

SOUDAGE NOVATEUR AU LASER ET À L'ARC DE L'ACIER

LE COMMENT ET LE POURQUOI DU SOUDAGE AU LASER HYBRIDE DE L'ACIER

Cet article décrit le soudage au laser hybride (plus spécifiquement le soudage laser-MIG/MAG) en en donnant les avantages et les inconvénients et les principaux domaines d'application. Il présente également le projet de recherche collective IBS-VITO-OCAS-CLUSTA, subsidié par l'IWT, dans lequel le soudage au laser est appliqué sur divers aciers importants.

Par ir. Wim Van Haver (Centre de Recherche de l'IBS)
(traduction: M.C. Ritzen - IBS-BIL)

Introduction

L'automatisation est de plus en plus présente dans la production. Ceci explique l'intérêt croissant porté aux procédés de soudage automatique. L'utilisation de techniques d'assemblages automatisés novatrices a été fortement encouragée en raison des exigences de qualité croissante, de l'augmentation de la productivité et de la baisse des coûts. Le soudage au laser a ainsi pris une grande importance. L'industrie automobile – surtout en Allemagne – a joué un rôle d'avant-garde quant à l'application de cette technique dans la production. Durant ces dernières années, des procédés de soudage au laser adaptés sont à nouveau

Figure 2: Tête de soudage hybride typique telle qu'utilisée par le VITO – source: Fronius (Autriche)



dans le collimateur: les procédés de soudage au laser dits "hybrides" qui combinent, dans un même processus, le laser et l'arc. Les entreprises de fabrication métallique novatrices cherchent toujours à optimiser les procédés de soudage utilisés mais également la préparation des joints. Différentes techniques d'assemblage hybrides ont été développées; cet article traitera cependant du soudage au laser-MIG/MAG hybride qui connaît le plus d'application au niveau international.

Qu'est ce que le soudage au laser hybride

Le soudage au laser hybride (Hybrid Laser Welding, en abrégé HLW) a été inventé et breveté par le Prof. William Maxwell Steen de la Liverpool University. Ce procédé est repris sous différentes dénominations dont les plus importantes sont: 'arc-augmented laser welding' et 'laser-hybrid welding'. Il n'y a que quelques années que l'HLW est appliqué au niveau industriel; en effet, le soudage au laser devait encore avoir fait ses preuves dans l'industrie. L'HLW combine le soudage au laser (avec du CO₂, Nd:YAG ou fibre laser) et un procédé de soudage à l'arc (MIG/MAG, TIG ou au plasma) dans un seul et même processus. Le procédé de soudage au laser-MIG/MAG hybride (figure 1), le plus utilisé, combine la vitesse et la productivité du laser avec la robustesse du procédé de soudage semi-automatique. Avec l'HLW, on note, en comparaison avec les

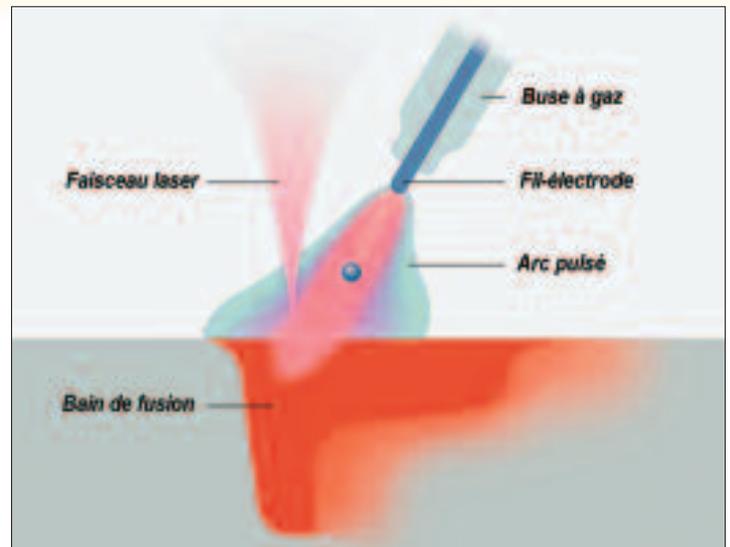


Figure 1: Schéma du procédé de soudage au laser hybride – source: Fronius (Autriche)

procédés de soudage pris individuellement, une meilleure pénétration ainsi qu'une meilleure vitesse de soudage. Ceci est dû à l'interaction de l'arc et du laser dans le même bain de fusion. De plus, on peut ajouter, de façon sûre et aisée, du métal au bain de fusion étant donné que le métal d'apport – provenant du fil-électrode – est déjà fondu par le procédé à l'arc. Les tolérances de mesure (écartement maximal: 50% de l'épaisseur de la tôle, ou jusque 4 mm pour une tôle plus épaisse) qui doivent être suivies pour la préparation du joint, sont moins strictes que celles pour le procédé de soudage au laser conventionnel (max. 10% de l'épaisseur de la tôle). Le bain de fusion du procédé de soudage au laser hybride est plus grand que celui du soudage au laser conventionnel. Ceci a pour conséquence que la gaz entraîné dans le bain de fusion a le temps de s'échapper de sorte qu'on n'a pas d'inclusions et moins de porosités. En plus du réglage des paramètres de soudage au laser et à l'arc individuel, les paramètres d'interaction sont également très importants. Un paramètre d'interaction très important est la distance entre le faisceau laser et l'arc. Si celle-ci est trop faible, les deux procédés peuvent se gêner. Si elle est trop grande, on ne travaille plus avec un seul bain de fusion. La synergie entre les deux procédés est donc perdue et par conséquent les avantages intéressants de cette synergie. Une tête de soudage hybride typique est donné à la figure 2.

L'HLW peut être appliqué sur l'acier et les alliages d'aluminium (surtout pour l'industrie automobile et l'aviation), mais également sur les alliages de titane, de cuivre et de magnésium.

Avantages et inconvénients

Le procédé de soudage au laser hybride sait combiner les avantages des procédés de soudage individuels (soudage au laser et soudage à l'arc) tandis que les inconvénients des procédés sont contrés. L'HLW n'est pas simplement un compromis: en effet, l'interaction de l'arc et du laser permet d'obtenir une pénétration plus importante et une meilleure vitesse de soudage. En d'autres termes: en plus des avantages des procédés individuels, il y a un plus! L'apport calorifique d'un procédé de soudage appliqué sur l'acier est un point sensible. D'une part, un faible apport calorifique peut être choisi ce qui provoque moins de grossissement de grains de la zone influencée thermiquement et moins de déformations. C'est naturellement le point fort du soudage au laser en raison de l'apport calorifique très concentré. Cependant, on sait également que l'apport calorifique pour certains aciers ne peut pas être trop faible car le risque de formation de martensite ou de bainite (et si de l'hydrogène est présent: formation de fissures à froid) est réel. Le préchauffage peut être une solution mais est limité en raison du coût supplémentaire. Les extrêmes en ce qui concerne l'apport calorifique et donc également la vitesse de

refroidissement qui va de paire, lors du soudage au laser hybride, sont ceux du soudage au laser (faible apport calorifique, vitesse de refroidissement élevée) et ceux du soudage à l'arc (apport calorifique plus élevé, vitesse de refroidissement plus faible). Tous les cas intermédiaires peuvent être rencontrés lors du soudage au laser hybride en réglant le rapport puissance de l'arc/puissance du laser.

Les principaux avantages du HLW sont:

Avantages du soudage au laser

- Vitesse de soudage élevée
- Pénétration forte et étroite
- Faible déformation
- Apport calorifique plus faible
- Résistance plus élevée

Avantages du soudage à l'arc

- Apport contrôlé de métal (purification du bain de fusion)
- Tolérances plus élevées possibles
- Coûts moindres en puissance et en investissements
- Meilleures ductilité

Et en plus:

- Possibilité de réglage du caractère du soudage au laser et du soudage à l'arc
 - Vitesse de soudage et pénétration encore plus élevées qu'avec le soudage au laser
 - Stabilité plus grande du procédé
- Certains inconvénients du soudage au laser hybride ont été rencontrés lors du passage du soudage à l'arc vers le soudage au laser.
- Coût d'investissement élevé – néanmoins le prix sera plus faible à cause de l'économie en puissance du laser (cher) par apport de la puissance de l'arc (relativement bon marché)
 - Uniquement applicable mécanisé
 - Protection nécessaire contre la lumière UV et laser
 - Importance d'un bon clamage des pièces à souder.

Quelques limitations 'générales' pour l'HLW doivent également être mentionnées:

- Augmentation du nombre de paramètres de soudage à régler en comparaison avec les procédés de soudage séparés – pensons aux paramètres d'interaction très

importants pour avoir un procédé d'assemblage optimal pour une application spécifique

- Peu de données bibliographiques disponibles sur les propriétés des assemblages soudés

Ces limites justifient naturellement la recherche dans un contexte collectif, surtout pour les PME qui n'ont souvent ni le temps, ni les moyens d'entreprendre des études approfondies.

Enfin, il faut noter que, comme pour tous les procédés de soudage, lors d'un choix peu judicieux des paramètres de soudage, des défauts de soudage peuvent également apparaître tels que pénétration insuffisante, manques de liaison, fissuration et porosités.

Applications

De nombreuses actions sur le soudage au laser hybride sont menées, au niveau mondial, par des universités et des centres de recherche. Cette recherche a porté ses fruits: différentes entreprises utilisent déjà le soudage au laser hybride en production. Parmi celles-ci, nombreuses sont celles qui ont étudié en profondeur cette technique de sorte que le HLW va gagner du terrain à l'avenir. Les entreprises qui appliquent le HLW sur l'acier, appartiennent surtout aux secteurs suivants:

- Construction navale: Meyer Werft (D), Kvaerner Warnow Werft (D), Odense Staalskibsværft (DK), Fincantieri (I)
- Pipelines: Butting (D)
- Chaudronnerie: Stefan Nau (D)
- Véhicules lourds: Dinolift Oy (SF), Duroc Rail AB (S)
- Bâti: Aldinger (D)

Le domaine potentiel d'applications du HLW sur l'acier ne se limite pas à l'énumération précitée. On peut remarquer que les entreprises utilisant l'HLW en production se situent principalement en Allemagne et en Scandinavie où le soudage au laser est bien intégré. En Belgique, le soudage au laser hybride n'est pas appliqué en industrie jusqu'à

présent. Du point de vue concurrentiel, un effort du monde de la recherche est nécessaire afin d'introduire, de façon adéquate, l'HLW dans le monde industriel belge.

ALUWELD et HYLAS

Au cours de la biennale 2004-2005, des entreprises belges ont pu largement faire connaissance avec le procédé de soudage au laser hybride, appliqué sur l'aluminium, dans le cadre du projet ALUWELD. On en a fait d'ailleurs mention dans des articles parus dans Métallerie.

Il est important que les entreprises belges puissent rester rentables pour contrer la concurrence internationale. Cependant, il ne va pas de soi que les entreprises, en particulier les PME, recherchent de leur propre initiative des procédés permettant de comprimer les coûts et d'augmenter la productivité. Étant donné le grand intérêt et les résultats prometteurs du projet ALUWELD, l'IBS, VITO, OCAS et CLUSTA ont décidé de démarrer un projet consacré au soudage au laser hybride appliqué à l'acier ('HYLAS'). Ce projet est également mené avec l'appui de la Région flamande (IWT). HYLAS a démarré début 2006 et se terminera début 2008.

Les aciers à examiner dans le cadre de HYLAS ont été subdivisés en 3 'classes': acier de construction et acier à haute résistance, tôle galvanisée et acier inoxydable. Les partenaires du projet VITO et OCAS disposent de l'appareillage de soudage au laser hybride nécessaire pour mener ce projet avec succès sur divers aciers. La **figure 3** montre l'installation Nd:YAG-MIG/MAG de VITO.

Les **figures 4 et 5** présentent des coupes métallographiques d'éprouvettes HLW qui ont été réalisées dans le cadre de HYLAS. La largeur de la soudure est la plus petite sur la demi-épaisseur car l'évacuation de la chaleur est la plus élevée à cet endroit. La soudure de la figure 5 a été

réalisée dans une tôle cisailée. Ceci indique naturellement que la préparation du joint HLW est moins critique.

Au cours du projet, on aura la possibilité de souder au laser Nd:YAG - MIG/MAG (jusque 5 mm d'épaisseur), et au laser CO₂ - MIG/MAG (jusque 15 mm environ) sur une douzaine d'aciers industriels parmi les classes précitées. L'IBS et CLUSTA se chargeront de la caractérisation des soudures. Celle-ci se fera d'abord à l'aide d'examen non destructifs (ressuage et radiographie), métallographie, essais de traction, essais de pliage et si d'application, des essais de résilience. Seront également réalisés des essais de fatigue, des essais de corrosion, des mesures de tensions résiduelles et des essais de résistance à la rupture (CTOD).

Ces examens ne seront pas uniquement réalisés sur les soudures au laser hybride mais également sur des soudures MIG/MAG et laser avec des aciers sélectionnés afin d'établir une comparaison entre ces procédés et savoir quel procédé obtient le meilleur score du point de vue de la productivité et de la qualité. Ceci sera vérifié à l'aide d'une analyse des coûts.

Une vingtaine d'entreprises de secteurs divers de l'industrie métallique (automobile, transport, assemblage, métaux d'apport, gaz, recherche,...) collaboreront au projet HYLAS. Un faible apport est nécessaire, par ex. livraison du métal de base pour la recherche. Votre entreprise peut également prendre connaissance de cette technique de soudage intrigante dans une recherche qui tente de s'approcher aussi près que possible de votre domaine d'application. Ceci permettra d'apprendre à connaître les possibilités mais également les limites du procédé. Si votre entreprise désire participer au projet de recherche ambitieux HYLAS, vous pouvez prendre contact avec l'Institut Belge de la Soudure. □

Figure 3: Installation de soudage au laser hybride robotisé Nd:YAG-MIG/MAG à VITO



Figure 4: Coupe métallographique d'une soudure laser Nd:YAG - MAG hybride sur acier S235 de 5 mm d'épaisseur, réalisée en une passe avec une vitesse de 2 m/min par VITO

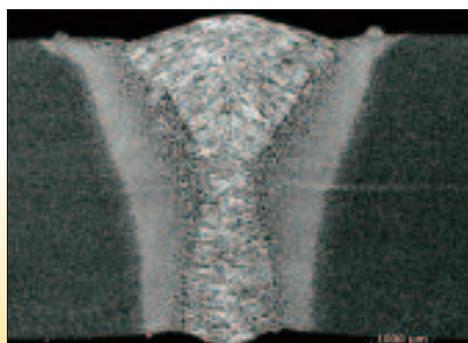


Figure 5: Coupe métallographique d'une soudure laser Nd:YAG - MAG hybride sur acier inoxydable austénitique AISI 304 de 3 mm d'épaisseur, réalisée en une passe avec une vitesse de 3,6 m/min par VITO

