport calorifique du soudage. Comme ce n'est pas toujours possible, ces aciers ne sont presque jamais soudés. □



**BIBLIOGRAPHIE**

1. Roestvaststaal lassen, Van voorbewerking tot nabewerking; Smitweld bv, Nijmegen (1986)
2. Lassen van roest- en hittevast staal, vm42, FME – NIL
3. The professional's Advisor on: Welding of Stainless Steels, AWS (American Welding Society - 1999)
4. Welding Handbook, Volume Four, Seventh Edition; Metals and their weldability, Chapter 2, Stainless Steels pp. 76-147 (AWS 1982)
5. Metals Handbook, Ninth Edition, Volume 6: Welding, Brazing and Soldering (ASM – American Society for Metals, 1983)
6. Stahlschlüssel (Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH & Co. 2004).
7. Roestvast Staalgids 2006 pp. 30-35.