

Métal d'apport (Classes AWS)

MMA Manuel à l'arc		SAW Arc submergé		MIG / MAG Arc sous protection gazeuse		FCAW Fil fourré	
AWS A5.5	E 12018	AWS A5.23	F 12AX-EX	AWS A5.28	ER 120S-X	AWS A5.29	E 12XT-X
AWS A5.5	E 11018	AWS A5.23	F 11AX-EX	AWS A5.28	ER 110S-X	AWS A5.29	E 11XT-X
AWS A5.5	E 10018	AWS A5.23	F 10AX-EX	AWS A5.28	ER 100S-X	AWS A5.29	E 10XT-X
AWS A5.5	E 9018	AWS A5.23	F 9AX-EX	AWS A5.28	ER 90S-X	AWS A5.29	E 9XT-X
AWS A5.5	E 8018	AWS A5.23	F 8AX-EX	AWS A5.28	ER 80S-X	AWS A5.29	E 8XT-X
AWS A5.5	E 8016	AWS A5.23	F 7AX-EX				
AWS A5.5	E 7028	AWS A5.17	F 7AX-EX	AWS A5.18	ER 70S-X	AWS A5.20	E 7XT-X
AWS A5.1	E 7018						
AWS A5.1	E 7016						

NB: «X» signifie un ou plusieurs codes.

▲ Recommandations générales sur le choix du métal d'apport pour le soudage des aciers HARDOX et WELDOX

- Les procédés FCAW, SAW et MMA demandent toujours un flux basique.
- La résilience du métal déposé doit être au moins égale à celle de la tôle.
- Toujours choisir un métal d'apport (flux) de faible teneur en hydrogène ($HD \leq 5 \text{ ml/100 g}$)

Pour des informations plus détaillées, veuillez vous reporter au *Manuel de soudage des aciers d'Oxelösund* que nous aurons le plaisir de vous adresser gratuitement.

Nous pouvons également vous adresser sur demande notre documentation de mise en oeuvre sur le « Pliage/cisaillage », le « Perçage/fraisage/taraudage », la « Découpe » ou le « Tournage/fraisage ».

Nos ingénieurs en applications se tiennent à votre disposition pour vous apporter leurs conseils et leurs recommandations sur le soudage, le choix des matériaux, l'usinage et les traitements de surface.

SSAB
OXELÖSUND

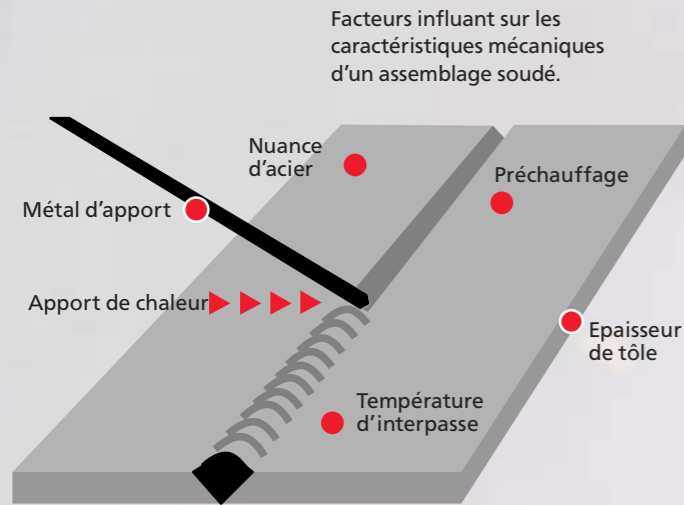
SSAB Oxelösund AB Téléphone +46 155 25 40 00
SE-613 80 Oxelösund Télécopie +46 155 25 40 73
Suède www.ssabox.com

HARDOX®
WELDOX®

soudage

SSAB
OXELÖSUND

Faiblement alliées, les nuances d'acier de SSAB Oxelösund – la tôle d'usure **HARDOX** et la tôle de construction à haute résistance **WELDOX** – présentent un faible carbone équivalent. Elles peuvent donc être soudées avec toutes les tôles de construction courantes en utilisant les méthodes de soudage conventionnelles.



HARDOX et WELDOX présentent un faible carbone équivalent dans leur classe de résistance.

Un acier présentant une faible valeur en carbone équivalent (CE) offre une aptitude au soudage supérieure à celle d'un acier à valeur élevée. Les valeurs type de carbone équivalent pour chaque épaisseur de tôle sont indiquées dans nos fiches techniques.

Le carbone équivalent (selon IIW) se calcule de la manière suivante:

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15}$$

Température des pièces à souder

Lors du soudage des aciers de construction et des aciers résistant à l'abrasion, il est important de réduire le risque de fissuration à froid (également appelée fragilisation due à l'hydrogène ou fissuration retardée). La présence d'hydrogène associée aux contraintes dans un assemblage soudé est la raison principale de ce type de fissuration.

Le risque de fissuration peut être réduit en :

- préchauffant le métal de base avant le soudage,
- s'assurant que les surfaces du joint sont parfaitement propres et sèches,
- réduisant les contraintes de retrait. Ceci peut être obtenu par un bon ajustement des pièces à souder et en planifiant correctement les séquences des passes de soudage (soudage équilibré),
- choisissant un métal d'apport à faible teneur en hydrogène.

Lors du soudage des aciers HARDOX, il est important de :

- maintenir la dureté dans la zone affectée thermiquement (ZAT),
- obtenir une bonne ténacité dans la ZAT.

Lors du soudage WELDOX, il est important de :

- atteindre une bonne résistance statique dans l'assemblage soudé,
- obtenir une bonne résilience dans l'assemblage soudé.

Nuance d'acier	Epaisseurs	Carbone équivalent CEV (IIW) *
S355	5-100 mm	0,39-0,43
WELDOX 355	8-25 mm	0,34-0,37
WELDOX 420	6-80 mm	0,37-0,39
WELDOX 460	6-80 mm	0,37-0,42
WELDOX 500	8-80 mm	0,37-0,42
WELDOX 700	4-130 mm	0,39-0,64
WELDOX 900	4-80 mm	0,56
WELDOX 960	4-50 mm	0,56-0,64
WELDOX 1100	5-40 mm	0,68-0,72
HARDOX 400	4-130 mm	0,36-0,70
HARDOX 450	4-80 mm	0,41-0,62
HARDOX 500	5-80 mm	0,58-0,68

*) Valeurs type.

Préchauffage

Le préchauffage est spécialement nécessaire pour le pointage et pour les passes de fond.

Plus la température est élevée pendant et après le soudage, plus l'hydrogène pourra s'échapper facilement de l'acier.

Le besoin en préchauffage augmente avec l'épaisseur de tôle (voir tableau page suivante), d'une part pour compenser le refroidissement plus rapide et d'autre part, parce qu'une tôle épaisse a une valeur plus élevée en CEV qu'une tôle mince.

Si l'humidité ambiante est élevée et/ou si la température est inférieure à +5°C, les valeurs données dans le tableau doivent être augmentées de 25°C. Il faut également augmenter la température de la même valeur si les pièces à souder sont fortement contraintes.

HARDOX et WELDOX sont des marques déposées. SSAB Oxelösund AB est le seul fournisseur de ces nuances.

Lors de la réalisation d'un assemblage soudé à partir de différentes nuances d'acier – ou lors du soudage avec des électrodes ayant un carbone équivalent (CEV) supérieur à celui du métal de base, le besoin en préchauffage se détermine en fonction de l'acier (ou de l'électrode) ayant la valeur CEV la plus élevée.

Post-chauffage

Le post-chauffage d'un joint effectué directement après le soudage permet également à l'hydrogène de s'échapper plus facilement de l'acier.

La température de post-chauffage devra être la même que celle du préchauffage.

La durée du maintien de la température sera au moins de 5 minutes par mm d'épaisseur de tôle et jamais inférieure à une heure.

Températures de préchauffage recommandées

Les températures recommandées pour les pièces à souder sont basées sur :
 – une teneur en hydrogène n'excédant pas 5 ml/100 g de métal déposé,
 – énergie de soudage d'environ 1,7 kJ/mm.

*) La température de préchauffage sera fonction du métal d'apport si son carbone équivalent est supérieur à celui de la tôle.

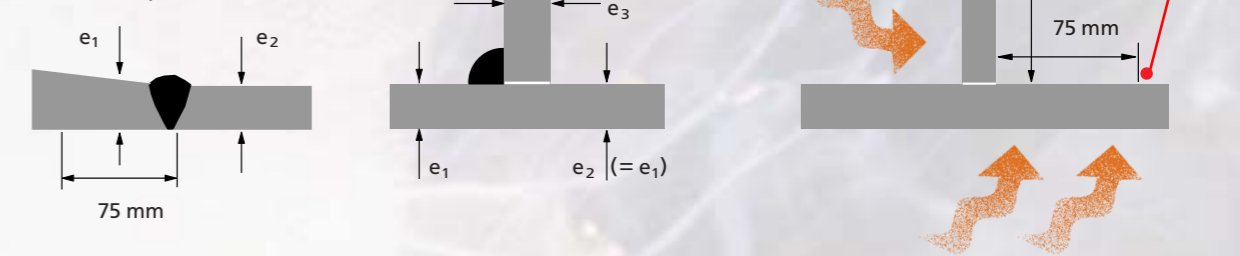
... pour épaisseurs de tôle combinées [mm]	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
$e_1 + e_2 + e_3 =$													
S355 (SS 2132)											75°C		
WELDOX 355													
WELDOX 420/460				Température ambiante						75°C			
WELDOX 500										75°C			
WELDOX 700					75°C				100°C	150°C			
WELDOX 900 *		75			100°C					150°C			
WELDOX 960 *		75			100°C					150°C			
WELDOX 1100 *		100	125°C		150°C					175°C			
HARDOX 400				75°C			100°C			175°C			
HARDOX 450				100°C			125°C			175°C			
HARDOX 500		100	125	150°C					175°C				

Temp. d'interpasse recommandées

Nuance d'acier	Température d'interpasse
S355 (SS 2132)	225-250°C
WELDOX 355	225-250°C
WELDOX 420/460	225-250°C
WELDOX 500	200-225°C
WELDOX 700	200-225°C
WELDOX 900	150-175°C
WELDOX 960	150-175°C
WELDOX 1100	150-175°C
HARDOX 400	150-175°C
HARDOX 450	150-175°C
HARDOX 500	150-175°C

Epaisseur de tôle combinée, en mm

e_1 = épaisseur de tôle moyenne calculée à 75 mm du métal déposé.



Post-traitement

Recuit de détente

Le recuit de détente a pour objectif de réduire les contraintes résiduelles de soudage.

WELDOX ne devra subir ce traitement que dans le cas où les règles de conception l'exigent.

HARDOX et WELDOX 1100 ne doivent pas subir de recuit de détente.

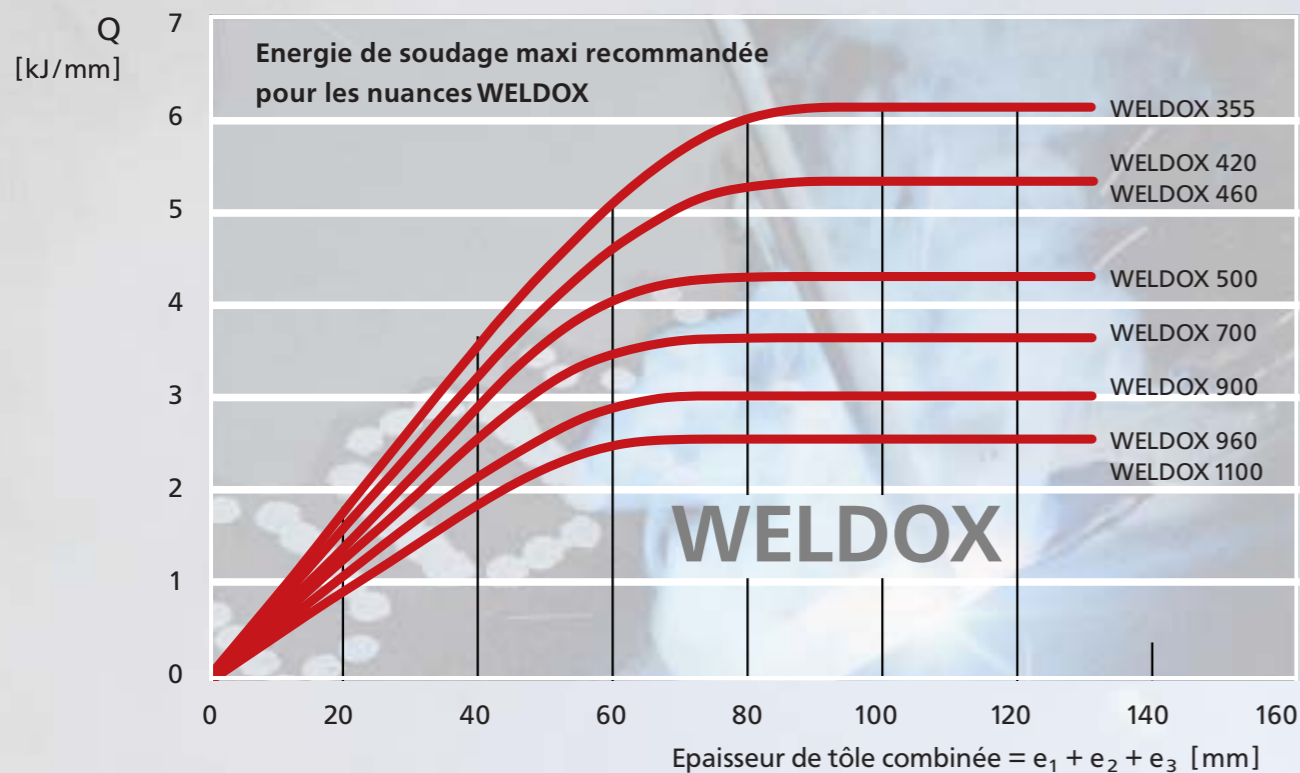
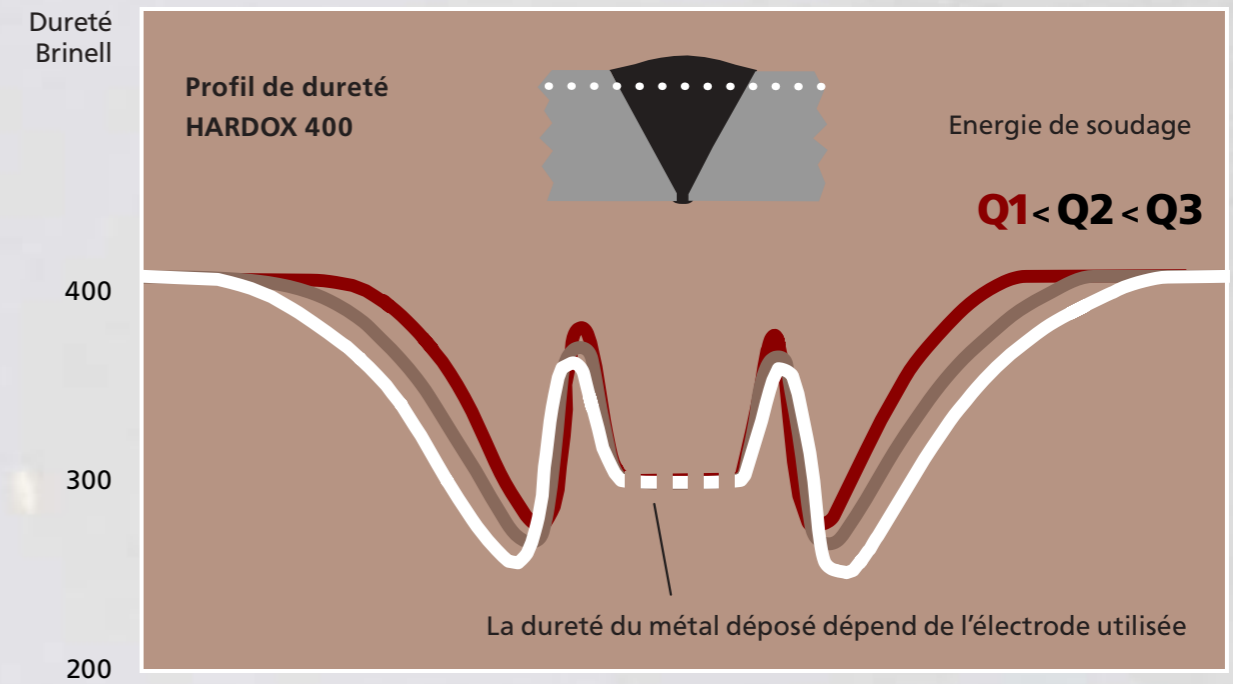
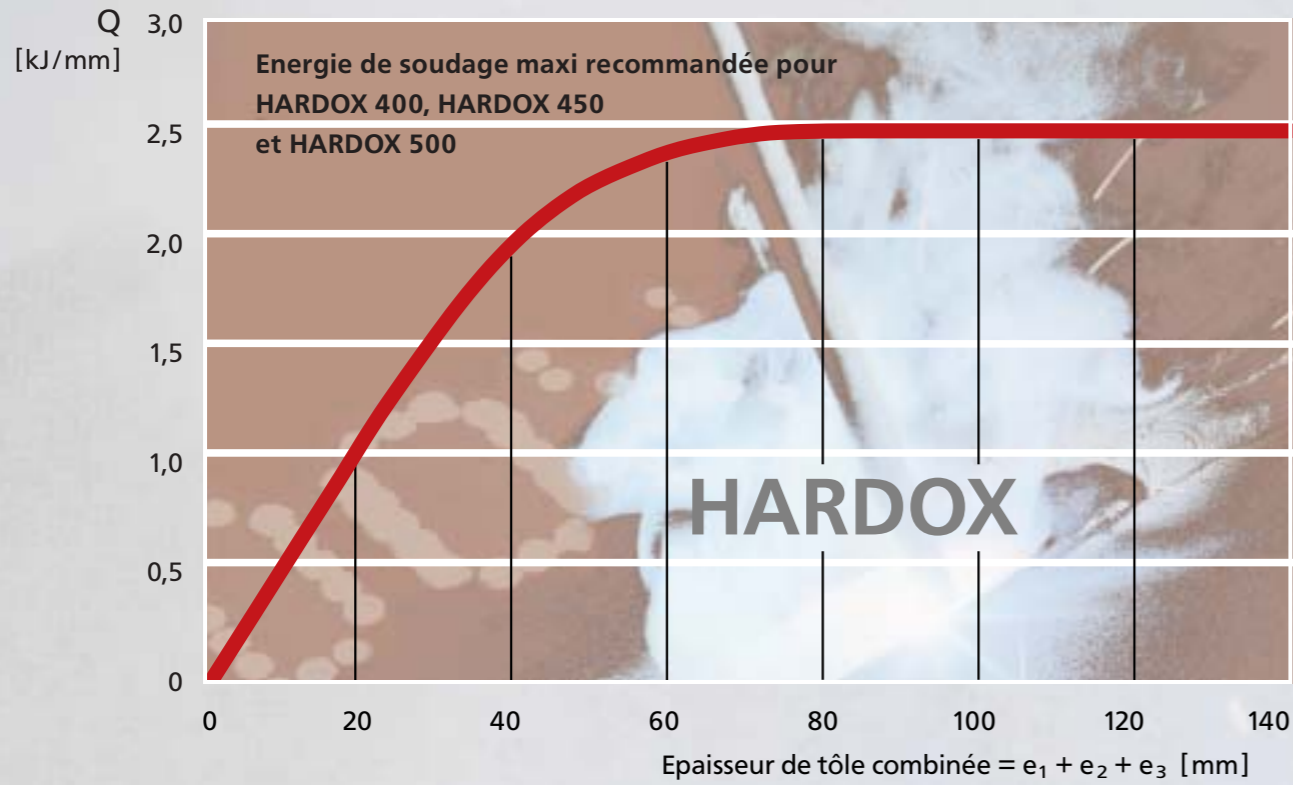
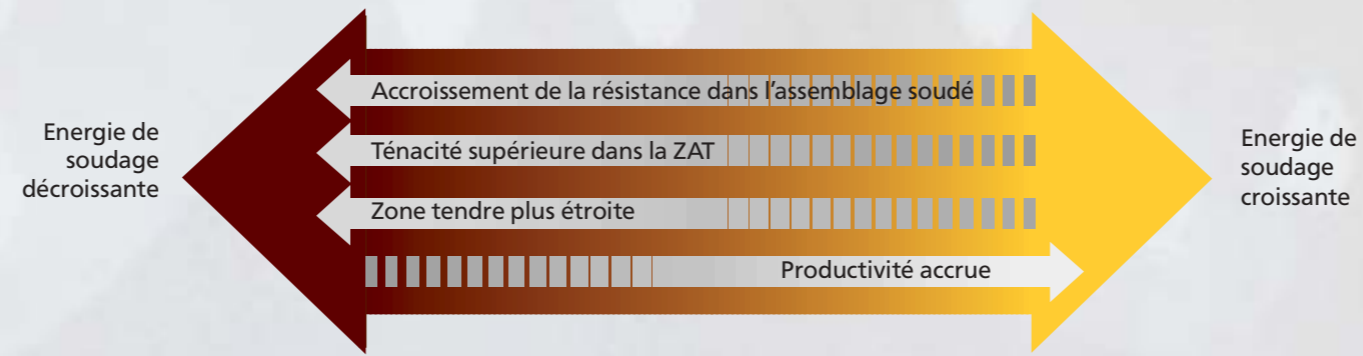
Traitements permettant d'accroître la résistance à la fatigue

Différents types de post-traitements permettent d'accroître la résistance à la fatigue d'un assemblage soudé. Ces traitements abaissent les concentrations de contraintes et permettent d'obtenir une transition plus uniforme entre la soudure et la tôle.

Pour de plus amples informations, se reporter au *Manuel de soudage des aciers d'Oxelösund*.

Choix de l'énergie de soudage

Les tableaux ci-dessous indiquent les limites énergie de soudage recommandées pour HARDOX et WELDOX. Une énergie de soudage inférieure à ces limites procure une combinaison satisfaisante de ténacité, de résistance et de dureté conservée dans la zone affectée thermiquement (ZAT).



Calcul de l'énergie de soudage

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I \cdot 60}{v \cdot 1000}$$

Q = Energie de soudage [kJ/mm]
U = Tension [V]
I = Intensité [A]
v = Vitesse de soudage [mm/mn]
η = Facteur de rendement de l'arc

Facteur de rendement de l'arc η

Méthode de soudage	η
Manuel à l'arc (MMA)	0,8
Arc sous protection gazeuse (MIG / MAG)	0,8–0,9
Fil fourré (FCAW)	0,9
Arc submergé (SAW)	1,0
TIG (GTAW)	0,7

Choix du métal d'apport *

Toutes les méthodes de soudage conventionnelles destinées à souder des aciers ordinaires et à haute résistance conviennent au soudage des aciers HARDOX et WELDOX.

Le choix du métal d'apport est conditionné par les caractéristiques mécaniques imposées dans l'assemblage et est spécifique à chaque cas.

Des électrodes basiques doivent être utilisées pour le soudage de HARDOX et de WELDOX. Choisir un métal d'apport donnant une teneur en hydrogène $\leq 5 \text{ ml} / 100 \text{ g}$ de métal déposé.

Le choix de la limite d'élasticité du métal d'apport peut s'effectuer selon les trois solutions suivantes:

- 1) Métal d'apport inférieur (métal d'apport ayant une limite d'élasticité** **inférieure** à celle du métal de base).
- 2) Métal d'apport équivalent (métal d'apport ayant une limite d'élasticité** **égale** à celle du métal de base).
- 3) Métal d'apport supérieur (métal d'apport ayant une limite d'élasticité** **supérieure** à celle du métal de base).

Lors du soudage des nuances d'acier entre WELDOX 700 et WELDOX 1100, il est recommandé de combiner des électrodes de différentes qualités, par exemple des électrodes douces pour la passe de fond et des électrodes à plus haute résistance pour les passes de remplissage.

Les avantages principaux du choix d'un métal d'apport ayant une résistance peu élevée au lieu d'un métal

à haute résistance (limite d'élasticité supérieure à 500 MPa) sont:

- une ténacité supérieure dans le métal déposé,
- une ductilité supérieure dans l'assemblage soudé,
- une sensibilité de fissuration réduite.

Pour les soudures en angle, il est toujours recommandé d'utiliser un métal d'apport de valeur inférieure.

Utiliser des électrodes douces pour le soudage des aciers HARDOX

HARDOX doit être soudé avec des électrodes basiques douces. Une électrode douce se définit par un métal d'apport dont la limite d'élasticité est inférieure à 500 MPa. Ce type d'électrode permet de réduire les contraintes résiduelles dans l'assemblage et en conséquence sa sensibilité à la fissuration à froid.

Si la soudure est placée dans des zones soumises à forte usure, il est possible d'utiliser des électrodes de rechargement pour les passes de finition.

Un métal d'apport en acier inoxydable austénitique peut être utilisé avantageusement dans les cas suivants pour souder les aciers HARDOX :

- si la pièce à souder est fortement contrainte,
- si la pièce à souder ne peut pas être préchauffée,
- si la tôle est d'une épaisseur supérieure à 60 mm.

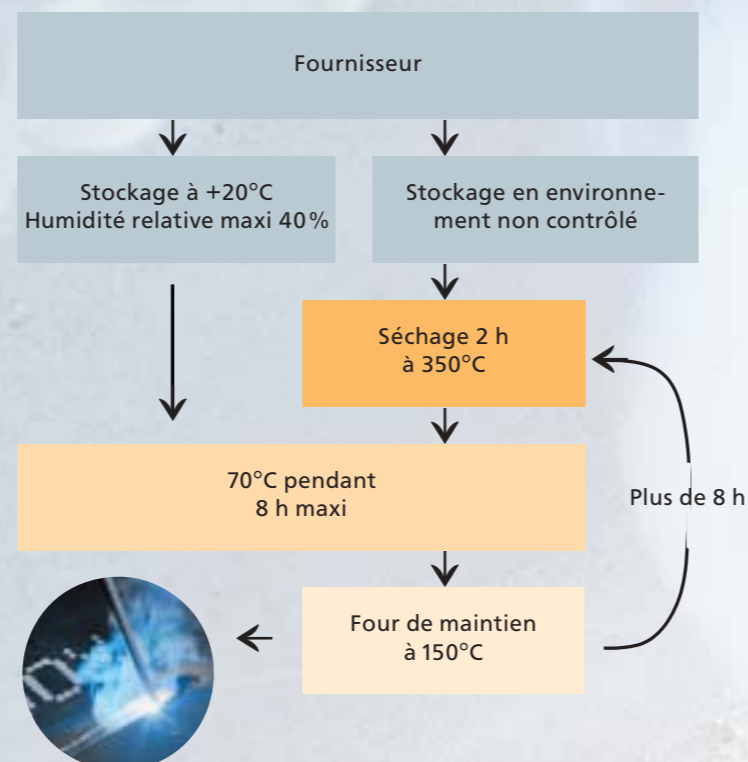
*) La liste des métaux d'apport (classes AWS) figure en dernière page.

***) La limite d'élasticité retenue est la valeur nominale minimum.

Qualités de métal d'apport recommandées pour le soudage des aciers HARDOX et WELDOX

WELDOX 355 / 420	Supérieure
WELDOX 460 / 500	Supérieure / Egale
WELDOX 700	Egale / Inférieure
WELDOX 900 / 960	Inférieure
WELDOX 1100	Inférieure
HARDOX 400 / 450 / 500	Inférieure

Afin d'éviter tout risque d'humidité, le métal d'apport doit être conservé selon les recommandations du fournisseur. En cas de doute, le métal d'apport devra être mis au rebut ou séché suivant les consignes du fournisseur.



Soudage des tôles revêtues d'un primaire

Le soudage des tôles revêtues d'un primaire anti-corrosion peut provoquer l'apparition d'une porosité plus ou moins importante. Le degré de porosité peut être réduit en choisissant un type et une épaisseur de primaire adéquats ainsi que des paramètres de soudage adaptés. Le soudage pourra ensuite être effectué dans le cadre des normes applicables sans éliminer la couche de primaire.

Les tôles de stockage HARDOX et WELDOX sont fournies revêtues d'une couche anti-corrosion composée d'un primaire à faible teneur en zinc silicate. Ce revêtement a été spécialement conçu afin de réduire le volume des pores durant le soudage. Celui-ci peut donc être effectué sans élimination de la couche de primaire, contribuant ainsi à accroître la productivité de mise en oeuvre.

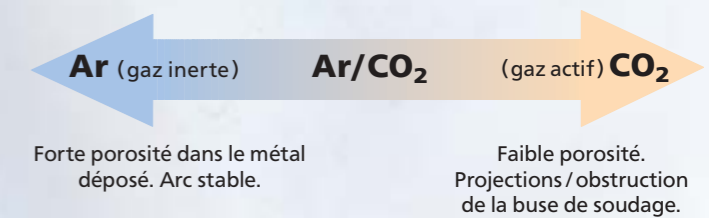
Recommandations permettant d'obtenir une soudure de bonne qualité des tôles HARDOX et WELDOX revêtues d'un primaire à faible teneur en zinc silicate.

Dans le cas où la tôle est revêtue d'une couche anti-corrosion en PVB (polyvinyle butyral) ou d'un primaire époxy, il est recommandé d'éliminer le revêtement avant le soudage afin d'obtenir une soudure de qualité satisfaisante.

Mesures de précaution

S'assurer que les locaux sont bien ventilés lors des opérations de soudage ou de meulage des tôles revêtues.

Influence des gaz de protection sur la porosité dans le métal déposé lors des opérations de soudage FCAW, MIG / MAG sur des tôles revêtues d'un primaire à faible teneur de zinc silicate



Méthode	Arc fourré (FCAW)	MAG	MMA
Flux	Basique	-	Basique
Gaz de protection	75% Ar / 25% CO ₂	75% Ar / 25% CO ₂	-
Angle d'électrode	75°	75°	60-90°
Pos. de soudage	1F, PA	1F, PA	1F, PA
Sens de soudage	A gauche ou en avant	A gauche ou en avant	A droite ou en arrière

1F, PA (à gauche) et A droite ou en arrière (à droite)

Soudage de goujons

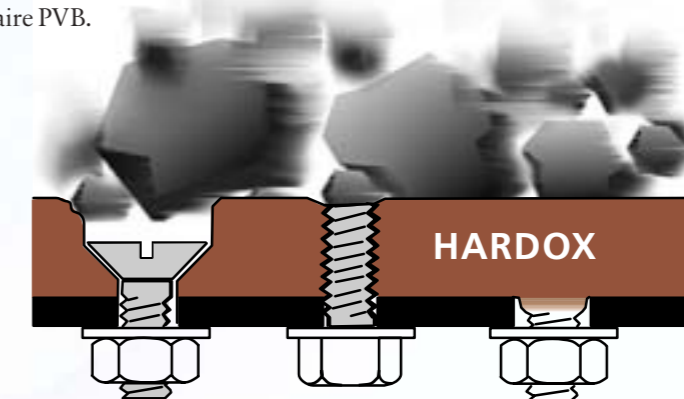
HARDOX et WELDOX conviennent parfaitement à cette méthode de soudage et ne nécessitent aucun préchauffage à température ambiante.

Ce procédé peut être appliqué directement sur les surfaces suivantes à condition qu'elles soient sèches et bien nettoyées:

- brillantes,
- revêtues d'un primaire à faible teneur en zinc silicate,
- revêtues d'un primaire PVB.



Le soudage de goujons est un procédé rapide, simple et économique permettant de fixer les boulons, les vis, les goujons, etc. Cette méthode peut souvent remplacer des opérations d'usinage coûteuses telles que le perçage, le fraisage et le taraudage. Plus simple que le soudage traditionnel, il peut être réalisé par une personne non spécialisée.



Le soudage de goujons permet d'obtenir des assemblages mieux protégés que ceux réalisés par vis à tête fraisée ou boulons filetés. Ce type d'assemblage offre en conséquence une meilleure résistance à l'usure et accroît ainsi la durée de vie.