



L'appareil de soudage par points par friction à l'IBS est un RPS100 de la firme Harms & Wende

ARRIVEE DU SOUDAGE PAR POINTS PAR FRICTION

ALLIAGES D'ALUMINIUM HAUTE RESISTANCE EN AW-7075 T6

Avec le soudage par points par friction, une technique innovante est récemment apparue sur le marché. L'assemblage est réalisé ici via la chaleur de friction et une déformation mécanique. Cette nouvelle technique de soudage convient pour le soudage de l'aluminium et offre une solution aux difficultés rencontrées lors du soudage par points par résistance de ces matériaux, comme l'usure de l'électrode et la tenue de l'outil. Cet article porte sur la recherche expérimentale relative à la nouvelle technique pour les alliages d'aluminium EN AW-7075 T6, utilisés en raison du bon rapport résistance-densité dans diverses applications du secteur du transport.

Irene Kwee et Koen Faes, Institut belge de la Soudure

TENDANCE AUX MATERIAUX HAUTE RESISTANCE LEGERS

Les matériaux haute résistance légers comme les alliages d'aluminium sont en plein essor, en particulier dans le secteur automobile et aéronautique. Au cours de ces quatre dernières décennies, la quantité d'aluminium dans les voitures a par ex. été multipliée par cinq et les avions sont entre-temps composés pour 75 à 80% d'aluminium. Vu qu'on utilise de plus en plus souvent de la tôle d'aluminium dans diverses branches de l'industrie, pour remplacer la tôle d'acier, il est souhaitable que les techniques d'assemblage existantes, comme le soudage par points, puissent toujours être utilisées. Cette technique est appliquée dans divers secteurs en raison du coût réduit, de la vitesse et de l'insensibilité aux variations de précision dimensionnelle des éléments à souder. Le soudage par points est, de ce fait, aussi idéal pour l'automatisation.

SOUDAGE PAR POINTS PAR RESISTANCE

Contrairement au soudage par points de l'acier, l'assemblage de l'aluminium avec ce processus de soudage va de pair avec quelques grosses difficultés dues à la détérioration plus rapide des électrodes de soudage par points. Vu que l'aluminium est un excellent conducteur thermique, l'échauffement par résistance ohmique dans les tôles à souder est faible lors du soudage par résistance. La chaleur générée est donc aussi rapidement évacuée. Par rapport à l'acier au carbone, le courant de soudage réel nécessaire est par conséquent jusqu'à trois fois plus élevé. Cela signifie qu'il faut prévoir une source de courant plus puissante pour le soudage d'alliages d'aluminium. Cette intensité de courant plus élevée est néfaste pour l'usure de l'électrode de soudage. L'aluminium et le cuivre peuvent, en outre, se dissoudre assez facilement l'un dans l'autre ou former un alliage.

La température élevée régnant pendant le soudage à la surface de la tôle et de l'électrode favorise, en effet, cette formation d'alliage des électrodes et cela est inévitable lors du soudage par points d'alliages d'aluminium. Les alliages

d'aluminium ont, de plus, une couche d'oxyde faisant office d'isolant électrique, ce qui augmente encore la production de chaleur. En raison de la prise d'aluminium, la température de fusion de l'électrode en cuivre baisse et lors de la soudure suivante, la prise d'aluminium sera plus importante. Pour garantir la qualité de la soudure par points, les électrodes doivent être brossées régulièrement. Le nettoyage régulier des électrodes ralentit le processus, ce qui augmente les coûts de production. La combinaison du courant de soudage élevé et de la tendance à la formation d'alliages se traduit généralement par une durée de vie particulièrement courte des électrodes.

SOUDAGE PAR POINTS PAR FRICTION

Pour contrer ces inconvénients du soudage par résistance de l'aluminium, une nouvelle variante du soudage par points a été développée: le

soudage par points par friction. Il s'agit d'un procédé de soudage à l'état solide (*le matériau reste autrement dit à l'état solide*), convenant pour le soudage d'alliages à fusion basse comme l'aluminium et le magnésium. Le processus utilise un outil spécial pour la réalisation d'un assemblage de tôles avec recouvrement. Le résultat? Un assemblage soudé par points réalisé via la chaleur de friction et une déformation mécanique.

Avantages

- assemblage sans perte de matière ni cratère final,
- temps de soudage réduit (quelques secondes),
- écologique: pas d'utilisation de matériaux d'apport ou de gaz de protection, pas d'émission de fumée de soudage, de rayonnement IR, UV ou électromagnétique pendant le cycle de soudage.

Principe du soudage par points par friction

Le procédé est exécuté en quatre phases, à l'aide d'un outil composé d'un pion, d'un manchon et d'une bague de clamage. Cette dernière serre les deux tôles à souder. Le manchon et le pion tournent initialement dans le même sens (a).

Le manchon est enfoncé tout en tournant dans le matériau, tandis que le pion est retiré (b). Cela crée une cavité à l'intérieur du manchon. Le manchon amène la matière des tôles à un état visqueux-plastique, sous l'effet de la friction entre le manchon et la tôle. Le matériau plastique est ensuite poussé dans la cavité dans le manchon. Une fois la profondeur de pénétration pré-définie du manchon atteinte, il

est retiré et le pion repousse le matériau plastique dans le manchon dans la zone de soudage, afin qu'elle soit complètement remplie (c).

Lorsque le pion et le manchon retrouvent leur position initiale, la rotation des deux est arrêtée et l'outil entier est retiré (d). Les principaux paramètres du procédé sont la vitesse de rotation, la profondeur de pénétration, le temps de soudage et la force sur le pion et le manchon. Le temps de soudage détermine surtout l'apport de chaleur, tandis que la profondeur de pénétration et la vitesse de rotation sont associées aux flux de matériau dans la zone de soudage.

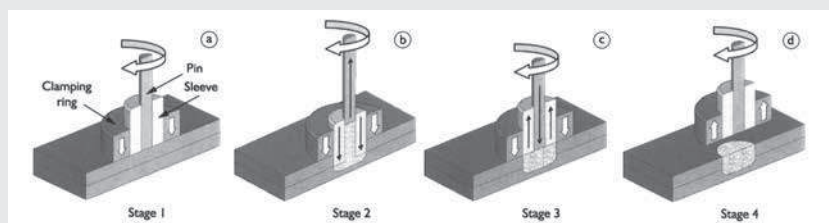


TABLEAU 1	
ELEMENT	% POIDS
Al	87,1 – 91,4
Cr	0,18 – 0,28
Cu	1,2 – 2,0
Fe	Max. 0,5
Mg	2,1 – 2,9
Mn	Max. 0,3
Si	Max. 0,4
Ti	Max. 0,2
Zn	5,1 – 6,1
Autre	Max. 0,15

Composition chimique typique EN AWW-7075 T6

SOUDEABILITE DES ALLIAGES EN AW-7075 T6 EN TOLES

La soudabilité de tôles d'aluminium haute résistance EN AWW-7075 T6 de 1,6 mm d'épaisseur a été étudiée. La composition chimique et les propriétés mécaniques de l'alliage sont reprises dans les tableaux 1 et 2. Les assemblages soudés par points par friction ont subi un examen métallographique, puis des essais de cisaillement et de traction. Dans les deux séries, le temps de soudage, la profondeur de pénétration et la vitesse de rotation étaient modifiés selon un planning d'étude statistique. Vous trouverez une vue d'ensemble des essais dans le tableau 3.

Examen métallographique

La figure en bas de cette page montre une coupe transversale typique d'une soudure par points par friction. La zone entre les deux traits en pointillés équivaut plus ou moins au diamètre extérieur du manchon et indique le noyau de soudure. La flèche blanche désigne le ligament de liaison (bonding ligament length), défini comme la longueur de la liaison entre les deux tôles parallèlement à la surface de la tôle. Un gros plan (cadre orange) montre les différentes zones micro-structurelles et les défauts géométriques. Le noyau de soudure (SZ) se trouve au milieu de la soudure et est caractérisé par une micro-structure fine. A côté du noyau de soudure, se trouve la zone affectée thermo-mécaniquement (TMAZ). Elle consiste en une micro-structure déformée, générée en cas de température plus basse et par une déformation plastique. La zone affectée thermiquement (HAZ) est caractérisée par une micro-structure non déformée. Les principaux défauts géométriques sont un remplissage incomplet de

TABLEAU 2			
LIMITE ECOUL. (MPa)	RES. TRACTION (MPa)	LIMITE ELASTIC. (%)	POINT DE FUSION (°C)
503	572	11	477 – 635

Propriétés mécaniques de EN AWW-7075 T6

TABLEAU 3			
SERIE 1		SERIE 2	
Temps de soudage (s)	6 – 8 – 10	Temps de soudage (s)	7 – 8 – 9
Prof. de pénétration (mm)	1,6 – 2,0 – 2,4	Prof. de pénétration (mm)	2,0 – 2,2 – 2,4
Vitesse de rotat. (tr/min)	1.000 – 2.000 – 3.000	Vitesse de rotat. (tr/min)	1.000 – 2.000 – 3.000

Vue d'ensemble des paramètres de soudage pour les deux séries

Série 1: assemblages soudés par points par friction pour essais de cisaillement

Série 2: assemblages soudés par points par friction pour essais de traction

la soudure survenant lorsque le pion repousse la matière plastique dans le manchon, des porosités le long du trajet de pénétration du manchon dans les tôles, et le hooking, résultant de la déformation du plan de séparation initial entre les deux tôles.

Essais de cisaillement

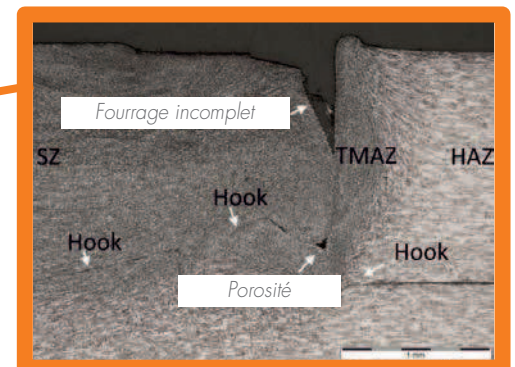
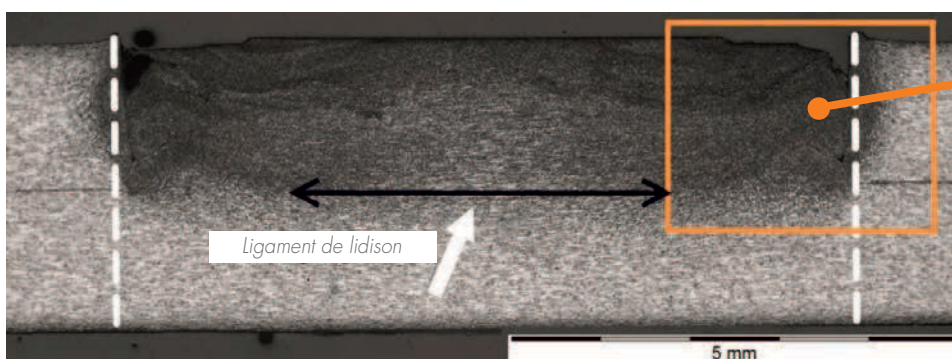
Une première série d'assemblages soudés par points par friction a été soumise à un essai de cisaillement, avec une plage de forces de cisaillement de 6,9 à 8,7 kN. L'examen a donné des graphiques, illustrant l'effet du temps de soudage et de la vitesse de rotation sur la résistance au cisaillement. Il en ressort que celle-ci s'améliore avec un temps de soudage plus long. Cela peut s'expliquer à l'aide de la micro-structure de l'assemblage, obtenue avec différents temps de soudage. Lorsque le temps de soudage augmente, le remplissage incomplet disparaît, ce qui se traduit par une coupe transversale avec moins de défauts, voire aucun. De plus, pour les soudages avec un temps de soudage plus long, le noyau de soudure présente au centre une micro-structure à grains plus fins, allant plus loin que la jonction entre les deux tôles. La micro-structure la plus fine se trouve aux extrémités du noyau de soudure, vu que la vitesse tangentielle du pion et du manchon est plus élevée à ces endroits. Ces changements de micro-structure contribuent à augmenter la résistance au cisaillement et résultent probablement d'un apport de chaleur accru, notamment causé par une augmentation du temps de soudage. Il a aussi été prouvé que la résistance au cisaillement s'améliorait quand la vitesse de rotation diminuait. Une vitesse de rotation moindre donne un noyau de soudure avec un ligament de liaison

plus long et une micro-structure plus fine, allant en outre plus profondément dans la tôle inférieure. Ces changements de micro-structure contribuent à augmenter la résistance au cisaillement. Quand la vitesse de rotation augmente, la taille et la forme du noyau de soudure changent. Comme la jonction est plus courbée de part et d'autre du noyau de soudure, le ligament de liaison est plus court. Le noyau de soudure entre aussi moins profondément dans la tôle inférieure et il y a une zone verticale de gros grains juste sous la zone du pion. Cela peut être dû à la vitesse tangentielle nulle à cet endroit. La plus petite quantité de mélange survient donc à cet endroit.

Il y a, enfin, un lien entre les résistances au cisaillement obtenues, les paramètres de soudage et le mécanisme de rupture. Les soudages dont la soudure rompt complètement dans la tôle inférieure possèdent la plus grosse résistance au cisaillement. Cela est peut-être dû au fait que la zone de soudage dans la tôle inférieure est probablement la plus faible. Ce mécanisme de rupture touche principalement les soudages produits avec une plus grande profondeur de pénétration, une vitesse de rotation plus lente et un temps de soudage plus long.

Essais de traction

Une deuxième série de soudures par points par friction a été soumise à un essai de traction, avec une plage de forces de traction de 0,3 à 2,6 kN. Ces valeurs sont bien moins élevées que celles des forces de cisaillement, variant entre 6,9 et 8,7 kN. Cela est dû au fait que la charge dans un essai de traction n'est pas la charge de prédilection pour les assemblages soudés par points dans la configuration à recouvrement. Il ressort de l'examen que le temps de soudage et



la profondeur de pénétration présentent une relation linéaire avec la résistance à la traction obtenue. La résistance à la traction augmente avec le temps de soudage de même qu'avec la profondeur de pénétration. Cela est probablement dû à un apport de chaleur accru lorsque le temps de soudage est augmenté. Un soudage produit avec une profondeur de pénétration égale à l'épaisseur de la tôle (1,6 mm) ne donne pas lieu à une pénétration du pion et du manchon dans la tôle inférieure. Il n'y a donc pas d'assemblage robuste au niveau de la jonction, le risque de défauts (porosités, liaison partielle sous le noyau de soudure, hooking,...) à la jonction entre les deux tôles est important et une faible résistance à la traction est obtenue. Les soudages produits avec une profondeur de pénétration supérieure à l'épaisseur de la tôle donnent lieu à une amélioration de la résistance à la traction, vu qu'ici, il y a également un assemblage avec la tôle inférieure. L'effet des paramètres de soudage sur le mécanisme de rupture pendant les essais de traction peut être décrit comme suit. Dans le cas de soudages réalisés avec une profondeur de pénétration de 1,6 mm, la soudure rompt exclusivement au niveau de la jonction. Cela peut s'expliquer par la liaison partielle et les défauts micro-structuraux survenant dans ce cas. La jonction est ainsi la zone la plus faible dans ce sens de charge.

Lorsque la profondeur de pénétration augmente, le mécanisme de rupture se déplace en grande partie d'une rupture de la soudure à la jonction vers une rupture complète de la soudure dans la tôle supérieure.

EFFET DES PARAMETRES

L'effet des paramètres sur la micro-structure et les forces peut être résumé comme suit:

- **Influence du temps de soudage:** son augmentation entraîne un apport de chaleur accru. Cela donne moins de défauts et un noyau de soudure plus profond avec une micro-structure plus fine, ce qui augmente la résistance au cisaillement et à la traction. Ces soudures rompent généralement dans la tôle inférieure.
- **Influence de la vitesse de rotation:** son augmentation entraîne un apport de chaleur accru. Ici, l'effet inverse survient toutefois, vu qu'on obtient dans ce cas un noyau de soudure plus petit avec un ligament de liaison plus court et une micro-structure à plus gros grains, ce qui se traduit par une résistance à la traction réduite. Une diminution de la vitesse de rotation à 1.000 tr/min donne un noyau de soudure plus profond avec un ligament de liaison plus long et une micro-structure plus fine. Ces changements de micro-structure induisent une amélioration de la résistance à la traction.

- **Influence de la profondeur de pénétration:** une profondeur de pénétration égale à l'épaisseur de la tôle supérieure doit être évitée, vu que cela donne des liaisons partielles et des défauts micro-structuraux à la jonction. La résistance à la traction diminue donc, et est améliorée en augmentant la profondeur de pénétration.

Un soudage réalisé avec une vitesse de rotation de 1.000 tr/min, un temps de soudage de 8 secondes et une profondeur de pénétration de 2,4 mm présente la résistance à la traction la plus élevée de 2,8 kN et la résistance au cisaillement la plus élevée de 10,2 kN et rompt complètement dans la tôle inférieure. □

Lisez cet article plus amplement sur metallerie.pmg.be

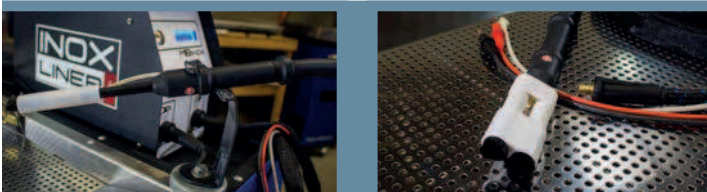
Intéressé?

Pour définir les possibilités de ce procédé et les confronter à la pratique, l'IBS lancera, si l'industrie montre un intérêt suffisant, un projet de recherche axé sur la pratique. Le but sera d'examiner les possibilités de ce procédé concernant la soudabilité des matériaux et l'applicabilité. Des études de cas industriels seront aussi réalisées pour démontrer le potentiel du procédé. Les entreprises intéressées par le procédé peuvent contacter l'Institut belge de la Soudure.

Contact: Koen Faes koen.faes@bil-ibs.be

Sir
John
i serve

La prochaine étape dans le nettoyage de soudures



Grâce à une pompe automatique, travailler avec les produits Inoxidiner devient encore plus efficace, rapide et bon.

- Dosage d'électrolyte automatique par une commande monobouton.
- Economie en utilisation, 50% plus rapide et une durée de vie 60% plus longue de la brosse carbone.
- Dosage d'électrolyte de la can directement sur la pièce.



Pour de plus amples informations ou pour une démonstration, contactez:

Sir John b.v.
Moordrecht
Tel. 0031 (0)182 36 69 31

info@sir-john.nl
www.sirjohn.nl

MD METAALWERKEN
ROOS DE ROOS



DÉCOUPAGE LASER
tube et 2D



PLIAGE

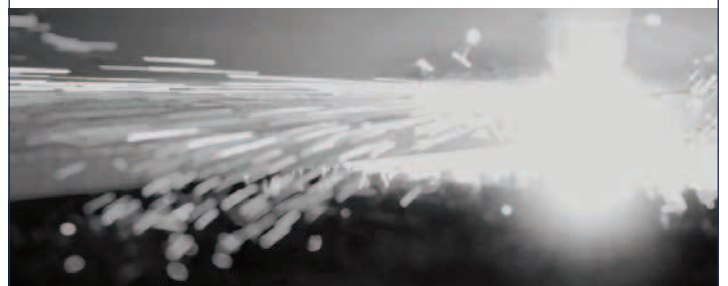


POINÇONNAGE



SOUDAGE

DE SOUS-TRAITANCE À ASSEMBLAGE



Votre commande aux mains expertes

industrieterrein Hoogveld ■ Vriesenrot 6 ■ 9200 Dendermonde
052 21 84 57 ■ info@deroos-metaal.be ■ www.deroos-metaal.be