

Soudage hybride Laser-MAG d'un acier Hardox®

Hybrid Laser Arc Welding of a Hardox® steel

Fabrice Chaussé^{1,2}, Emmanuel Bertrand², Pascal Paillard², Laurent Dubourg³, David Lemaitre³ et Muriel Carin⁴

¹ IRT Jules Verne, chemin du Chaffault, 44340 Bouguenais, France

² Institut des Matériaux Jean Rouxel, rue Christian Pauc, BP. 50609, 44306 Nantes Cedex 3, France

³ Institut Maupertuis, Contour Antoine de Saint-Exupéry, 35170 Bruz, France

⁴ LIMATB, Centre de Recherche C. Huygens, Rue de Saint Maudé, 56321 Lorient, France

Abstract. Hybrid Laser Arc Welding (HLAW) technology is a highly competitive metal joining process especially when high productivity is needed and for the welding of thick plates. It is a really new technology but its implementation in industry accelerates thanks to recent improvements of high power laser equipment and development of integrated hybrid welding heads. This study focuses on weldability of Hardox® 450 steel by HLAW. Welding tests were conducted by making critical process parameters vary. Then a large panel of characterization techniques (X-Ray radiography, macroscopic examination and hardness mapping) was used to determine process parameters influence on weldability of Hardox 450® Steel.

Résumé. Le soudage hybride laser-MAG est un procédé fortement compétitif par rapport aux procédés conventionnels notamment pour le soudage de fortes épaisseurs et les grandes longueurs de soudure. Il connaît de ce fait un développement important dans l'industrie. La présente étude s'est portée sur la soudabilité de l'acier Hardox® par ce procédé. Un large panel de techniques de caractérisation a été employé (mesures thermiques, radiographie X, duretés Vickers, macrographie...). L'objectif étant de déterminer l'influence des paramètres du procédé sur la qualité de la soudure et d'étendre notre compréhension des phénomènes se déroulant lors de ce type de soudage.

INTRODUCTION

Le soudage Hybride Laser-Metal Active Gas (Laser-MAG) associe dans un même bain de fusion [1] un faisceau laser et un arc électrique (Fig. 1).

L'arc électrique est créé entre la pièce à souder et une électrode fusible à travers une protection gazeuse non neutre (Ar-CO₂), d'où le terme « Active » dans le sigle MAG. Par rapport aux procédés Laser et MAG pris indépendamment, le soudage hybride permet d'accéder à des rendements et une qualité supérieurs grâce à un effet de synergie entre les procédés [2]. Par exemple, la contribution du MAG permet de s'affranchir des tolérances trop serrées d'accostage tout en bénéficiant de la forte pénétration apportée par le procédé Laser.

DÉROULEMENT DES ESSAIS

Les essais de soudage « bout à bout » ont été réalisés sur de l'acier Hardox® à l'Institut Maupertuis à l'aide d'un bras robotisé équipé d'une tête de soudage hybride.

L'acier Hardox 450 (Tableau 1) est un acier martensitique résistant à l'abrasion, caractérisé par sa dureté élevée ($H_B \approx 450$). Ce type d'acier est par exemple utilisé comme acier de blindage. Il a acquis ses propriétés mécaniques grâce à une structure obtenue par un traitement thermique d'austénitisation suivi d'une trempe. Son taux de carbone équivalent élevé le rend potentiellement sensible à la fissuration à froid lors du soudage.

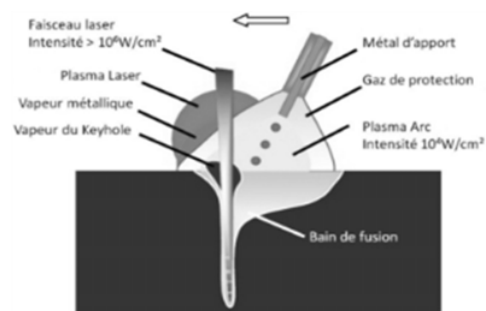


Figure 1. Schéma du procédé de soudage hybride Laser-MAG (source institut Maupertuis).

Le fil d'apport G3Si (Tableau 1) ainsi qu'un gaz Arcal® (mélange Ar + CO₂) ont été utilisés pour les essais.

L'étude a porté sur la variation des paramètres intrinsèques à chaque procédé (Puissance du faisceau Laser, vitesse de fil ou gaz de protection en MAG...) mais aussi sur des paramètres spécifiques au soudage hybride (Distance Laser Arc, Sens d'avance Laser-Arc/Arc-Laser...).

CAMÉRA INFRAROUGE

Une étude qualitative a été menée lors de la première campagne d'essai afin de déterminer le comportement thermique du matériau lors du soudage. Les mesures thermiques ont été réalisées à l'aide d'une caméra

Tableau 1. Compositions chimiques indicatives du métal de base (Hardox450) et du métal d'apport (G3Si) (données fournisseur).

	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Mo	Cu
Hardox								
450	0,18	0,70	1,60	0,03	0,25	0,25	0,25	N.C.
G3Si	0,14	1,00	1,60	0,03	N.C.	N.C.	N.C.	0,30

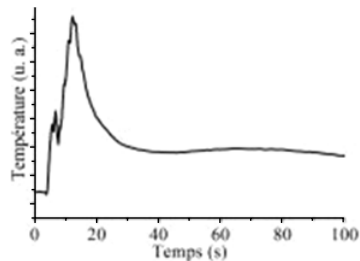


Figure 2. Courbe thermique typique d'un essai de soudage hybride.

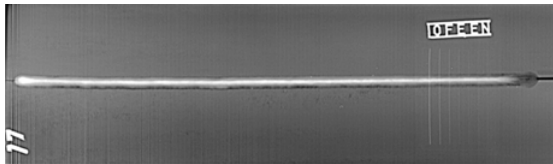


Figure 3. Radiographie X d'une soudure hybride.

infrarouge multi spectral rapide FLIR® à quelques centimètres du joint de soudure (Fig. 2).

On observe une montée en température d'une dizaine de secondes puis il faut plusieurs minutes pour que la tôle revienne à température ambiante.

RADIOGRAPHIE X

Les soudures ont été contrôlées par radiographie X afin de mettre en évidence l'existence défauts internes (Fig. 3). Aucune fissure, ni porosité n'a été détecté suite à l'analyse des radiographies ce qui témoigne de la bonne qualité des soudures. Cependant, on observe des caniveaux de taille variable ainsi que des projections en fonction des paramètres de soudage utilisés.

MACROGRAPHIES

Les macrographies réalisées sur les cordons de soudure après attaque au Nital 1 révèlent deux zones qui se distinguent du métal de base (Fig. 4) : la zone fondue (ZF) à grains colonnaires au centre du cordon (a) et une partie de la zone affectée thermiquement (ZAT) (b).

Certains échantillons présentent une zone fondue d'aspect moins conventionnel (Fig. 5) qui semble divisée en deux parties : une partie « arc » (a₁) présentant des grains colonnaires et une partie « laser » (a₂) où les mouvements du bain de fusion durant le soudage (Mouvements de Marangoni) restent visibles.

Il est possible que la partie (a₂) de la zone de fusion ait eu le temps de se solidifier totalement ou partiellement avant le passage de l'arc empêchant ainsi la formation d'un bain de fusion commun.

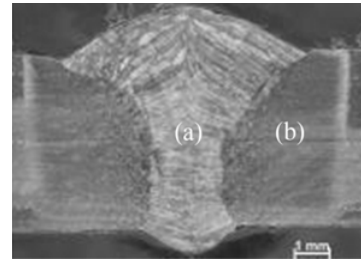


Figure 4. Macrographie d'un cordon hybride : (a) zone fondue et (b) zone Affectée Thermiquement.

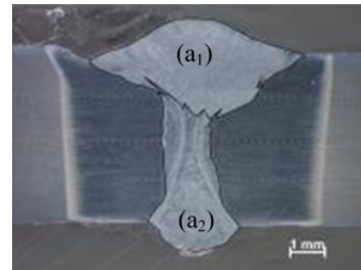


Figure 5. Macrographie d'un cordon de soudure hybride présentant une zone fondue « arc » et une zone « laser ».

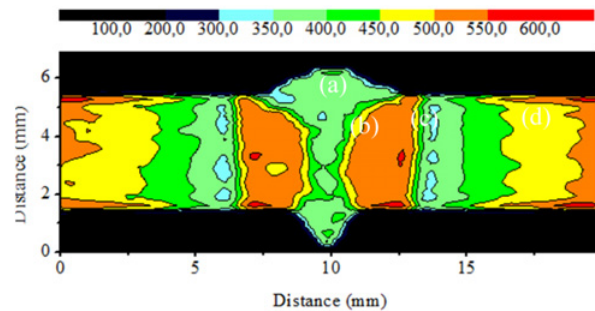


Figure 6. Cartographie de microdureté Vickers d'une soudure hybride (1600 points) : (a) zone fondue, (b) zone de trempe, (c) zone de revenu, (d) métal de base.

DURETÉS VICKERS

Des cartographies de microdureté Vickers sous une charge d'environ 5 Newton ont été réalisées sur les coupes des échantillons polies (Fig. 6).

On remarque tout d'abord au centre du cordon la présence de la zone fondue (a) dont la dureté est très inférieure à celle du MB. La faible dureté de la ZF s'explique par le mélange de métal d'apport et de métal de base dont elle est constituée. On peut supposer que les propriétés mécaniques du métal d'apport étant beaucoup plus basses que celle du métal de base, cela permet à la zone fondue d'accommoder les contraintes, ce qui explique l'absence de fissure dans les cordons.

On note ensuite que la ZAT réelle est composée de deux parties : la ZAT visible en macrographie (b) où la dureté est semblable à celle du métal de base (d) et une zone (c) non visible sur les macrographies où la dureté est jusqu'à deux fois moins élevée que celle du métal de base. La zone (b) correspond à la zone austénitisée au chauffage puis trempée lors du refroidissement, ce qui explique les

mesures de duretés élevées (parfois supérieures à celles du métal de base). La zone (c) quant à elle, n'a pas atteint la température d'austénitisation lors du soudage, elle est composée de martensite revenue. À mesure que l'on approche de la zone (b), la température maximale atteinte lors du soudage augmente, le revenu est plus important et la dureté chute. Entre les zones (b) et (c) on observe une zone de transition où l'austénitisation n'a été que partielle.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Les premières études nous ont permis de découvrir les comportements de l'acier Hardox® durant son soudage par procédé hybride Laser-MAG. Une caractérisation microstructurale et mécanique est en cours

(Microscopie optique et électronique, Analyse dispersive en énergie des rayons X (EDX), Diffractométrie des rayons X, essais mécaniques, caméra haute vitesse) pour mieux comprendre les phénomènes qui régissent ce type de soudage. Tous ces résultats nous permettront de confronter des simulations du procédé en cours de réalisation.

Références

- [1] B.M. Victor, Hybrid Laser Arc Welding, ASM Handbook. 6A (2011) 321–328.
- [2] E. Le Guen, R. Fabbro, M. Carin, F. Coste, P. Le Masson, Analysis of hybrid Nd:Yag laser-MAG arc welding processes, Optics & Laser Technology. 43 (2011) 1155–1166.