

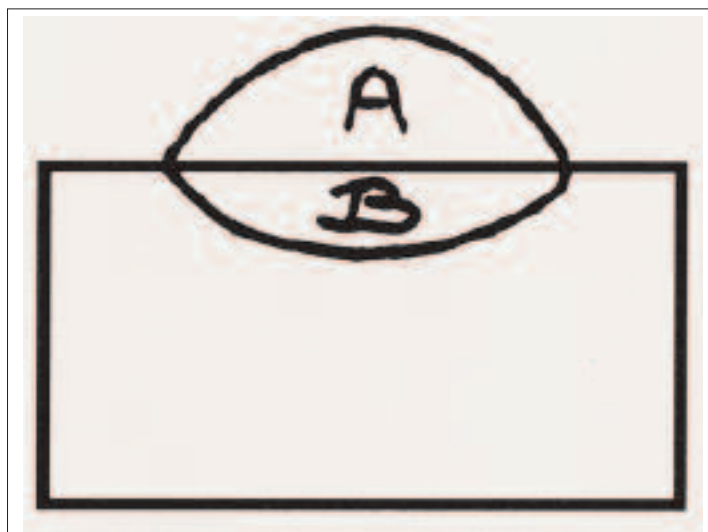
# SOUDAGE DES MATÉRIEAUX DISSEMBLABLES

## FICHE D'INFORMATION SUR L'ALUMINIUM – PARTIE 8

Dans cette huitième partie de notre fiche d'information sur l'aluminium, nous parlerons du soudage des matériaux dissemblables.

Cet article traitera du choix du métal d'apport, donnera quelques exemples pratiques et formulera encore quelques conseils pour le soudage TIG et MIG de l'aluminium.

**Par** Ir. R. Vennekens, EWE, FWeldl, Institut Belge de la Soudure  
Ing. B. Verstraeten, IWE, Institut Belge de la Soudure  
Ing. K. Broeckx, EWE, Institut Belge de la Soudure  
(Traduction: M.C. Ritzen, Institut Belge de la Soudure)



quatre heures après la préparation.

### CHOIX DU MÉTAL D'APPORT

Le métal d'apport est souvent choisi en fonction des exigences posées (résistance à la corrosion, déformabilité...) et non en fonction de la soudabilité. Le choix du métal d'apport dépend de la composition du métal de base, compte tenu de la dilution obtenue.

Celle-ci dépend de la préparation du joint, du procédé de soudage et de la procédure de soudage suivie.

En pratique, on choisit souvent un métal d'apport d'alliage semblable ou plus élevé; ceci afin de réduire la sensibilité à la fissuration et d'obtenir une résistance à la traction qui soit égale ou supérieure à celle du métal de base. La

dilution est définie par:  
dilution = {surface B} / {surface A + B} x 100 (%)

Les métaux d'apport peuvent être répartis en trois groupes: Al pur, groupe Si, groupe Mg (tableau 1). Les alliages Al-Mg sont les plus souvent utilisés comme métal d'apport en raison de la bonne résistance à la traction après soudage et de la faible sensibilité à la fissuration des alliages d'aluminium dissemblables. Le choix du métal d'apport (tableau 2) est fonction de la facilité de soudage, des propriétés mécaniques optimales, de la résistance à la corrosion et de l'obtention d'une teinte homogène après anodisation. Quand on soude avec un métal d'apport à teneur en Si (par ex. AlSi5), la soudure aura une teinte gris foncé-

noire après anodisation.

### SENSIBILITÉ À LA FISSURATION

Le choix judicieux du métal d'apport et de la procédure de soudage peut réduire au maximum le risque de fissuration à chaud. Pour ce faire, il faut préparer le joint de façon appropriée et limiter la dilution, éviter le bridage, avoir une vitesse élevée de refroidissement afin de limiter les ségrégations au milieu de la soudure et choisir une séquence de soudage appropriée.

Si le métal d'apport n'est pas bien choisi en fonction du métal de base, des fissures apparaissent toujours. Pour une teneur en silicium de "0,8% de la soudure (= surface A+B dans la figure 1) ou une teneur en magnésium de "1,2% de la soudure, on aura une sensibilité maximale à la fissuration (figure 2). Quand, par ex., on soude un alliage d'aluminium ayant une teneur en silicium de "0,8% sans métal d'apport, la soudure va certainement fissurer. La fissure apparaît au milieu de la soudure et suit le sens du soudage (fissuration à chaud). Un mauvais choix du métal d'apport peut également donner lieu à des fissures à chaud. Par ex., quand on soude un aluminium pur avec un métal d'apport AlMg3 (3% Mg) avec le procédé MIG, la dilution peut être estimée (dans des conditions normales) à "30%. On a ainsi une soudure ayant une teneur en Mg de 2,1% environ et on n'aura aucun problème de fissuration à chaud. Cependant, si on soude en MIG un AlMg3 avec un fil en Al

pur (avec "30% de dilution), on a une soudure ayant une teneur en Mg de "0,9% et il y a un très grand risque de fissuration à chaud!

### EXEMPLES PRATIQUES

La série d'exemples pratiques suivants donne un aperçu de problèmes rencontrés dans l'industrie. De petites causes peuvent avoir de graves effets. L'application de simples règles de base pour le soudage de l'aluminium aurait pu éviter ces problèmes!

### SENSIBILITÉ À LA FISSURATION DU MÉTAL D'APPORT

Dans une entreprise, des échafaudages pour peintres ont été fabriqués. Le métal de base était un alliage AlMgSi1. Les profils extrudés ont été soudés les uns aux autres avec le procédé TIG avec un métal d'apport. Comme il s'est passé un accident en Allemagne avec une construction comparable d'un concurrent, les soudures ont été examinées très soigneusement par les organismes de contrôle. Des fissures ont été constatées à chaque démarrage et arrêt des soudures. Les soudures elles-mêmes étaient exemptes de fissures! On comprit rapidement ce qui était arrivé. L'alliage utilisé est très sensible à la fissuration quand on soude sans métal d'apport. Les soudeurs commençaient la soudure sans ou avec très peu de métal d'apport. Dès que le bain de fusion se formait et qu'ils commençaient à bouger la torche,

Figure 1: Coupe d'une soudure (figures: Marc Martens)

RÉSISTANCE À LA TRACTION CROISSANTE		DUCTILITÉ DÉCROISSANTE
ASTM	AFNOR	DIN
1100	A 4	Al 99 - aluminium pur
4043	A 5 5	AlSi 5 - groupe Si
5554 (5154)	AG 3	groupe Mg
5356 5183 5556	AG 5	groupe Mg

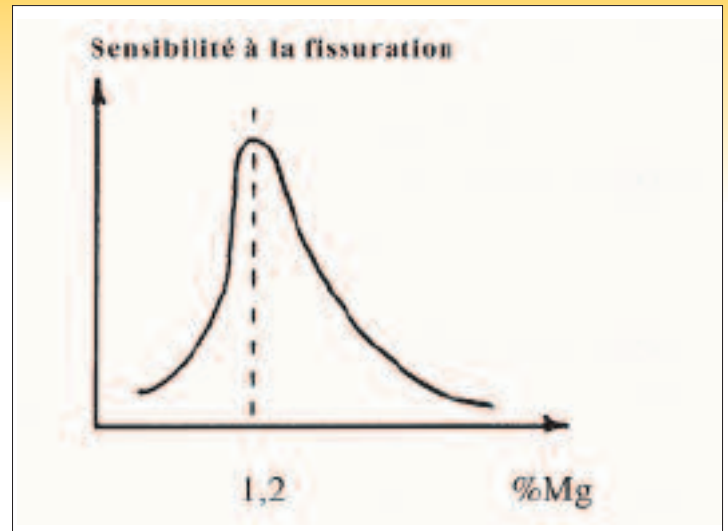
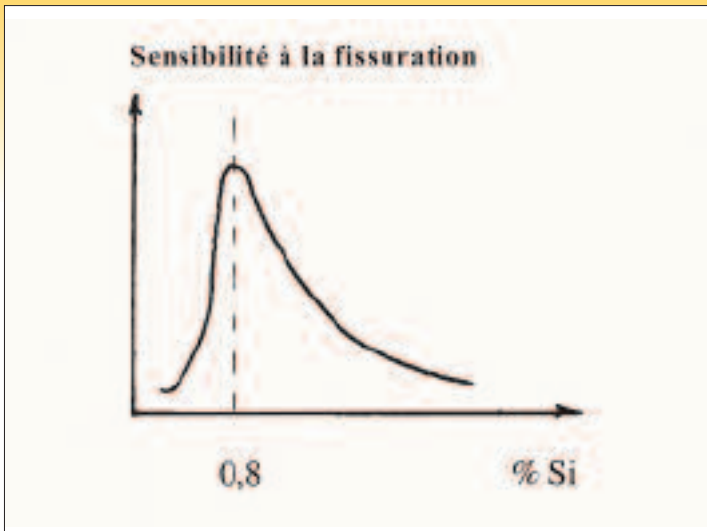


Tableau 1 : Les métaux d'apport peuvent être répartis en trois groupes: Al pur, groupe Si, groupe Mg

ils utilisaient du métal d'apport. À la fin de la soudure, ils ne mettaient plus de métal d'apport. De ce fait, au début et à la fin des soudures, on avait des fissures à chaud.

### POROSITÉS

Les porosités dans les soudures d'aluminium sont dues à l'hydrogène qui peut être présent de différentes façons:

- dissous dans la pièce ou dans le métal d'apport;
- dissous ou lié chimiquement à la peau d'oxyde de la pièce ou du métal d'apport;
- eau ou humidité à la surface de la pièce ou du métal d'apport;
- humidité de l'atmosphère mélangée par turbulence au flux d'argon (procédé à l'arc avec gaz) et, par cette voie, entre dans le bain de fusion;
- humidité dans le gaz de protection ou dans les conduites d'alimentation;
- graisse, saletés, poussières sur la pièce ou les conduites d'alimentation.

Durant le soudage, le métal d'apport et une partie de la pièce sont fondus. Le bain de fusion peut reprendre de grandes quantités d'hydrogène à partir des sources susmentionnées. Cet hydrogène se libère en grande partie lors du refroidissement étant donné la faible solubilité de l'hydrogène dans l'aluminium solide. Une partie de l'hydrogène libéré ne pourra cependant plus s'échapper et restera dans la soudure ce qui provoquera des porosités.

Une entreprise dans le port d'Anvers stocke des produits chimiques pour son client. Durant une nuit, du diesel pour voitures a été transvasé d'un réservoir à un autre. Toutes les conduites, toutes les soudures... avaient été contrôlées par un organisme de contrôle sauf un accessoire. Afin de pouvoir faire la liaison entre quelques conduites fixes, on avait fait une pièce d'accouplement démontable constituée de quelques coudes, tubes droits et brides. On a constaté ensuite que les tubes droits étaient constitués de tôles. Celles-ci avaient été enroulées et le

joint soudé longitudinal avait été réalisé en TIG. L'accessoire avait été utilisé durant de nombreuses années sans problèmes jusqu'à cette nuit. Le joint longitudinal du tube a cédé.

Un examen a montré que la soudure n'avait pas été faite en pleine pénétration et que la section soudée présentait d'importantes porosités. (Figure 3) Le coût du diesel perdu fut insignifiant au regard des frais d'assainissement du terrain!

### COLLAGE

- Celui-ci peut être dû à un apport calorifique trop faible ou une teneur en oxygène trop élevée dans l'arc. L'apport calorifique est lui-même lié au procédé ce qui signifie que (dans des conditions normales comme par ex. soudage à température ambiante sans préchauffage) le choix du procédé de soudage est déterminé également par l'épaisseur du matériau (figure 4). Il y a quelques années, on a dû

souder des anodes en aluminium sur la coque de jetfoils. Suivant les spécifications de Boeing, il fallait utiliser le soudage TIG. La composition du gaz de protection n'était pas spécifiée. Les anodes avaient une section de 100 x 100 mm et la longueur variait de 200 à 1.000 mm! L'alliage était soudable et la littérature mentionnait que cet alliage était principalement utilisé comme 'heat sink', donc pour l'évacuation de la chaleur. Toutes les tentatives pour souder une anode sur une éprouvette de 8 mm d'épaisseur, avaient été vaines. On avait toujours 100% de collage du côté de l'anode. L'anode était une pièce coulée; on n'avait pas enlevé la croûte de coulée. Après l'avoir enlevée, on est passé à l'essai de soudage: déposer une soudure sur l'anode. Même avec un courant de soudage maximal, 350 A, on ne réussit pas. Il fallut préchauffer jusque 500 °C pour former un bain de fusion avec le procédé TIG! On est alors passé au procédé MIG ce qui a donné de bons résultats: on a soudé avec 100% d'argon comme gaz de protection et on n'a même pas dû préchauffer.

- l'argon est souvent recommandé comme gaz de protection lors du soudage TIG (soudage en courant alternatif). Cependant, si l'épaisseur augmente, le risque de collage croît également. Il faut donc préchauffer pour éviter ce défaut de soudage. Une alternative est d'appliquer un mélange gazeux. Quand on ajoute de l'hélium au gaz de protection (argon), la tension augmente durant le soudage jusque 1,5 fois (max.) la tension pour l'argon pur. Ainsi, l'apport calorifique augmente ( $V \times A/cm$ ). Avec un gaz de protection de 100% He, on obtient un arc instable qui démarre mal. C'est pourquoi, le pourcentage d'hélium est limité à 90%. Les mélanges Ar-He courants sont: 75-25, 50-50,

Figure 2: Pour une teneur en silicium de 0,8% de la soudure (= surface A+B dans la figure 1) ou une teneur en magnésium de

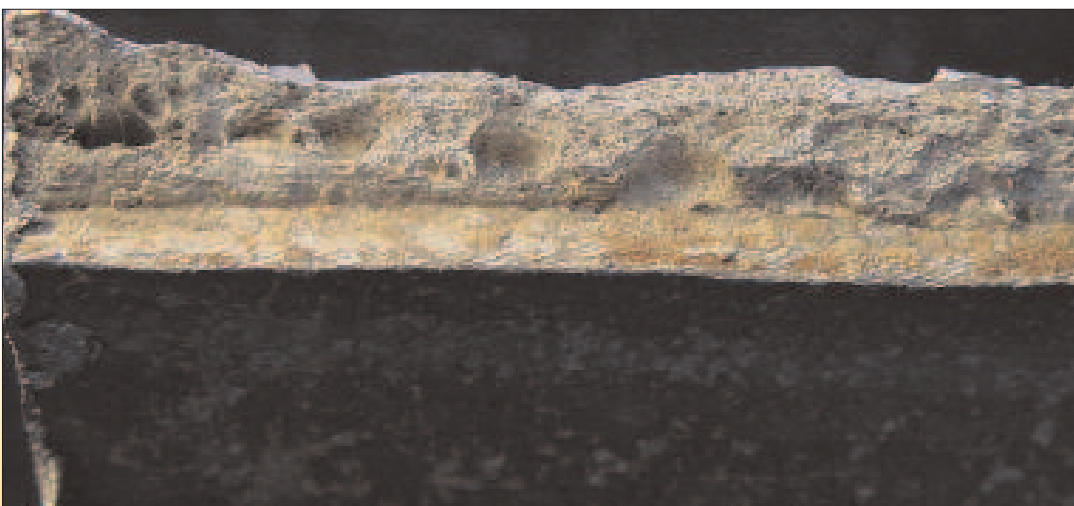


Figure 3: Exemple d'une soudure poreuse

joint d'angle devaient être soudés des deux côtés! L'utilisation de mélanges argon-hélium apporta la solution. On obtint une bonne pénétration pour une température de préchauffage autour de 100 °C.

- Chez un constructeur automobile, le liquide de freinage était livré dans des containers en aluminium d'une contenance de 750 l. Les containers avaient été soudés avec le procédé TIG. Sur quatre des containers, on a constaté des fuites à l'endroit des soudures TIG. On perdait, par container, 400 l de liquide! Les soudures avaient un très bel aspect visuel. Une partie de la soudure fut prélevée pour examen. On constata qu'il y avait un manque de pénétration sur presque tout le flanc d'une des deux tôles à assembler.

- Sur un châssis de voiture, on a constaté des fissures aux soudures de fixation entre les longerons et les profils transversaux. Le soudeur devait donc essayer de refermer ces fissures. Le procédé TIG a été appliqué mais il est clair que l'énergie de l'arc n'était pas suffisante et que les règles de base n'ont pas été respectées. Le résultat était en rapport.

- Inclusions dans une soudure des deux côtés  
 Dans une soudure des deux côtés dans une tôle de 6 mm d'épaisseur, une préparation en V a été faite d'un côté qui a été soudé en premier. On a ensuite meulé de l'autre côté avec une meule circulaire. Après brossage, la soudure à l'envers a été déposée. Lors de la radiographie, on a constaté des défauts de

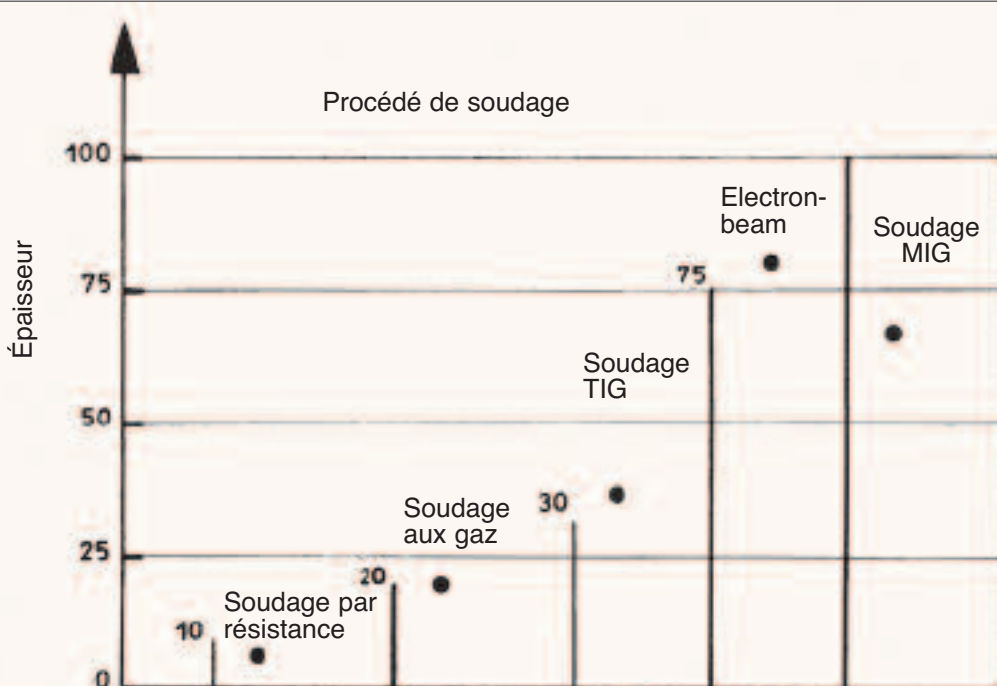
Figure 4: L'apport calorifique est lié au procédé, ce qui signifie que le choix du procédé de soudage est déterminé également par l'épaisseur du matériau

soudage. Les (petites) porosités se trouvaient symétriquement de part et d'autre au milieu de la soudure et formaient parfois une rangée, ce qui n'était pas admissible. La distance entre les défauts linéaires était précisément égale à l'épaisseur de la meule. Celle-ci avait été achetée par un responsable 'spécialement pour les soudures dans l'aluminium'. La procédure de soudage donnant de bons résultats, a été la suivante: nettoyage autour de la soudure avec une brosse en acier inoxydable c.-à-d. sur et sous la tôle sur une largeur de 25 mm environ à côté de la soudure; préparation mécanique de la tôle pour avoir une préparation en V; soudage de la première passe; fraissage à l'envers (pas de meulage) avec une fraise à queue et dépôt de la soudure à l'envers (le fraissage doit être fait à sec). Le soudage doit être réalisé dans les

25-75 et 10-90. Quand on soude en courant continu, électrode négative, 100% hélium est applicable. Dans une entreprise, on a soudé des appareils à vide; les procédés TIG et MIG ont été utilisés. Les plus petits appareils ont été fabriqués en aluminium avec une épaisseur de 15 mm. Tant que les soudures ont

été contrôlées par ressuage, il n'y avait aucun problème. Quand le client est passé aux essais de fuite à l'hélium, on a constaté que les soudures n'étaient pas étanches à 100%. Le préchauffage résolut le problème. On est alors passé à des épaisseurs plus fortes. La température de préchauffage s'élevait à 150 à 200 °C. Tous les

"1,2% de la soudure, on aura une sensibilité maximale à la fissuration (figure 2)



CONSEILS POUR LE SOUDAGE MIG

- dégraisser;
- brosser juste avant de souder les deux matériaux à assembler au-dessus et en-dessous sur une largeur de 25 mm environ avec une brosse en acier inoxydable;
- nettoyer, brosser ou, encore mieux, fraiser le joint directement avant de souder;
- souder dans les quatre heures après avoir brossé/nettoyé;
- appliquer de préférence un support en acier inoxydable avec un faible écartement (env. 1 mm);
- pour une épaisseur de 5 mm, choisir un joint en V avec un angle d'ouverture de 80-90° et utiliser un méplat de 1,5 à 2 mm;
- pour une soudure réalisée en poussant en position horizontale, appliquer un angle de 15° environ;
- pour une épaisseur de 5 mm, utiliser de préférence un diamètre de fil de 1,2 mm;
- placer la torche à 2 à 3 mm du milieu du joint dans la direction du matériau ayant la conductibilité thermique la plus



