

# SOUDAGE PAR POINT PAR IMPULSION MAGNETIQUE

C. Khalil, A.P. Manogaran, D. Priem, G. Racineux

*Institut de recherche en génie civil et mécanique (UMR 6183) – GeM, Ecole Centrale Nantes, 1 rue de la Noë, 44321 NANTES Cedex 3. Téléphone : 02 40 37 16 47*

*chady.khalil@ec-nantes.fr, didier.priem@ec-nantes.fr, guillaume.racineux@ec-nantes.fr*

**Mots clés : Soudage par impulsion magnétique, soudage par points, soudage hétérogène**

## 1. INTRODUCTION

Afin de limiter la consommation des véhicules les constructeurs remplacent des parties de pièces en acier par des pièces en alliage d'aluminium ou de magnésium [1][2][3][4]. Dès lors se pose le problème de leur assemblage. En effet, même s'il existe des procédés pour souder de l'acier avec des alliages d'aluminium ou de magnésium (laser, impulsion magnétique, friction, etc.) [5], ils sont rarement compatibles avec les contraintes de l'automobile (cadence, positionnement des tôles, accessibilité, géométrie, point, robustesse, etc.).

Parmi ces procédés nous proposons une évolution du soudage par impulsion magnétique (Magnetic Pulse Welding - MPW). La figure 1 présente le principe du MPW pour l'assemblage de deux tubes entre eux. Un circuit de charge permet d'accumuler une grande quantité d'énergie électrique dans une batterie de condensateur. Un circuit de décharge permet de libérer dans un temps très court (quelques microsecondes) un courant intense dans un solénoïde (l'inducteur). Si une pièce conductrice (ici un tube d'aluminium) est placée dans le solénoïde, alors elle est soumise à un champ magnétique variable qui induit un courant dans l'épaisseur de peau du matériau. Ce courant étant lui-même soumis au champ magnétique, des forces de Laplace se développent à la surface du tube et l'accélèrent fortement. L'impact contrôlé du tube sur le noyau permet sous certaines conditions de réaliser un soudage. Ce procédé est similaire au soudage par explosion.

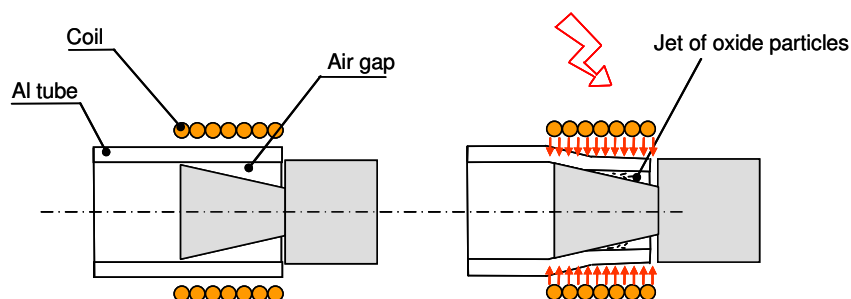


Figure 1. Schémas de principe du soudage par impulsion magnétique de deux tubes.

Afin de réaliser un soudage dynamique il est nécessaire : (i) d'accélérer suffisamment l'une des pièces afin que l'impact génère une quantité de chaleur très brève mais suffisamment intense. Cela est obtenu au moyen d'un entrefer entre les deux pièces à assembler qui permet d'atteindre une vitesse ; (ii) de décaper les surfaces de leurs oxydes. Cela est assuré par le placage progressif de la pièce mobile sur la pièce fixe afin que le jet d'air (combiné à l'onde de choc) expulse les oxydes.

En 2004 Aizawa et al. [6] et Kore et al. en 2008 [7] ont contribué au développement d'inducteurs pour le soudage à plat de deux tôles (Linear Magnetic Pulse Welding - LMPW) (figures 2.a et 2.b).

Ce procédé présente toutefois l'inconvénient de nécessiter un entrefer entre les tôles ce qui semble inenvisageable dans l'industrie automobile (figure 2.c).

Dans le cadre de cette étude nous proposons une évolution du procédé de soudage par impulsion magnétique, le Soudage par Point par Impulsion Magnétique SPIM (ou Magnetic Pulse Spot Welding – MPSW), qui permet de réaliser des points de soudure entre matériaux similaires ou dissimilaires dans des conditions compatibles avec les contraintes de l'industrie automobile (cadence, robotisation, résistance, etc.).

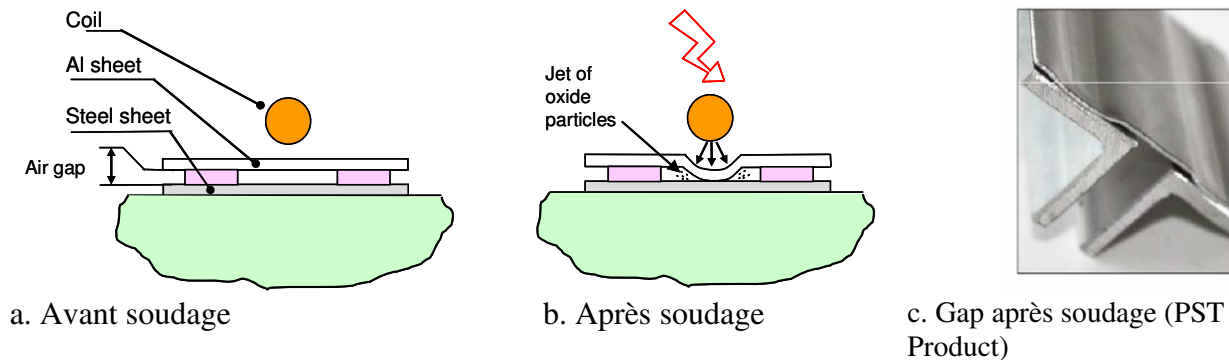


Figure 2. Principe du Linear Magnetic Pulse Welding.

## 2. PRINCIPE DU SOUDAGE PAR POINT PAR IMPULSION MAGNETIQUE

La figure 3 présente le principe du soudage par point par impulsion magnétique (SPIM) ou Magnetic Pulse Spot Welding (MPSW) [8]. Afin d'assurer à la fois l'entrefer entre les tôles et le positionnement des tôles l'une sur l'autre avant et après le soudage, nous avons réalisé au préalable un emboutissage locale, appelé « plot », sur la tôle en aluminium. La géométrie de ce plot, combinée à une géométrie d'inducteur en I, permet d'assurer à la fois la vitesse de placage et l'expulsion des oxydes de surface.

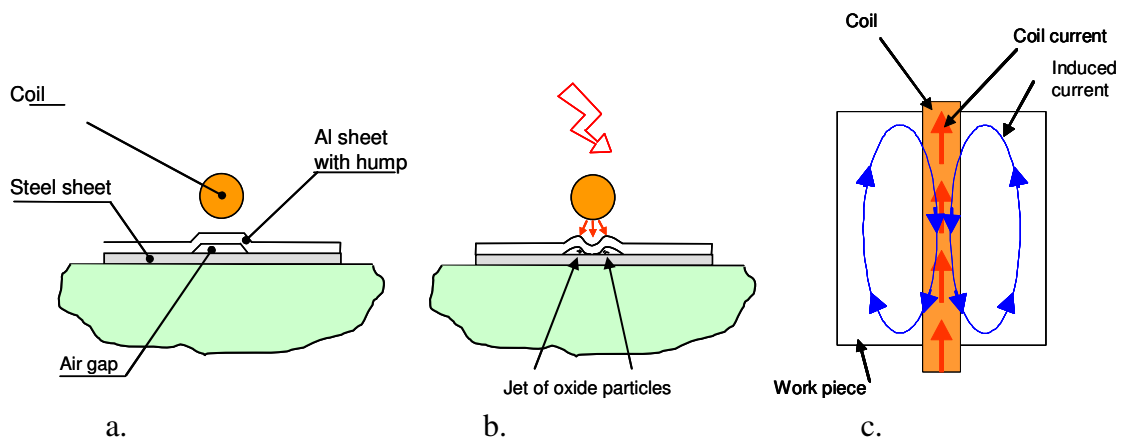
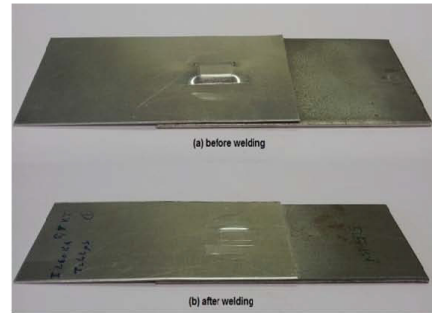
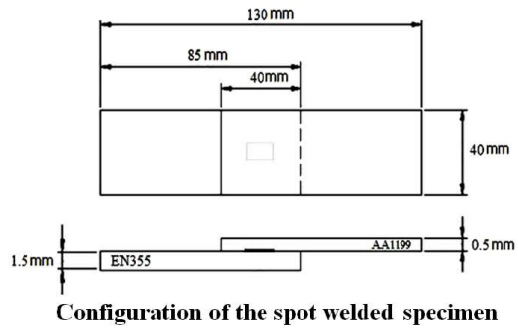
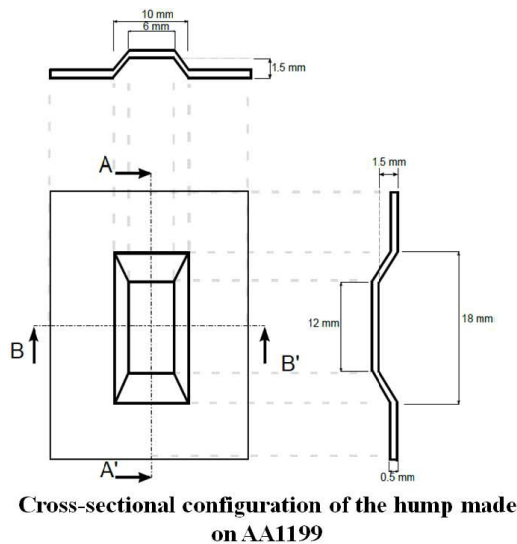


Figure 3. Schéma de principe du soudage par point par impulsion magnétique (SPIM).

## 3. EXPERIENCES

Pour valider le principe du procédé SPIM nous avons choisi de l'appliquer à l'assemblage hétérogène Al/Fe. Les tôles d'acier (EN355) ont une épaisseur de 1,5 mm et les tôles d'aluminium (AA1199) une épaisseur de 0,5 mm. La figure 4 présente le plot embouti sur la tôle d'aluminium. Nous avons utilisé un générateur de formage d'une capacité de 272  $\mu\text{F}$ , d'inductance 0,5  $\mu\text{H}$  et d'énergie maximum 30 kJ. Les soudures ont été réalisées pour une énergie de 3,4kJ et 5kV.



Intended spot welding location – hump on AA1199

Figure 4. Plot de soudage avant soudage et après soudage.

#### 4. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 5 présente l'analyse micrographique au microscope électronique à balayage de la zone soudée. Nous observons une surface ondulée caractéristique des procédés de soudage dynamique (par explosion ou par impulsion magnétique). Toutefois, à la différence de ces procédés les ondulations de la surface se font dans deux directions opposées en partant du centre du plot. De plus on peut vérifier que la partie centrale du plot n'est pas soudée. Ce résultat est logique dans la mesure où le plot est plaqué d'abord sur le centre puis sur les bords.

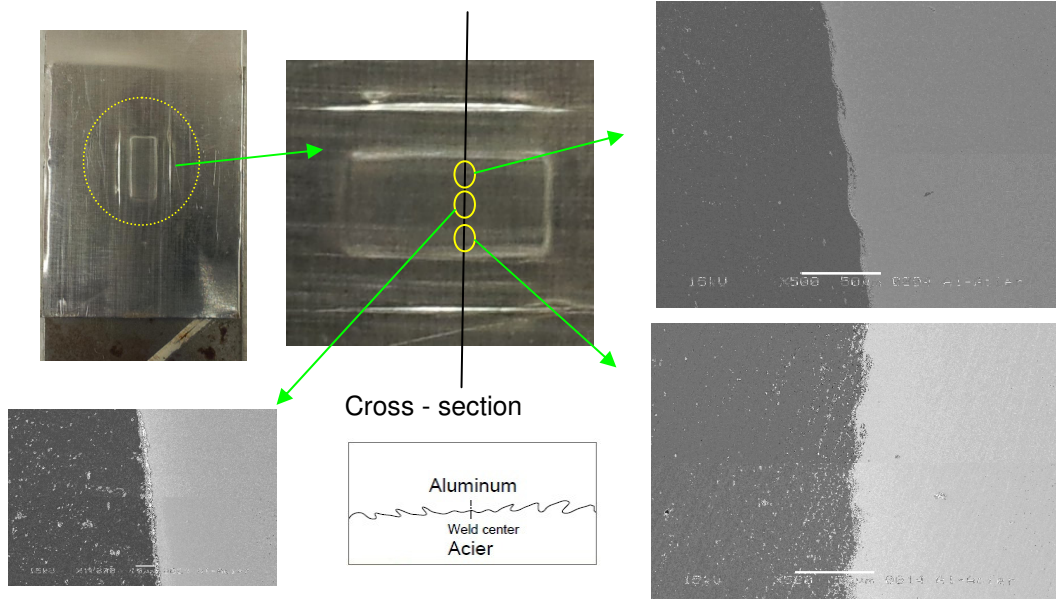


Figure 5. Analyse micrographique au MEB d'une soudure SPIM Al/Fe.

La figure 6 présente les résultats obtenus en traction sur les assemblages réalisés pour des vitesses de traction allant de 0,1 à 1,8 m/s. La tôle d'aluminium se déchire systématiquement ce qui valide les paramètres de soudage choisis.

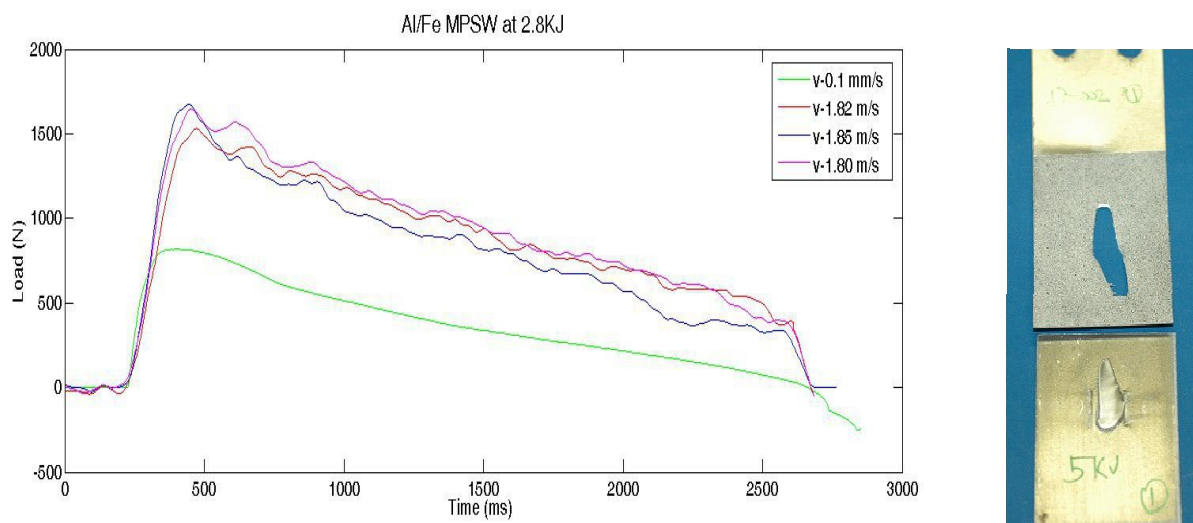


Figure 6. a. Courbes de traction à différentes vitesses, b. éprouvette après traction.

## 5. CONCLUSION

Dans cette étude nous avons développé un nouveau procédé de soudage par point. Il s'agit du « Soudage par Point par Impulsion Magnétique - (SPIM) » ou « Magnetic Pulse Spot Welding - (MPSW) ». Comme le Magnetic Pulse Welding il s'agit d'un procédé de soudage à froid qui permet l'assemblage homogène et hétérogène de très nombreux couples de matériaux. Etant donné la vitesse de soudage très élevée on observe des couches très minces d'intermétalliques qui en font un procédé très intéressant dans le cas de l'assemblage hétérogène.

Pour cela il est nécessaire de réaliser un emboutissage locale appelé plot sur la tôle mobile la ou l'on souhaite effectuer un point de soudure. L'opération de soudage (une fois les tôles en place) ne dure que quelques microsecondes. Avant et après soudage les tôles sont en contact l'une sur l'autre. Cela laisse envisager la possibilité d'utiliser ce procédé dans l'industrie automobile mais également dans l'industrie électrique.

## REFERENCES

- [1] M. A. Al-Jader, N. Wylie, J.D. Cullen and A.I. Al-Shamma'a, "Investigation into Spot Welding Process Sustainability for the Automotive Industry", 5th annual conference on BEAN (Built Environment & Natural Environment), Liverpool John Moores University, 2010.
- [2] Daniel Carle, Gordon Blount, "The suitability of aluminum as an alternative material for car bodies", Materials and Design, Volume 20, Issue 5, 267 – 272, 1999.
- [3] The Aluminium Association, Inc.: Aluminium industry roadmap for the automotive market: enabling technologies and challenges for body structures and closures, May, 1999.
- [4] Kawalla, R., Lehmann, G., Ullmann "Magnesium semi-finished products for vehicle construction", Archives of Civil and Mechanical Engineering, Vol. 8, No. 2, pp. 93–101, 2008.
- [5] <http://www.keytometals.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=ktn&NM=152>, Welding of dissimilar materials, Key to metals, Aug 2006.
- [6] Aizawa T., "Methods for electromagnetic pressure seam welding of Al/Fe sheets", Weld. Int. 18 (11), 868–872, 2004.
- [7] S.D. Kore, P.P. Date, S.V. Kulkarni, "Electromagnetic impact welding of aluminum to stainless steel sheets", Journal of materials processing technology, 2008.
- [8] A.P. Manogaran, P. Manoharan, D. Priem, S. Marya, G. Racineux, "Magnetic pulse spot welding of bimetals, Journal of Materials Processing Technology", 214, 1236-1244, 2014.