

SOUDEGE INNOVATEUR DES ALLIAGES MÉTALLIQUES LÉGERS

FRICION STIR WELDING ET HYBRID LASER WELDING: L'AVENIR?

Les alliages d'aluminium forment le groupe d'alliages le plus important après les aciers. L'aluminium sera de plus en plus utilisé dans les années à venir (comme d'ailleurs les alliages de magnésium), surtout dans le domaine de l'automobile et du transport. Il est clair que cette tendance est principalement due à la densité plus faible de ces alliages que celle de l'acier. Le soudage des alliages d'aluminium peut poser de graves problèmes au soudeur. Le soudage friction stir ainsi que le soudage hybride au laser peuvent alors offrir une solution.

Par ir. Wim Van Haver

Centre de Recherche de l'IBS

(Traduction: M.C. Ritzen – IBS)

Introduction

Le jeudi 27 octobre 2005, un symposium a été organisé à l'IBS Bruxelles dans le cadre du projet de recherche collective IBS/VITO/UCL, ALUWELD. Ce projet (IWT 30909), subsidié à 50% par l'IWT-Vlaanderen, a trait au soudage innovateur des alliages d'aluminium à l'aide du friction stir welding (FSW) et de l'hybrid laser welding (HLW). 30 personnes venant du monde industriel et de la recherche ont suivi ce workshop. 3 spécialistes internationaux ont rehaussé ce symposium de leur présence au cours duquel ils ont fait part de leur propre expérience dans le domaine. Le workshop s'est terminé par une présentation reprenant les résultats obtenus au cours du projet ALUWELD.

Soudage de l'aluminium

Dr.-Ing. Mittelstädt de SLV Duisburg (Allemagne) a attiré l'attention sur le fait que la soudabilité est un point critique pour obtenir un bon assemblage des alliages d'aluminium. Une donnée importante est la 'sensibilité à la fissuration' en fonction de la composition chimique dans la soudure. Avec des concentrations en éléments d'alliage, comme le Si, Cu et Mg, très faibles ou élevés (plus de 5%), il n'y a normalement aucun problème avec la soudabilité de l'alliage d'aluminium. Entre ces limites de concentration, il faut faire attention en choisissant le métal d'apport approprié sinon on risque d'avoir des fissures à chaud dans la zone

de la soudure. Les alliages d'aluminium à haute résistance qui, par le choix et la concentration en éléments d'alliage appropriés, sont durcissables par précipitation, tombent presque tous dans cet intervalle critique en raison de leur composition. Certains alliages d'aluminium ne peuvent même pas être soudés de façon rentable. Or, ces alliages sont souvent utilisés dans l'industrie aéronautique et spatiale car ils présentent la résistance la plus élevée. Ils sont alors assemblés mécaniquement. Un autre point important lors du soudage de l'aluminium est la résistance. Au contraire de beaucoup d'aciers, la résistance de l'aluminium diminue dans la zone influencée thermiquement (ZIT) par différents mécanismes suivant que l'alliage peut être traité thermiquement (adoucissement par mise en solution des précipités provoquant l'écroûissage) ou non (adoucissement par réparation et recristallisation). Cette baisse de résistance dépend fortement de l'apport calorifique lors du soudage. Avec les procédés où l'apport calorifique se fait d'une façon concentrée dans la zone de la soudure, comme le soudage au laser et le soudage par bombardement d'électrons, cette baisse sera moindre qu'avec les procédés de soudage à l'arc traditionnels. Le procédé CMT (Cold Metal Transfer) où on réalise, de façon contrôlée, des courts-circuits à l'aide d'une électrode MIG avec la pièce, est caractérisé par un faible apport calorifique. Ce procédé permet d'assembler de l'aluminium à de l'acier galvanisé.



Figure 1: Procédé de soudage au laser hybride en cours dans le cadre du projet ALUWELD (source: VITO)

Enfin, le soudage des alliages d'aluminium n'est pas bien vu en raison de l'apparition de porosités dans la soudure, surtout à cause de la mise en solution beaucoup plus importante de l'hydrogène dans la phase fondue que dans la phase solide. Lors de la solidification du métal fondu, cet hydrogène provoque l'apparition de porosités. Il est donc clair que les procédés d'assemblage sans fusion, comme le soudage par friction et le friction stir welding, ont d'importants avantages: pas de porosités et pas de fissures à chaud et en plus une perte moindre en résistance en raison de l'apport calorifique plus faible.

Friction Stir Welding

Mr. Sundin de ESAB AB (Zweden) a montré à l'aide de quelques exemples types déjà commercialisés dans quel domaine le friction stir welding pouvait être avantageux. Avec cette technique, l'assemblage est complètement réalisé à l'état solide. Les premières applications industrielles de cette technique d'assemblage, inventée par TWI en 1991, se situent dans la construction navale (par ex. Hydro Marine, Sapa) et spatiale (Boeing, Nasa). Les faibles déformations et l'excellente qualité de la soudure sont très appréciées. Une comparaison intéressante entre le FSW et le soudage MIG de profils a été présentée. Tous les temps ont été notés lors de la production d'une pièce finie à l'aide de ces deux procédés. Le fait que le soudeur ne doive pas porter de

protection spéciale durant le FSW, qu'il n'y ait pas de traitement après soudage et que le soudage prenne beaucoup moins de temps est un ensemble de facteurs qui permet de classer le FSW dans les procédés à gain de temps significatif. Seule, la fixation des pièces doit être faite avec plus de soin.

Dans les applications spatiales, le FSW permet d'assembler des alliages d'aluminium qui ne pouvaient être assemblés que mécaniquement jusqu'à présent. L'application du FSW a permis chez Boeing de diminuer le temps de production des réservoirs de combustible pour les fusées de 70%, ce qui représente 60% d'économie. De plus, on utilise moins de rivets et de métal d'apport, d'où réduction de la masse.

Mr. Sundin a montré que les possibilités du FSW ne sont pas limitées à la construction navale ou spatiale mais que ce procédé peut être également mis en œuvre dans l'industrie automobile (par ex. Volvo). Des pièces relativement simples sont assemblées par soudage sans perte de qualité. Le fait que le FSW puisse être intégré aisément dans une ligne de production automatique est un avantage certain pour l'industrie automobile. Dans le secteur de l'énergie, le FSW connaît également des applications. Ainsi, chez Hydro, le FSW est appliqué pour la production de logements pour des moteurs électriques de dimensions moyennes: des pièces extrudées relativement simples sont rapidement assemblées jusqu'à

l'obtention d'un ensemble complexe de haute qualité, tant du point de vue finition que du point de vue qualité du matériau. Les applications susmentionnées ont été réalisées à l'aide des machines ESAB SuperStir™. Les machines ESAB Legio™ ont été mises au point pour permettre d'appliquer facilement le FSW dans une ligne de production. CEWAC (Liège) a une telle machine à sa disposition. La deuxième machine, plus grande, ESAB Legio™ mise au point pour la production de séries limitées, sera opérationnelle début 2006 au CEWAC.

Soudage au laser et soudage au laser hybride

Ing. Geert Verhaege de The Welding Institute (Angleterre) a ensuite tenu un exposé consacré au soudage au laser et au soudage au laser hybride de l'aluminium. Les principaux avantages du soudage au laser sont le faible apport calorifique et la productivité élevée. Le procédé de soudage au laser connaît également de très nombreuses applications dans le secteur de l'automobile, du transport, de l'aéronautique et de la construction navale. En plus des investissements élevés, il faut noter les points négatifs du soudage au laser, par ex. les tolérances sévères exigées pour le joint soudé et le phénomène d'"instabilité keyhole". Le soudage au laser est en perpétuelle évolution qui se situe dans le développement de sources de laser à puissance plus élevée, plus efficaces et ayant une meilleure qualité de rayonnement. Les sources les plus récentes sont les 'fibre laser' et les 'disc laser'. En parallèle, le soudage au laser hybride (déjà découvert en 1978) retient, ces dernières années, de plus en plus l'attention des industriels. Dans ce procédé, un

Figure 3: Procédé de soudage friction stir welding en cours dans le cadre du projet ALUWELD (source:UCL-PRM)



Figure 2: Grande machine friction stir welding de ESAB qui sera opérationnelle en 2006 au CEWAC (source: ESAB)

laser et un arc agissent en même temps sur le bain de fusion. Ceci a pour conséquence que les avantages les plus importants des deux procédés sont combinés: tolérances moins sévères, vitesse de soudage plus élevée, pénétration importante, faible apport calorifique (donc résistance plus élevée pour les alliages d'aluminium) et faibles déformations. De plus, avec le soudage au laser hybride, on a un procédé plus stable et plus productif que les procédés séparés. Le défi le plus important pour l'optimisation du procédé de soudage au laser hybride se trouve dans la multitude de paramètres de soudage: d'une part, il y a les paramètres de soudage à l'arc et d'autre part, ceux du soudage au laser, en outre, il y a encore les paramètres interactifs comme par ex. la distance entre l'arc et le laser ou la séquence de soudage. Les différentes possibilités de ces paramètres interactifs ont été démontrées. Un contrôle approprié du soudage au laser hybride a été mis au point par The Welding Institute où les paramètres de soudage sont compensés en fonction de la préparation du joint appliquée.

l'exposé s'est terminé par une série d'exemples d'application du soudage au laser hybride dans les plus grands secteurs (automobile et transport, construction aéronautique et navale).

ALUWELD et ALUWELD II

La dernière présentation a été consacrée au projet de recherche collective "Soudage innovateur des alliages d'aluminium - Friction Stir Welding et Hybrid Laser Welding". Ce projet se termine début 2006 et concerne les partenaires de recherche suivants: IBS, VITO et UCL-PRM. Il est subsidié à 50% par l'IWT-Vlaanderen. 41 entreprises participent à ce projet. L'objectif principal du projet est de familiariser l'industrie avec ces techniques et de leur faire connaître leurs possibilités en les utilisant avec les alliages d'aluminium, matériaux très intéressants pour les partenaires. De plus, les partenaires de la recherche acquièrent l'expérience nécessaire pour pouvoir assister les entreprises qui, à l'avenir, utiliseront ces procédés de soudage dans la production. Dans le cadre du projet, 7 alliages d'aluminium ont

été soudés à l'aide du FSW et du HLW. Des résultats très encourageants ont été obtenus avec ces deux procédés: une bonne qualité de soudage et de bonnes propriétés mécaniques tant pour le FSW que le HLW sur divers alliages, ainsi qu'une productivité élevée. Pour les deux procédés de soudage, de nombreux essais ont été nécessaires afin de pouvoir déterminer une série de paramètres optimaux pour un alliage. Ceci montre l'importance de ce projet de recherche pour les PME qui n'ont ni le temps, ni l'argent pour entreprendre de tels projets de R&D.

Des tentatives à petite échelle ont été entreprises dans le cadre de ALUWELD afin de vérifier la flexibilité des procédés et d'être au plus près de la réalité industrielle. L'intention est de poursuivre cette recherche dans un projet planifié pour 2006-2007. Cette proposition de projet, appelée ALUWELD II, se rapprochera non seulement des applications industrielles (étude de flexibilité, soudage bidimensionnel), mais étudiera également la possibilité d'appliquer le FSW et le HLW sur d'autres alliages d'aluminium et des alliages non ferreux (par ex. Mg, Zn, Ti), dans d'autres épaisseurs et/ou géométries que ce qui avaient été utilisés dans le projet ALUWELD. Ce deuxième projet verra la collaboration des partenaires suivants: IBS, VITO, UCL et CENAERO. Ce dernier s'occupera de la modélisation du FSW. De plus, ce projet permettra, après une première optimisation, de faire fabriquer des prototypes avec les deux techniques de soudage. Il va de soi que ALUWELD II est particulièrement intéressant pour les entreprises qui souhaitent connaître les possibilités de deux techniques très prometteuses sur leurs applications avec des métaux non ferreux. Pour participer au projet, une contribution en nature (livraison de matériau d'essai) suffit déjà! □

LISTE DES ENTREPRISES ET CENTRES DE RECHERCHE PARTICIPANTS

Agoria, Groep Aluminium	AIB-Vinçotte	Air Liquide	Al Center Vlaanderen
Balliu	BIL-IBS	Bombardier Transportation	Cenaero
Cewac	Corus Duffel	Corus RD&T	CRIF
Dhollandia	EFS	Ellimetal	ESAB
Espeel	LAG Trailer	LCV-VITO	Metaalgieterij G. Giesen
OCAS	O.V.A.	Pôle Métal	PRC Europe
Reynaers Aluminium	Rofin-Baasel Benelux	Sapa Profiles RC	Seco
Simec	Sonaca	Soudobeam	Soudokay
Toyota Motor Europe	UCL-PRM	ULg - Institut du Génie Civil	UDY
VAC Machines	Van Hool	Vasco	WTCM Gent
Zeppelin Belgium			