

FICHE D'INFORMATION ACIERS INOXYDABLES [PARTIE 4-3]

SOUDEGE TIG

Dans la quatrième partie de cette série consacrée à l'acier inoxydable, nous donnons un aperçu des procédés de soudage qui peuvent être utilisés, chacun avec leurs avantages spécifiques. Cet article est consacré au soudage TIG.

Par Ir. Robert Vennekens, IWE, CEWE, FWeldI, Institut Belge de la Soudure, Service Guidance Technologique (service subsidié par la Région wallonne) et Ir. Wim Van Haver, IWE, Institut Belge de la Soudure

(Traduction: M.C. Ritzen – IBS-BIL)

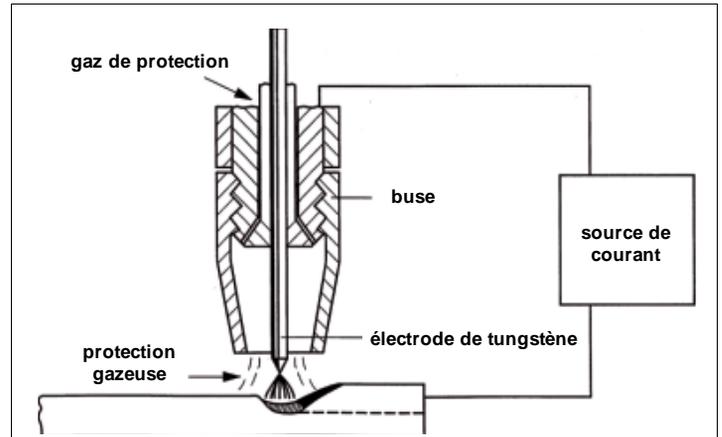


Figure 1: schéma du soudage TIG

LE PROCEDE

TTIG est l'acronyme de Tungsten Inert Gas (soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène). Aux USA, on parle de GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), en Allemagne de WIG (Wolfram Inert Gas). Auparavant, on utilisait également la dénomination Argon Arc. La théorie et la pratique de ce procédé sont décrits d'une façon détaillée dans le CD-ROM 'Process 141' (dénomination suivant EN ISO 4063), qui a été mis au point à l'initiative et sous la responsabilité de l'Institut Belge de la Soudure avec des subsides de la Communauté Européenne (programme Leonardo da Vinci). Lors du soudage TIG, un arc est tiré, dans une atmosphère inerte, entre une électrode réfractaire de tungstène et la pièce à souder. L'électrode, l'arc de soudage et le bain de fusion sont donc protégés par un gaz inerte de l'air environnant (figure 1). L'acier inoxydable est soudé en courant continu, l'électrode étant au pôle négatif.

Le procédé est principalement utilisé pour le soudage de l'acier inoxydable de faible épaisseur (tôle ou épaisseur de paroi allant jusque 3 mm environ) et pour le soudage en position de tubes. Pour des épaisseurs supérieures à 3 mm, on utilise uniquement le soudage TIG pour déposer les passes de fond. Au-dessus de cette épaisseur, il n'est plus responsable, d'un point de vue économique, d'utiliser le soudage TIG. On peut souder en courant continu ou en courant pulsé. Le soudage pulsé offre certains avantages:

- Dans le cas du soudage en position, on maîtrise mieux le bain.
- La forme de la soudure est influencée par le réglage du temps d'impulsion et l'intensité de courant.
- Le soudage pulsé est un procédé idéal pour le soudage mécanisé, pour le soudage en position et pour le soudage de tôles très fines.

Un exemple de pince pour le soudage orbital (mécanisé) est montré à la figure 2. Pour le

soudage de matériaux minces ou pour une soudure de pénétration, on peut souder avec ou sans métal d'apport (en fonction de la préparation du joint).

ELECTRODES TIG

Lors du soudage TIG de l'acier inoxydable, on soude en courant continu avec l'électrode au pôle négatif. La majorité de la chaleur va donc vers la pièce à souder. Le matériau de l'électrode est généralement du tungstène avec 2% d'oxyde de thorium. Pour des raisons de santé, ce type d'électrode n'est presque plus utilisé (rayonnement radioactif minimal). Il existe des électrodes en tungstène qui sont alliées à ce qu'on appelle des 'terres rares' qui ont une durée de vie plus longue. Il y a, entre autres, des électrodes de tungstène avec 2% d'oxyde de lanthane (La_2O_3) ou avec 2% d'oxyde de cérium (CeO_2). Un diamètre d'électrode trop petit entraîne une surchauffe ou la fusion de l'électrode, avec un grand risque d'avoir des

inclusions de tungstène dans la soudure. Un trop grand diamètre provoque une instabilité de l'arc et/ou une pénétration insuffisante (mauvais rapport largeur-profondeur du bain de fusion).

Lors du soudage en courant continu, l'électrode doit être affûtée (figure 3). L'affûtage de l'électrode doit se faire dans la direction de la pointe et non être concentrique; le poli doit être aussi parfait que possible (la pointe doit être brisée – surface plane de 0,8 mm).

GAZ DE PROTECTION

Dans la plupart des cas, on utilise l'argon comme gaz de protection. La tension d'amorçage avec ce gaz est relativement faible. La pureté du gaz doit être supérieure à 99,99%.

Compte tenu de la pureté souhaitée, il faut veiller à l'étanchéité de tout le système de conduite de gaz. Ceci va de la bouteille de gaz jusqu'à la torche.

Figure 2: pince de soudage pour le soudage orbital TIG (source Polysoude)

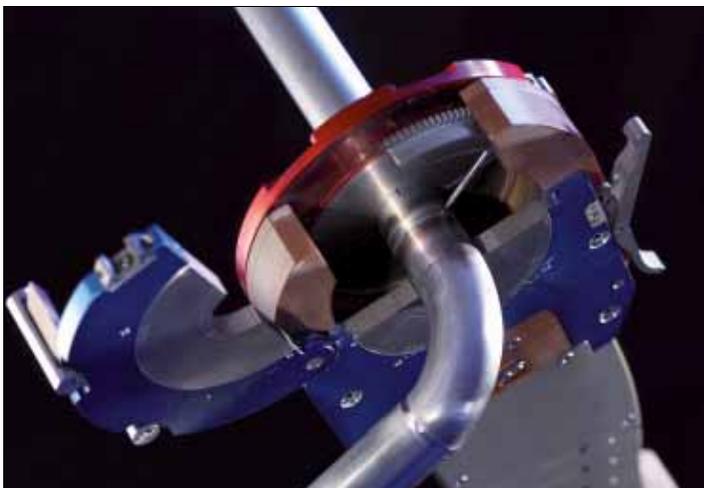
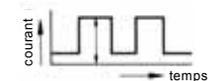
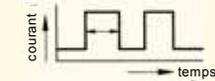
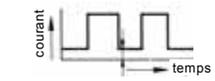
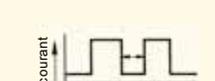


TABLEAU 1: INFLUENCE LORS DU SOUDAGE TIG PULSE

	FONCTION	INFLUENCE
	COURANT PULSE	Formation du bain de fusion
	TEMPS DE COURANT PULSE	Largeur du bain
	COURANT DE FOND	Mesure de la solidification
	TEMPS DE COURANT DE FOND	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de solidification du bain de fusion • Déplacement de l'électrode vers le bord du bain de fusion • Synchronisation des procédés de soudage mécanisés

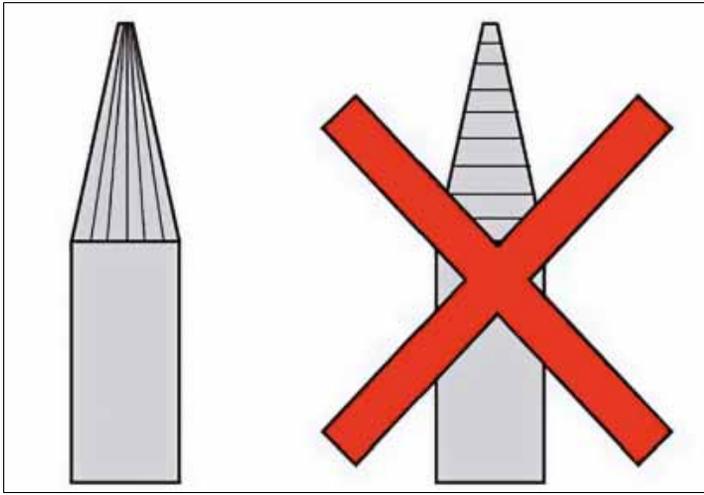


Figure 3: affûtage correct de l'électrode de tungstène

Dans le cas de connexions insuffisamment étanches dans l'appareil, l'air peut s'y introduire ce qui peut influencer négativement la qualité de la soudure. L'addition de 2 à 5% d'hydrogène augmente la tension d'arc et donc la quantité de chaleur.

Le mélange gazeux a donc une action réductrice; on obtient ainsi une surface plus pure du cordon de soudure et de la tôle.

L'hydrogène se dissocie au contact de l'arc ce qui provoque une diminution de la chaleur dans l'arc.

Ce refroidissement provoque une striction de l'arc qui donne un bain de fusion plus chaud. Un mélange argon-hydrogène peut être utilisé pour le soudage mécanisé. Dans le cas de matériaux sensibles à l'hydrogène tels que les aciers duplex et les aciers inoxydables, des mélanges argon/hélium peuvent être utilisés, par ex. dans une proportion 75/25 ou 70/30.

Lorsqu'on utilise 100% d'hélium (He), l'arc s'amorce assez difficilement. Le soudage manuel avec 100% d'hélium est impossible et n'est donc pas appliqué. Comme la pression de l'arc est élevée, le bain de fusion

est repoussé. Durant le soudage, la pointe de l'électrode se trouvera au niveau de la tôle de façon à obtenir une pénétration correcte. On peut cependant appliquer un soudage mécanisé avec 100% He comme gaz de protection (soudage en courant continu, électrode négative); dans ce cas, la position du pistolet (distance par rapport à la pièce) doit être réglée par un servomoteur. Quand un joint d'angle doit être soudé où l'angle est trop petit pour que la torche ait accès au joint, on peut faire sortir l'électrode plus que d'habitude. Il faut alors monter une lentille de gaz dans le pistolet afin d'obtenir un flux de gaz laminaire et protéger ainsi le bain de fusion d'une façon optimale.

BACKINGGAZ

Afin d'éviter que le bain de fusion ne s'oxyde à l'envers au contact de l'air (avec pour conséquence une diminution de la résistance à la corrosion), il faut appliquer une protection gazeuse de ce côté également. Plusieurs gaz ou mélanges gazeux entrent en ligne sous la dénomination de 'backinggaz':

- mélanges azote-hydrogène

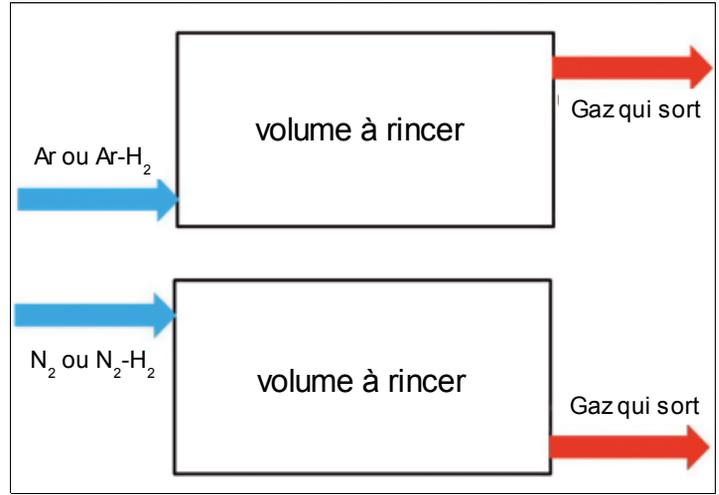


Figure 4: localisation des entrées et sorties pour différents backinggaz

- mélanges argon-hydrogène
 - argon
- La teneur en hydrogène peut varier de 5 à 20%. Lors du soudage des aciers inoxydables où la reprise en hydrogène est inadmissible (aciers duplex ou aciers inoxydables martensitiques) l'utilisation de mélanges gazeux à teneur en hydrogène doit être proscrite.

Dans le cas de teneur en hydrogène supérieure à 10%, en raison de considérations de sécurité quant au risque d'explosion, il est nécessaire de laisser brûler le gaz qui sort. Lors de l'utilisation de backinggaz riche en argon, il faut tenir compte que l'argon est plus lourd que l'air. Dans le cas du soudage d'un tube horizontal, il existe le risque que, dans une position à '12 h', le backinggaz n'ait pas suffisamment refoulé l'air présent. L'argon et l'argon/hydrogène doivent être introduits par dessous et sortir par au-dessus (figure 4 – au-dessus). Par contre, l'azote ou des mélanges azote/hydrogène qui sont plus légers que l'air, doivent être introduits par au-dessus et sortir par dessous (figure 4 – en dessous).

L'argon pur a l'action la moins protectrice. L'évacuation de tout

l'air d'un système n'est pas simple.

En règle générale, on admet que, quand on veut rincer un volume V, il faut un volume quatre fois plus important de backinggaz. Prenons, par exemple, un volume de 15 litres, il faut donc rincer avec 4 x 15 litres = 60 litres. Le gaz doit passer de façon laminaire: dans le cas de grands débits, des turbulences apparaissent ce qui ne permet pas d'éliminer tout l'oxygène. De façon optimale, il faudrait un débit de 2 à 4 litres/min.

Dans l'exemple, si on opte pour un débit de 3 litres/min, il faut donc rincer durant 60 : 3 liter/min = 20 minutes pour arriver à 20 ppm d'oxygène restant. Il est conseillé de mesurer la teneur en oxygène du gaz sortant lors d'applications critiques.

Voir également la figure 5 pour les couleurs de démarrage en fonction de la teneur en oxygène. En règle générale, on peut dire qu'il vaut mieux évacuer l'air présent plus longtemps à une faible vitesse d'écoulement plutôt que d'essayer de réduire le temps avec une vitesse d'écoulement élevée.

FORMES DE JOINT

AVANTAGES ET LIMITES DU SOUDAGE TIG

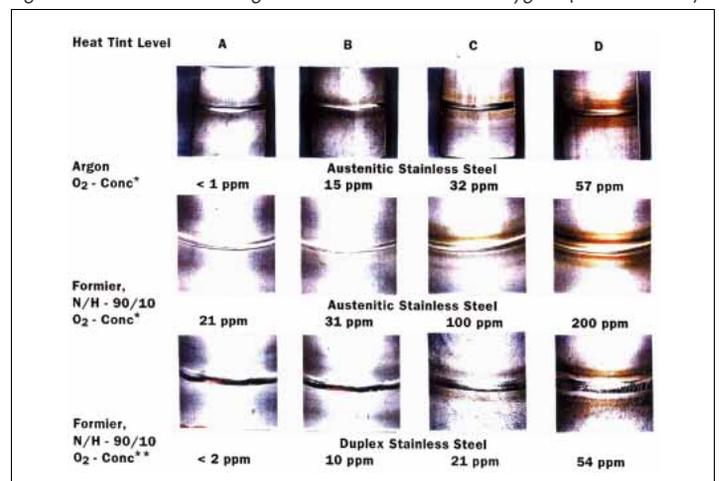
AVANTAGES

- Apport indépendant de chaleur et de métal
- Pas d'enrobage, donc pas de résidus de laitier ou d'inclusions
- Pas de projections
- Bonne protection contre l'oxydation du bain de fusion
- Applicable dans toutes les positions
- Parfaitement approprié pour les passes de fond

LIMITES

- Apport calorifique élevé
- Pas de correction possible de la composition chimique du bain de fusion lors du soudage sans métal d'apport
- Sensible au vent
- Backinggaz à l'envers nécessaire
- Faible vitesse de soudage
- Lors du soudage manuel, le soudeur détermine la dilution qui peut varier de 0 à 100%!

Figure 5: couleurs de démarrage en fonction de la teneur en oxygène (FORCE Institute).



Le Tableau 2 reprend les préparations de joint bout à bout pour le soudage TIG. La forme de joint n° 6 est spécifiquement destinée au soudage de tubes d'un seul côté. Le soudage TIG est souvent utilisé uniquement pour déposer la passe de fond. Bien qu'on puisse déposer la passe de fond sans métal d'apport, il est recommandé d'ajouter un peu de métal d'apport. Ceci limite le risque de formation de petites fissures à chaud dans la passe de fond. Lors du soudage d'aciers duplex, l'utilisation d'un métal d'apport est nécessaire afin d'obtenir la microstructure souhaitée pour la soudure.

PARAMETRES DE SOUDAGE

Le Tableau 3 reprend les valeurs pour le diamètre de l'électrode, le diamètre de la buse et l'intensité de courant en polarité directe (DCEN).

PREPARATION DU JOINT

Le choix de la préparation du joint dépend du procédé de soudage, de la position de soudage, de l'épaisseur du matériau et du type de matériau à souder (acier, acier inoxydable, Al,...).

La figure 6 donne un exemple d'une préparation de joint avec mention de la terminologie usuelle.

Le chanfrein sert à assurer une bonne accessibilité afin d'obtenir une soudure sans défauts. Le méplat assure un support au bain de fusion. Sans méplat, on a une racine plus large.

On obtient un méplat par traitement mécanique ou coupage (par ex. laser, plasma, jet d'eau,...). Après la préparation du joint, il est recommandé d'éliminer tous les oxydes thermiques provenant de la préparation.

Tant le joint que la surface de la tôle à proximité de la soudure doivent être purs et propres avant de souder. Le tableau 4 donne la préparation du joint pour divers procédés de soudage et épaisseurs de tôle. □

BIBLIOGRAPHIE

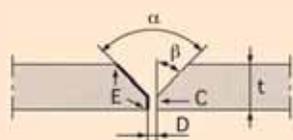
- Welding Handbook – Gas Tungsten Arc Welding
- Voorlichtingsbladen voor de Metaalindustrie (VM42) – Lassen van roest- en hittevast staal
- The Avesta Welding Manual – Practice and products for stainless steel welding

TABLEAU 2: PREPARATIONS DE JOINTS BOUT A BOUT POUR LE SOUDAGE TIG

N°	EPAISS. DU MATERIAU	DENOMINATION	SCHEMA DE LA FORME DU JOINT	REMARQUES
1	<1	Joint à bords relevés (d'un seul côté)		<ul style="list-style-type: none"> • Soudage sans métal d'apport, avec backinggaz • Pour tubes et tôles en toutes positions
2	<2	Joint en T (d'un seul côté)		<ul style="list-style-type: none"> • Soudage avec ou sans métal d'apport, avec backinggaz • Pour tubes et tôles en toutes positions
3	<10	Joint en V (d'un seul côté et des deux côtés)		<ul style="list-style-type: none"> • Pour une soudure d'un seul côté, utilisation d'un backinggaz nécessaire • Terminer la soudure avec des électrodes enrobées ou le MIG/MAG
4	<3 (*) (**)	Joint en I (des deux côtés)		Si nécessaire, meuler le côté envers avant de souder à l'envers
5	<5	Joint en tulipe (d'un seul côté)		<ul style="list-style-type: none"> • La passe de fond peut être déposée en manuel ou en automatique • Backinggaz exigé
6	>13	Joint en U (d'un seul côté)		<ul style="list-style-type: none"> • De préférence, déposer la passe de fond avec un métal d'apport, backinggaz exigé • Mesure 3* fonction du diamètre de la buse • Eventuellement, terminer la soudure avec des électrodes enrobées

* Le soudage automatique TIG avec ou sans fil d'apport permet une plus forte épaisseur de matériau
 ** Le soudage des deux côtés en simultané jusqu'à une épaisseur de 6 mm environ est possible dans les positions verticale et horizontale-verticale. Il faut cependant tenir compte du fait que la résistance à la corrosion peut diminuer au contraire de l'apport calorifique qui augmente

DESSIN DE PRINCIPE D'UNE PREPARATION DE JOINT



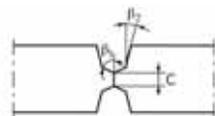
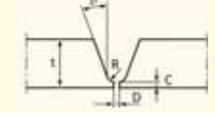
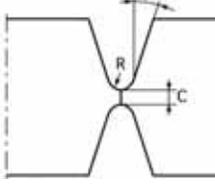
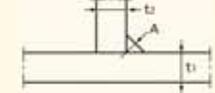
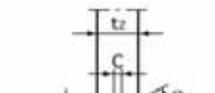
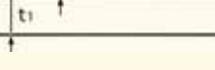
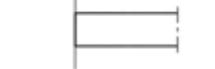
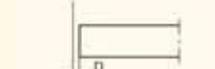
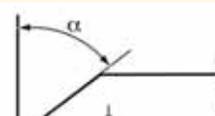
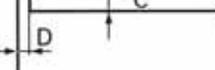
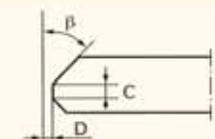
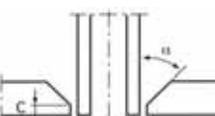
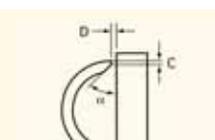
α = angle d'ouverture
 β = angle de chanfrein
 C = méplat
 D = écartement entre méplats
 E = surface à souder
 R = rayon (uniquement pour les joints en U et en J – voir tableau 4)
 t = épaisseur de la tôle

TABLEAU 3: VALEURS RECOMMANDEES

DIAMETRE ELECTRODE (MM)	BUSE – DIAMETRE INTERIEUR (MM)	INTENSITE DE COURANT (DCEN) (A)
0,25	6,4	tot 15
0,50	6,4	5-20
1,00	9,5	15-80
1,6	9,5	70-150
2,4	12,7	150-250
3,2	12,7	250-400
4,0	12,7	400-500

TABLEAU 4: PREPARATION DE JOINT POUR ACIER INOXYDABLE

TYPE D'ASSEMBLAGE	INDICATION	COTES	PROCEDE	EPAISSEUR
Joint en I Pas d'écartement (1)		Un seul côté	TIG (5)	< 2,5 mm
Joint en I Pas d'écartement (1)		Deux côtés	SAW	6 – 9 mm
Joint en I		Un seul côté	PAW	1 – 8 mm
Joint en I D = 1 – 2 mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG	< 2,5 mm
Joint en I D = 2 – 2,5 mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG FCAW	< 4 mm
Joint en V $\alpha = 60^\circ$ (2) C = 0,5 – 1,5 mm D = 2,0 – 4 mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG FCAW	4 – 16 mm
Joint en V $\alpha = 60^\circ$ (2) C = 2,0 – 2,5 mm D = 2,5 – 3,5 mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG FCAW	4 – 16 mm
Joint en V $\alpha = 60^\circ$ (2) C = 1,5 – 2,5 mm D = 4,0 – 6,0 mm		Un seul côté avec support de bain	FCAW	4 – 20 mm
Joint en V $\alpha = 80 - 90^\circ$ C = 1,5 mm Pas d'écartement (1)		Deux côtés	TIG + SAW	3 – 16 mm
Joint en V $\alpha = 80 - 90^\circ$ C = 3,0 – 6,0 mm (3) Pas d'écartement		Deux côtés	SAW	8 – 16 mm
Joint en V $\alpha = 80 - 90^\circ$ C = 3,0 – 4,0 mm Pas d'écartement		Deux côtés	PAW + SAW	6 – 16 mm
Joint en V $\beta_1 = 45^\circ$ $\beta_2 = 15^\circ$ C = 1,0 – 2,0 mm D = 2,0 – 3,0 mm		Un seul côté	SMAW FCAW	4 – 16 mm
Joint en V $\beta_1 = 45^\circ$ $\beta_2 = 15^\circ$ C = 2,0 – 2,5 mm D = 2,0 – 2,5 mm		Deux côtés	SMAW FCAW	4 – 16 mm
Joint en V $\beta_1 = 45^\circ$ $\beta_2 = 15^\circ$ C = 1,5 – 2,5 mm D = 4,0 – 6,0 mm		Un seul côté avec support de bain	FCAW	4 – 20 mm
Joint en X $\alpha = 60^\circ$ (2) C = 2,0 – 3,0 mm D = 2,0 – 2,5 mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG (5) FCAW	14 – 30 mm (7)
Joint en X $\alpha = 80^\circ$ C = 3,0 – 8,0 mm (3) Pas d'écartement		Deux côtés	SAW	14 – 30 mm
Joint en X $\beta_1 = 45^\circ$ $\beta_2 = 15^\circ$ C = 1,5 – 2,5 mm D = 2,5 – 3,0 mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG (5) FCAW	14 – 30 mm (7)

TYPE D'ASSEMBLAGE	INDICATION	COTES	PROCEDE	EPAISSEUR
Joint en X $\beta_1 = 45^\circ$ $\beta_2 = 15^\circ$ $C = 3,0 - 8,0$ mm (3) Pas d'écartement		Deux côtés	SAW (8)	14 - 30 mm
Joint en U $\beta = 10^\circ$ $R = 8,0$ mm $C = 2,0 - 2,5$ mm $D = 2,0 - 2,5$ mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG (5) FCAW SAW (9)	< 50 mm
Double joint en U $\beta = 15^\circ$ $R = 8,0$ mm $C = 4,0 - 8,0$ mm (3)		Deux côtés	SAW (8)	> 20 mm
Joint d'angle Pas d'écartement $A \approx 0,7 \times t$		Un seul côté ou deux côtés	SMAW MIG TIG FCAW	> 2 mm
Demi-joint en V $\alpha = 50^\circ$ $C = 1,0 - 2,0$ mm $D = 2,0 - 4,0$ mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG (5) FCAW	4 - 16 mm
Demi-joint en V $\alpha = 50^\circ$ $C = 1,5 - 2,5$ mm $D = 2,0 - 3,0$ mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG (5) FCAW	4 - 16 mm
Demi-joint en X $\alpha = 50^\circ$ $C = 1,0 - 1,5$ mm $D = 2,0 - 4,0$ mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG (5) FCAW (4)	14 - 30 mm
Demi-joint en X $\alpha = 50^\circ$ $C = 1,5 - 2,5$ mm $D = 2,0 - 3,0$ mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG (5) FCAW	14 - 30 mm
Joint d'angle Pas d'écartement		Deux côtés	SMAW MIG TIG FCAW	< 2 mm
Joint d'angle $D = 2,0 - 2,5$ mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG FCAW	2 - 4 mm
Demi-joint en V $\alpha = 50^\circ$ $C = 1,5 - 2,5$ mm $D = 2,0 - 4,0$ mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG (5) FCAW (4)	4 - 12 mm
Demi-joint en V $\alpha = 50^\circ$ $C = 1,5 - 2,5$ mm $D = 1,5 - 2,5$ mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG (5) FCAW	4 - 16 mm
Joint en K $\beta = 50^\circ$ $C = 2,0 - 2,5$ mm $D = 2,0 - 4,0$ mm		Deux côtés	SMAW MIG TIG (5) FCAW	14 - 30 mm (7)
Demi-joint en V (6) $\alpha = 50^\circ$ $C = 1,0 - 2,0$ mm $D = 2,0 - 3,0$ mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG (5) FCAW	> 4 mm
Demi-tuyau $\alpha = 45^\circ$ $C = 1,5 - 2,0$ mm $D = 1,0 - 2,0$ mm		Un seul côté	SMAW MIG TIG FCAW	4 - 16 mm

Remarques: (1) un écartement est nécessaire lors du soudage d'aciers spéciaux; (2) l'angle d'ouverture pour les aciers spéciaux est de 60-70°; (3) un écartement de 5 mm et plus peut nécessiter l'alignement de la torche dans le sens du soudage; (4) soudage sur un backing en céramique (type rond); (5) normalement uniquement pour les premières passes suivi par MIG, FCAW, SMAW ou SAW; (6) pour des ouvertures comme un trou d'homme, un embranchement...; (7) une épaisseur supérieure à 20 mm peut être préparée comme un joint en X asymétrique; (8) TIG ou SMAW peut être utilisé pour les passes de fond - meuler à l'envers - $C = 3,0$ mm; (9) SAW peut être utilisé pour les passes de remplissage et les dernières passes