

PROCÉDÉS DE SOUDAGE

NOTICE D'INFORMATION SUR L'ALUMINIUM – PARTIE 3

Dans la troisième notice d'aluminium, nous vous donnons un aperçu des procédés de soudage à utiliser. Nous énumérons également les avantages spécifiques de chaque procédé.

Par

Ir. R. Vennekens, EWE - I.B.S.
 Ing. B. Verstraeten, IWE - I.B.S.
 Ing. K. Broeckx, EWE - I.B.S.
 (Traduction: M.C. Ritzen - I.B.S.)

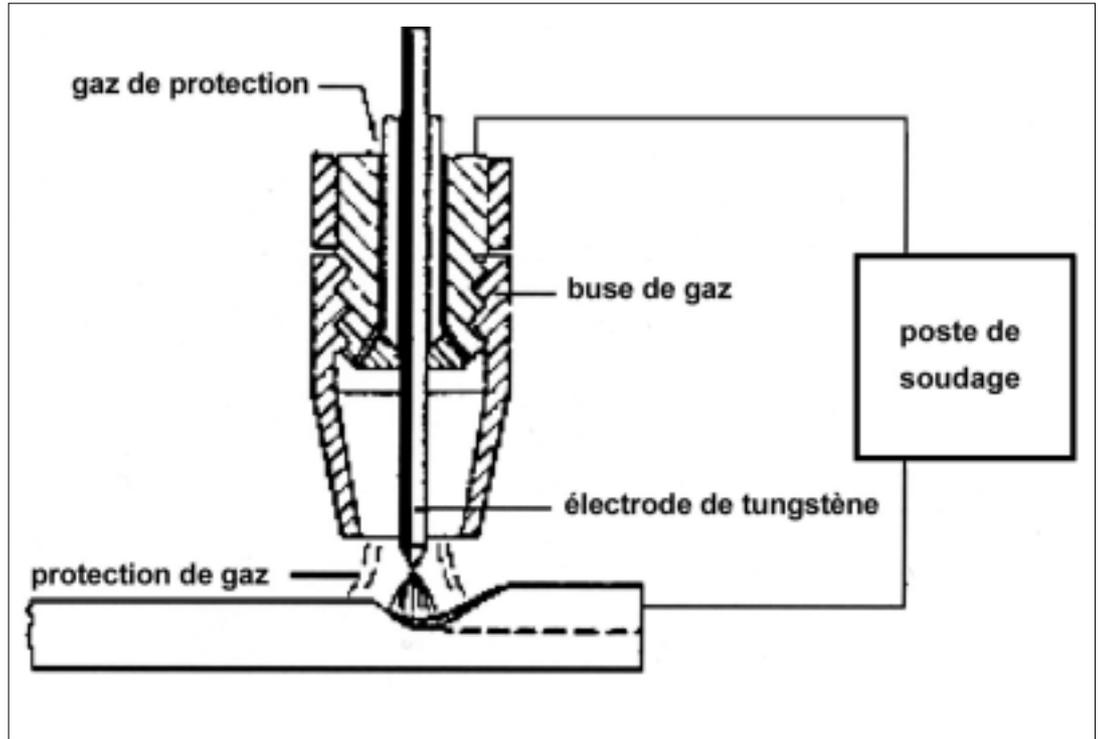


Figure 9: Lors du soudage TIG, un arc est tiré, dans une atmosphère inerte, entre une électrode réfractaire de tungstène et la pièce. L'électrode, l'arc de soudage et le bain de fusion sont protégés par un gaz inerte contre l'influence de l'air environnant (Toute la doc.: Marc Martens)

SOUDAGE TIG

La théorie et la pratique relatives à ce procédé sont traitées dans le CD-ROM 'Process 141', produit à l'initiative et sous la responsabilité de l'Institut Belge de la Soudure et subsidié par la Communauté Européenne (programme Leonardo da Vinci).

GÉNÉRALITÉS

Lors du soudage TIG, un arc est tiré, dans une atmosphère inerte, entre

une électrode réfractaire de tungstène et la pièce. L'électrode, l'arc de soudage et le bain de fusion sont protégés par un gaz inerte contre l'influence de l'air environnant (fig. 9).

TIG signifie 'Tungsten Inert Gas'. Auparavant, on utilisait également la dénomination américaine 'Argonarc'. La figure 10 schématise une installation TIG. Le gaz inerte est principalement de l'argon. On utilise, dans certains cas, de l'hélium ou de l'argon-hélium. Lors d'addition

d'hélium dans le gaz de protection, on obtient un arc de soudage plus chaud. L'hélium donne une tension d'arc plus élevée que l'argon, avec un réglage identique du poste. Avec l'hélium, le produit U.I (tension x intensité) est plus élevé qu'avec l'argon et l'apport calorifique (heat input) est donc également plus élevé et ce, avec le même réglage du poste de soudage. On peut souder en courant alternatif ou en courant continu (électrode négative ou positive). La figure 10 présente les différences suivant le type de courant utilisé.

à une pénétration correcte et durant l'autre demi-période, la peau d'oxydes est éliminée. Lors de la phase où l'électrode est positive, l'effet nettoyant se fait de l'arc; grâce au flux d'électrons passant de la pièce vers l'électrode, la peau d'oxydes est brisée. La pénétration est cependant minimale. Lors de la phase où l'électrode est négative, la pénétration est importante, mais il n'y a pas d'action nettoyante. Dans les postes de soudage plus

Tableau 10: Aperçu des types d'électrodes en tungstène suivant l'EN 26848 - ISO 6848

TYPE D'ÉLECTRODE	ADDITION EN %	COULEUR	TYPE DE COURANT
tungstène	aucune	verte	alternatif
avec oxyde de thorium	0,9 – 1,2 Th O ₂	jaune	courant continu
	1,8 – 2,2 Th O ₂	rouge	
	2,8 – 3,2 Th O ₂	lilas	
	3,8 – 4,2 Th O ₂	orange	
avec oxyde de zirconium	0,3 – 0,5 Zr O ₂	brune	alternatif
	0,7 – 0,9 Zr O ₂	blanche	altern. et cont.
avec oxyde de lanthane	0,9 – 1,2 Zr O ₂	noir	altern. et cont.

SOUDAGE TIG EN COURANT ALTERNATIF

L'aluminium est recouvert d'une peau d'oxyde ayant un point de fusion beaucoup plus élevé (2.050 °C) que le métal de base (650°C). Comme il a été dit dans la première partie, ces oxydes peuvent être éliminés mécaniquement ou chimiquement, mais cela peut se faire également d'une façon électrique. Par exemple, quand on soude en courant alternatif, l'électrode et la pièce changent de polarité à chaque demi-période. Ce changement de polarité se fait avec les sources de courant alternatif courantes à la fréquence du réseau (50 alternances par seconde). Durant la première demi-période, on

DANS LES SOURCES DE COURANT TIG LES PLUS RÉCENTES, LA FRÉQUENCE PEUT, INDÉPENDamment DE LA FRÉQUENCE DU RÉSEAU (50 Hz), ÊTRE RÉGLÉE PROGRESSIVEMENT (DE 5 À 1.000 Hz ENVIRON)

anciens, le courant de soudage a une forme sinusoïdale. Au passage à zéro, le courant augmente progressivement en continu et il faut une décharge à haute fréquence pour amorcer l'arc. Dans les postes de soudage plus modernes (courant sous forme de blocs), le passage à zéro est tellement rapide que, pour des intensités supérieures à 30 A,

aucun mécanisme d'amorçage n'est plus nécessaire. Dans les sources de courant TIG les plus récentes, la fréquence peut, indépendamment de la fréquence du réseau (50 Hz), être réglée progressivement (de 5 à 1.000 Hz environ). Dans les sources de courant modernes, le courant alternatif se présente sous forme de blocs (figure 11) et la grandeur des blocs peut être adaptée au moyen d'un réglage-balance. On obtient un nettoyage

UNE EXTRÉMITÉ D'ÉLECTRODE EN FORME DE GOUTTE INDIQUE UNE SURCHARGE DE L'ÉLECTRODE DE SORTE QUE, DANS CE CAS, UNE ÉLECTRODE DE PLUS GRAND DIAMÈTRE DOIT ÊTRE CHOISIE

plus important et un soudage plus froid ou moins de nettoyage et un soudage plus chaud.

SOUDEAGE TIG EN COURANT CONTINU

Soudage TIG en courant continu - électrode positive

Ceci ne peut être appliqué qu'avec une intensité de courant très faible (étant donné la forte charge thermique de l'électrode) et que sur une très petite épaisseur de tôle. L'action nettoyante de l'arc est très bonne. L'addition d'hélium donne une tension d'arc plus élevée; on obtient ainsi un arc plus chaud avec un courant de soudage constant.

s'évapore en grande partie. L'hélium pur donne les meilleurs résultats. Les bords de la tôle doivent être très bien nettoyés afin d'éviter les défauts. Une épaisseur de tôle de 8 mm max. peut être soudée bout à bout, sans préparation de joint. Cependant, les bords de la tôle doivent être brisés dans le bas sinon des problèmes de pénétration peuvent apparaître. Une préparation de la tôle ayant

courte. La pression de l'arc est très élevée de sorte que le bain de fusion est sous pression après l'amorçage de l'arc. Le soudeur manuel ne peut pas maîtriser suffisamment le bain de fusion; il faut donc mécaniser le soudage. Le poste doit être équipé d'un réglage automatique de la longueur d'arc. Un servo-moteur est dirigé par la tension de l'arc; la distance torche de soudage-bain de fusion est ainsi maintenue constante.

continu, on utilise une électrode en tungstène avec 1-3% d'oxyde de thorium (ThO₂). Comme le ThO₂ est radioactif, on le remplace de plus en plus par de l'oxyde de lanthane (La₂O₃) ou de l'oxyde de cérium (CeO₂). Ces électrodes, et surtout celle en oxyde de lanthane, semblent avoir une durée de vie plus longue. En ce qui concerne la stabilité de l'arc et la capacité de courant, il semble qu'il n'y ait pas de différences avec les autres

Type de courant	CCEN	CCEP	CA
Polarité de l'électrode	Négative	Positive	
Flux d'électrons et d'ions			
Forme de pénétration			
Effet du nettoyage	non	oui	oui, tous les demi-cycles
Répartition de la chaleur dans l'arc (±)	70% sur la pièce 30% à l'électrode	30% sur la pièce 70% à l'électrode	50% sur la pièce 50% à l'électrode
Pénétration	profonde et étroite	faible et large	moyenne

Figure 10: On peut souder en courant alternatif ou en courant continu (électrode négative ou positive). Cette figure présente les différences

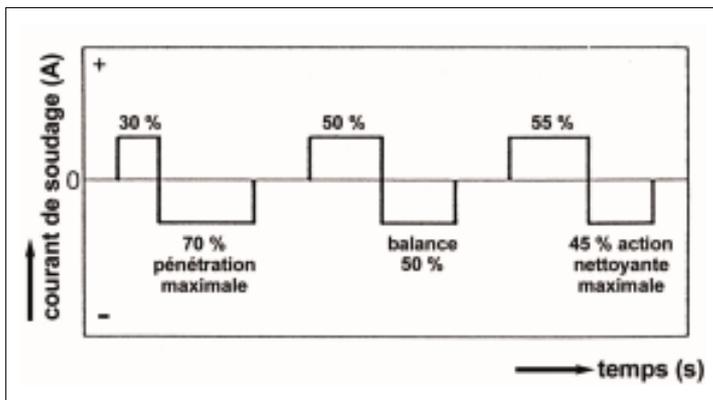


Figure 11: Courant alternatif sous forme de blocs avec possibilité de réglage du 'temps de nettoyage' et du 'temps de fusion'

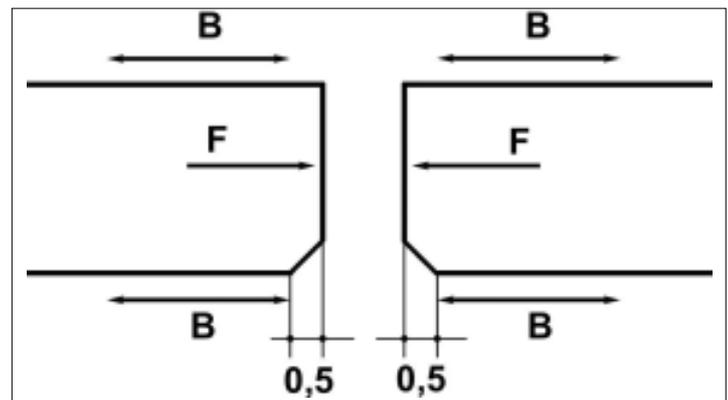


Figure 12: Une préparation de la tôle ayant donné de bons résultats

Soudage TIG en courant continu - électrode négative

Le développement de la chaleur est alors le plus important dans la pièce mais il n'y a aucune action nettoyante de l'arc de soudage. On a une faible pénétration et/ou une vitesse de soudage plus élevée en comparaison avec le soudage en courant alternatif. En utilisant de l'hélium ou un mélange argon-hélium riche en hélium, on obtient une température élevée et la peau d'oxyde

donné de bons résultats est représentée à la figure 12. Les bords de la tôle ont été nettoyés sur une largeur de 25 mm (B) avec une brosse en acier inoxydable. Les bords ont été fraisés (F) et brisés (+/- 0,5 mm) du côté inférieur de la tôle. Le soudage a été réalisé dans les quatre heures suivant la préparation du joint. De plus, il faut noter que la longueur d'arc, dans le cas du soudage TIG (He) en courant continu, doit être maintenue très

L'ÉLECTRODE TIG

Il existe divers types d'électrodes de tungstène pour le soudage TIG. - Pour le soudage TIG en courant alternatif, on utilise une électrode en tungstène pur ou en tungstène avec une faible teneur en oxyde de zirconium (0,2 - 0,9% ZrO₂). L'électrode avec du ZrO₂ a une meilleure stabilité d'arc, une durée de vie plus longue et une capacité de courant plus élevée. - Pour le soudage TIG en courant

électrodes. Cependant, la stabilité d'arc est meilleure avec des intensités de courant plus faibles. La composition des électrodes est reconnaissable à la couleur de la tête de l'électrode. Celle-ci est mentionnée dans une norme internationale (EN 26848 - ISO 6848). Le tableau 10 reprend les couleurs suivant cette norme. Les diamètres d'électrodes varient de 1,6 à 6,0 mm. Le choix du diamètre dépend du type de courant, de la polarité et de

l'intensité de courant (tableau 11). Un diamètre trop faible donne une surchauffe ou la fusion de l'électrode avec un risque élevé d'avoir des inclusions de tungstène dans la soudure; un trop grand diamètre donne une instabilité de l'arc et/ou une pénétration moindre (mauvais rapport largeur-profondeur du bain de fusion). Pour le soudage en courant continu, l'électrode doit être affûtée (figure 13). L'affûtage de l'électrode doit partir de la pointe et non être concentrique (figure 13). L'électrode doit être aussi lisse que possible. La pointe doit être cassée (surface plane à +/- 0,8 mm). Pour le soudage en courant alternatif, l'électrode n'est

ÉPAISSEUR À SOUDER (mm)	INTENSITÉ DE COURANT A	Ø DE L'ÉLECTRODE (mm)	Ø DE LA BUSE (mm)	Ø DU MÉTAL D'APPORT (mm)	DÉBIT DE GAZ (l/min)	NOMBRE DE COUCHES	VITESSE DE SOUDAGE (cm/min)
1,0	60-80	1,8	6 of 8	1,6	4-6	1	25-30
2,0	100-120	2,4	8	2,0 ou 2,4	6-8	1	25-30
3,0	140-180	3,2	10	2,0 ou 2,4	6-8	1	20-25
4,0	180-220	4,0	12	2,4 ou 3,2	6-8	1 ou 2	20-25
5,0	220-250	5,0	12	3,2	6-8	2	20-25
6,0	240-260	5,0	12	3,2	8-10	2 ou 3	20-25
8,0	250-280	5,0	12	2,0 ou 2,4	8-10	3 ou 4	20-25
10,0	280-320	5,0 ou 6,0	12 ou 15	2,0 ou 2,4	8-10	4 ou 5	20-25

Tableau 11 : Paramètres pour le soudage manuel TIG en courant alternatif sous argon avec des électrodes de tungstène (joints bout à bout)

LORS DU POINTAGE, IL FAUT SUIVRE UN ORDRE DE SUCCESSION BIEN ÉTUDIÉ: LES DEUX EXTRÉMITÉS DOIVENT D'ABORD ÊTRE POINTÉES ET ENSUITE ON VA DU MILIEU VERS LES DEUX EXTRÉMITÉS

normalement pas affûtée; durant le soudage apparaît spontanément une extrémité arrondie avec une surface blanche réfléchissante. Si l'électrode est affûtée, il vaut mieux le faire suivant le schéma repris à la figure 14. L'électrode est alors légèrement conique sur une distance de 2D. Après avoir soudé, l'extrémité est automatiquement arrondie. Une extrémité d'électrode en forme de goutte indique une surcharge de l'électrode de sorte que, dans ce cas, une électrode de plus grand diamètre doit être choisie. Quand on soude en courant alternatif, il

d'insuffisance en gaz de protection après soudage. Durant le soudage, il faut absolument éviter un contact de l'électrode avec la pièce, le bain de fusion ou le métal d'apport. Si c'est le cas, l'électrode est polluée et va fondre et du tungstène peut se retrouver dans la soudure. La partie polluée de l'électrode doit être retirée par meulage avant de poursuivre le soudage.

GAZ DE PROTECTION

La fonction du gaz de protection est d'éviter que le matériau de base, porté à haute température, le bain de fusion et l'électrode ne s'oxydent et qu'il n'y ait pas également de contamination par l'azote et l'hydrogène provenant de l'air environnant. Pour le soudage TIG de l'aluminium, on peut choisir comme gaz de protection de l'argon, de

être de 99,99%. Pour des applications spéciales pour lesquelles des exigences élevées sont posées, l'argon doit avoir une pureté de 99,996%. L'hélium est principalement utilisé lors du soudage TIG mécanisé en courant continu, électrode négative. Par la tension d'arc plus élevée, l'arc est plus chaud ce qui donne une meilleure pénétration et/ou une vitesse de soudage plus élevée. Comme l'hélium est plus léger que l'air, il faut, pour avoir une protection suffisante du bain de fusion, avoir un flux de gaz deux à trois fois plus élevé qu'avec l'argon. Afin de profiter au mieux des propriétés de l'argon et de l'hélium, on utilise des mélanges argon-hélium (voir tableau 12 pour une application). La consommation en gaz dépend du diamètre de la buse (donc également des dimensions du bain de fusion, de l'intensité du courant de soudage et

l'aluminium sont comparables à celles utilisées pour l'acier mais il faut souder avec un faible écartement et un angle inclus plus grand car l'aluminium a une fluidité plus grande que l'acier. Les préparations typiques de joint pour le soudage à l'arc de l'aluminium sont données au tableau 13.

PRÉCHAUFFAGE

Le préchauffage peut être nécessaire afin d'éliminer l'humidité de condensation ou si l'apport calorifique lors du soudage par rapport à l'épaisseur des éléments à souder est insuffisant. Lors du soudage TIG, ceci se fait à partir d'une épaisseur de 10 mm. La température de préchauffage dépend du matériau et de l'importance de la construction et s'élève souvent entre 80 et 200°C. Lors du soudage des types d'aluminium durcissables, la

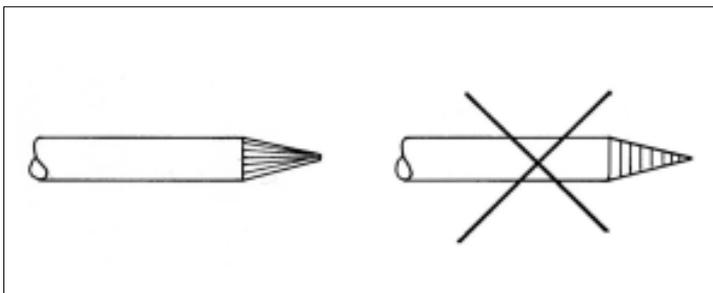


Figure 13 : L'affûtage de l'électrode doit partir de la pointe et non être concentrique. L'électrode doit être aussi lisse que possible

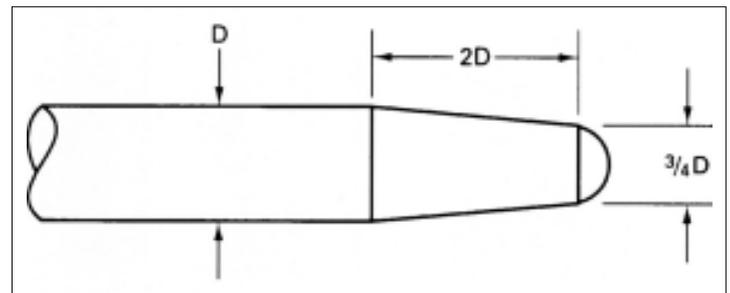


Figure 14 : Si l'électrode est affûtée, il vaut mieux le faire suivant le schéma repris à cette figure

vaut mieux utiliser une électrode en tungstène pur. Lors du soudage, il faut veiller à ce que le gaz de protection continue à passer suffisamment longtemps après l'arrêt de l'arc afin de protéger l'électrode de tungstène chaude de l'action de l'oxygène de l'atmosphère. La combustion de l'électrode est facilement reconnaissable à la 'couleur sombre' à la place de la 'couleur argentée' obtenue en cas

de l'hélium et un mélange d'argon-hélium (voir tableau 12). Lors du soudage TIG en courant alternatif, on utilise principalement de l'argon. Par rapport à l'hélium, l'argon est relativement bon marché, l'arc s'amorce facilement et par sa densité plus élevée, il donne une meilleure protection gazeuse et est moins sensible au vent latéral. Pour avoir une bonne qualité de soudure, la pureté de l'argon doit

être de 99,99%. Pour des applications spéciales pour lesquelles des exigences élevées sont posées, l'argon doit avoir une pureté de 99,996%. L'hélium est principalement utilisé lors du soudage TIG mécanisé en courant continu, électrode négative. Par la tension d'arc plus élevée, l'arc est plus chaud ce qui donne une meilleure pénétration et/ou une vitesse de soudage plus élevée. Comme l'hélium est plus léger que l'air, il faut, pour avoir une protection suffisante du bain de fusion, avoir un flux de gaz deux à trois fois plus élevé qu'avec l'argon. Afin de profiter au mieux des propriétés de l'argon et de l'hélium, on utilise des mélanges argon-hélium (voir tableau 12 pour une application). La consommation en gaz dépend du diamètre de la buse (donc également des dimensions du bain de fusion, de l'intensité du courant de soudage et

PRÉPARATION DES JOINTS

La préparation recommandée des joints pour le soudage à l'arc de

température de préchauffage doit être maintenue dans certaines limites, sinon les propriétés mécaniques diminuent trop. Lors de l'utilisation du gaz naturel ou du propane comme flamme de préchauffe, de l'humidité peut se libérer. L'acétylène avec l'air donne très peu d'humidité. Une zone de 75 mm de large environ des deux côtés de la soudure doit être préchauffée. Il faut veiller à ce que la flamme de préchauffe ne

perturbe pas le flux d'argon quand on chauffe durant le soudage. Un préchauffage électrique, à l'aide d'éléments de résistance, est également possible.

CONTRAINTES, MONTAGE ET POINTAGE

La combinaison d'une grande dilatation, d'une bonne conductibilité thermique et de propriétés mécaniques relativement faibles, va provoquer, après soudage de l'aluminium, des déformations qui sont beaucoup plus importantes que lors du soudage de l'acier dans des conditions comparables.

Afin de contrer ces déformations autant que possible, il est nécessaire de pointer et/ou de clamer les éléments à souder et de plus de suivre les indications suivantes:

- Souder le plus rapidement possible.
- Clamer les éléments à souder dans un gabarit suffisamment rigide.
- Précontraindre les éléments dans une direction contraire aux tensions de soudage attendues. Ceci demande de l'expérience et une connaissance du produit.
- Lors du soudage de grandes tôles de 3 mm d'épaisseur et plus minces, effectuer toujours un pointage de faible dimension avant soudage. Toujours aller du milieu vers l'extérieur. Par après, déposer

Argon (99,99%)	- soudage manuel en courant alternatif - soudage manuel en courant continu, électrode positive - soudage mécanisé en courant alternatif
Hélium (99,99%)	uniquement soudage mécanisé en courant continu, électrode négative
Argon 70% - hélium 30%	- soudage mécanisé en courant alternatif pour une vitesse de soudage plus élevée - soudage manuel en courant alternatif pour des épaisseurs de matériau plus fortes
Hélium 70% - argon 30%	- soudage mécanisé en courant continu, électrode négative - soudage mécanisé en courant continu pour des épaisseurs de matériau plus fortes - pour une vitesse de soudage plus élevée et/ou moins de porosités - soudage manuel en courant alternatif pour des épaisseurs de matériau plus fortes
Mélanges d'argon-hélium avec apport de N₂ donnent encore moins de porosités	

Tableau 12: Gaz de protection pour le soudage TIG et MIG

des pointages de longueur voulue corrects.

En raison du refroidissement rapide, les soudures de pointage sont sensibles à la fissuration. Afin d'éviter les fissures, il faut poser des soudures de pointage plus longues que lors du soudage de l'acier. Avec des matériaux sensibles à la fissuration à chaud, il faut utiliser beaucoup de métal d'apport lors du pointage TIG.

Lors du pointage, il faut suivre un ordre de succession bien étudié: les deux extrémités doivent d'abord être pointées et ensuite on va du milieu vers les deux extrémités. Les soudures de pointage doivent avoir

une longueur de 30 à 50 mm à une distance l'une de l'autre de 100-200 mm, en fonction de l'épaisseur de tôle et de la rigidité de la construction. Des soudures de pointage fissurées ou trop importantes doivent être éliminées avant soudage. Si la soudure de pointage fait partie de la soudure, le début de la soudure et les cratères doivent être meulés ou fraisés avant soudage.

Le projet "Conseil Technologique en Soudage" est subsidié par l'IWT-Vlaanderen, la Région Bruxelles-Capitale et le Ministère de la Région Wallonne. □

Tableau 13: Les préparations typiques de joint pour le soudage à l'arc de l'aluminium

FORME DE JOINT	EXÉCUTION	PRÉPARATION	EPAISSEUR DE TÔLE t	CHANFREIN α / β	ECARTEMENT	MÉPLAT C
Joint bout à bout	d'un seul côté		0,6-3	0	0-2	-
Joint bout à bout	d'un seul côté avec support		0,6-3	0	2-3	-
Joint en I	des deux côtés		≤ 4	0	0-2	-
Joint en V	d'un seul côté		3-10	60°-90°	0-2	0-2
Joint en V	des deux côtés		> 8	60°-90°	0-2	0-3
Joint en V	d'un seul côté avec support			α = 15 β > 60	0-3	0
Joint en V	des deux côtés			α = 15 β ≥ 60	0-2	2

BIBLIOGRAPHIE

- NIL - "Laskennis opgefrist" Sur base du "Job knowledge for Welders" de TWI Connect
- "Understanding Aluminium Alloys" Welding Journal, Avril 2002, pp. 77-80
- Aluminiumcentrum (Nederland) Het lassen van aluminium (I) Algemeen
- Het lassen van aluminium (II) TIG-lassen
- Het lassen van aluminium (III) MIG-lassen
- Het lassen van aluminium (IV) Weerstandlassen
- "Défauts lors du soudage de l'aluminium - comment les éviter" R. Vennekens, Lastijdschrift/Revue de la Soudure 3, pp. 4-13
- "Slimme constructie werkt kostenbesparend" H. Lammertz, H. Brantsma, EWE, Aluminium 4/98 pp. 27-29
- "Combinatie van laser en plasmaboog" lastechniek, november 1998, pp. 9-12
- "Lasmetallurgie der metalen buiten het ijzer" Prof. dr.ir. E. Wetting, Laboratorium Non Ferro Metallurgie, RUG
- Welding Handbook Vol. 3, part 1, Materials and applications, 8th Ed., 1996 American Welding Society, pp. 1-120
- "Le soudage de l'aluminium et de ses alliages" R. De Mulder (ESAB) - Conférences Technologiques IBS
- "Het lassen van aluminium en aluminiumlegeringen" R. Vennekens, B. Verstraeten "BIL Workshops 2000"
- "Porositeit bij het lassen van aluminium - Technische Gegevens"
- EN 573-1: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 1: Numerical designation system
- EN 573-2: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 2: Chemical symbol based designation system
- EN 573-3: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 3: Chemical composition
- EN 573-4: Aluminium and aluminium alloys - Chemical composition and form of wrought products - Part 4: Forms of products.
- EN 515 - Aluminium and aluminium alloys - Wrought products - Temper Designations
- 14.TIG - en plasmalassen VM81 - Vereniging FME
- 15.Welding Handbook Vol. 2, Welding processes 8th Ed., 1991