

Soudage par impulsion magnétique : Description et apports socio-économiques

Bouchra SAADOUKI¹, Mohamed ELGHORBA¹

¹ Laboratoire de contrôle et de caractérisation mécanique des matériaux et des structures
Ecole nationale supérieure d'électricité et de mécanique, Casablanca, Maroc
bouchra.saadouki@gmail.com

Résumé—Une fois qu'elle a été développée pour être une solution de soudage innovatrice et exceptionnelle, le soudage par impulsion magnétique a beaucoup attiré l'attention des industries automobiles grâce à ses solutions pour des assemblages complexes au début des années 2000. Bien que cette technique ait été mise en œuvre par certains fabricants géants pour diverses tâches d'assemblage, le processus n'a pas encore été bien adopté par les industries. Ce travail met clairement en évidence le processus, ses applications et son principe de fonctionnement.

Mots-clés soudage, impulsion magnétique, procédé MPW bobine.

I. INTRODUCTION

Dans le but de réduire le poids et de performer les fonctionnalités, les pièces et les structures sont de plus en plus fabriquées à base de matériaux différents. La diversité dans les propriétés des matériaux combinés est pratiquement un challenge pour les technologies d'assemblage [1].

Pour la fabrication de telles structures à multiples matériaux, les techniques conventionnelles de soudage ont souvent prouvé leurs limites d'usage. Par exemple, à cause des températures de fusion différentes aussi bien que la conductivité thermique et la multitude des matériaux partenaires à joindre, le soudage thermique est peu adopté pour l'assemblage des matériaux dissemblables. En outre, plusieurs processus conventionnels ont été développés pour remédier

à cet inconvénient, tel que le soudage abrasif, par explosion et par friction [2]. Pourtant chaque un de ces soudages présente un problème qui lui exclu de ces applications particulières.

Plusieurs désavantages des techniques traditionnelles de soudage peuvent être dépassés par l'application du soudage par impulsion magnétique (Magnetic Pulse Welding MPW). Il s'agit d'un procédé de soudage à l'état solide qui permet également de minimiser ou même d'éliminer la formation des phases intermétalliques lors de l'assemblage des métaux dissemblables [3].

La technologie MPW est censée apporter des solutions innovatrices en matière de soudage, l'objectif de ce travail se porte sur deux principaux volets, le premier met en valeur le potentiel de la technique et son positionnement par rapport aux techniques conventionnelles ainsi que ses contributions socio-économiques. Le deuxième volet décrit le procédé et explique son principe de fonctionnement.

II. POSITION DU PROCESUS MPW ET SES APPORTS

1. HISTORIQUE

Le soudage de certains matériaux demeure un problème pour l'industrie. En effet les méthodes traditionnelles ne permettent pas de souder tout type de matériau. C'est la raison pour laquelle elle

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

se tourne vers des méthodes récentes telles que l'impulsion magnétique. Il s'agit d'une technique relativement jeune, elle a été développée pour une première fois au début des années 1970 pour des applications nucléaires, et est classée parmi les soudages par pression ou par choc sous DIN 1910-100:2008 and DIN 14610:2004. Toutefois, les champs magnétiques ont été utilisés pour des opérations de formage sur des matériaux à conductivité électrique élevée depuis la fin des années 1950. En 1959, le formage par impulsion magnétique (MPF) a été breveté par Harvey et Brower.

2. ASPECT INNOVANT DE LA TECHNOLOGIE MPW

La plus intéressante compétence apportée par la technologie MPW est la possibilité de souder nombreux matériaux qui ont été considérés avant comme des matériaux à mauvaise capacité de soudage ou carrément, pas soudables. Le processus MPW offre plusieurs avantages, incluant, le coût, l'environnement, la qualité et la productivité.

En terme de coût, aucune préparation préalable des pièces au soudage n'est exigée. Le dégraissage est conseillé. Pour des systèmes à forte énergie, la préparation de la pièce est moins critique que pour des systèmes à faible énergie. Après le soudage, les pièces peuvent être immédiatement débloquées et mises en œuvre. Le procédé se fait également à une vitesse de production élevée, atteint parfois une cadence de 10 pièces par minute.

Par ailleurs, le soudage par impulsion magnétique répond à l'actuel souci environnemental des industriels puisqu'il ne nécessite pas ni des gaz de protection ou des métaux d'apport ni l'ajout de nettoyants après l'opération du soudage. C'est un procédé de soudage écologique étant donné qu'il ne fait pas intervention de chaleur, gaz,

rayonnement ou fumées. En plus la technique permet la suppression d'huiles et de solvants.

Ce type de soudure est très solide, puisque lors d'un essai, la rupture se fait systématiquement en dehors de la zone de soudure. L'absence de températures élevées permet d'éliminer la formation des zones affectées thermiquement, le matériau conserve ses propriétés.

III. DESCRIPTION DU PROCESSUS

L'impulsion magnétique est actuellement utilisée dans l'industrie pour différents usages [4] : pour le formage (emboutissage), la découpe, le sertissage. Ce papier s'intéresse plus particulièrement à l'assemblage par soudage.

En général, le procédé MPW est une méthode d'assemblage conviviale. Le principe de fonctionnement est simple et la procédure de soudage est rapide, facile et viable. Cette partie explique le principe général du processus.

1. MACHINE DE TRAVAIL

La machine Magnetic Pulse System (MPS) utilisée pour le soudage est composée de trois grandes parties reliées entre elles par leur interaction avec un panneau opérateur. Il s'agit de la cabine de contrôle, du générateur d'impulsion et de la station de travail (figure 1).

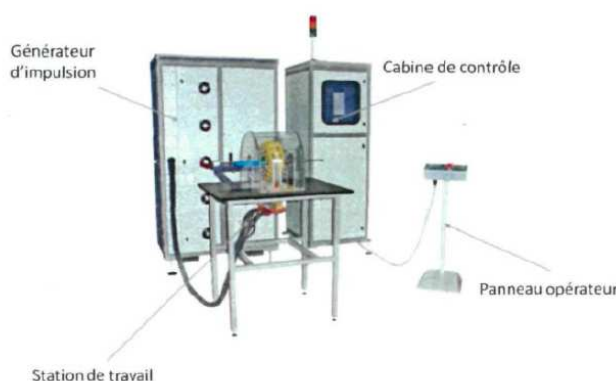


Figure. 1 La machine MPS (Magnetic Pulse System) [5]

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

La première partie est la cabine de contrôle. C'est là que se trouvent les fusibles et interrupteurs pour couper le courant. S'y trouvent aussi les transformateurs de courant alternatif en courant continu, le système d'allumage ainsi que le circuit de contrôle. C'est dans le générateur d'impulsion que se trouvent les condensateurs qui stockent le courant qui sera déchargé, ce courant peut atteindre 500.000 A. La bobine dans laquelle les tubes sont placés compose avec quelques autres éléments la station de travail. C'est sur le panneau opérateur que l'utilisateur choisit le voltage auquel il désire charger les condensateurs. Ce qui met essentiellement en route le processus de soudage c'est une impulsion électrique. Les condensateurs du générateur d'impulsion sont au préalable chargés. Puis un interrupteur de haut courant est fermé permettant ainsi au condensateur de se décharger sinusoïdalement ce qui crée un courant alternatif dans la bobine entourant les deux tubes à souder. La fréquence de décharge f dépend des paramètres du circuit électromagnétique (Equation 1) et qui se situe entre 10-200 kHz, mais les fréquences habituelles d'exploitation sont entre 10 et 20 kHz pendant les applications.

La fréquence du circuit peut être déterminée à partir de l'inductance totale du circuit L et la capacité du générateur C :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}} \quad (1)$$

2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La figure 2 montre une architecture typique de soudage par impulsion magnétique avec une configuration de chevauchement utilisée pour souder une combinaison tubulaire.

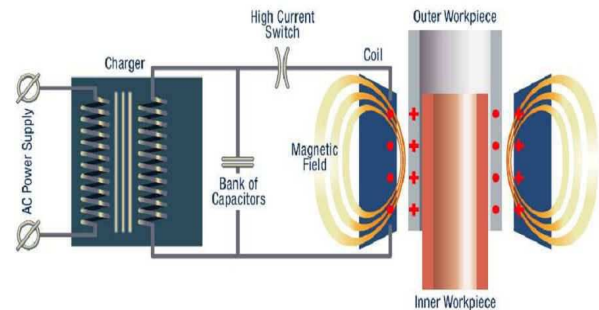


Figure. 2 Architecture typique du MPW pour les assemblages tubulaires

La technique MPW est suffisamment souple pour souder différentes formes de composantes pour différentes configurations d'assemblage telles que le demi-recouvrement, le chevauchement, le recouvrement transversal et le recouvrement d'extrémité. C'est dans la partie station de travail que le soudage s'effectue, cette partie contient principalement une bobine et un concentrateur de champ facultatif. Les bobines sont soit plates, soit cylindriques. Les bobines plates sont utilisées pour la déformation et le soudage de matériaux plats. Les bobines cylindriques servent au soudage de pièces tubulaires et peuvent être utilisées en combinaison avec ce qu'on a appelé un concentrateur de champ, il s'agit d'une pièce massive en cuivre qu'on place dans la bobine d'induction afin de conduire et de concentrer le champ magnétique tout près de la pièce à souder. Une bobine sans 'concentrateur de champ' est utilisée pour le soudage d'un diamètre bien déterminé. Grâce au concentrateur de courant, on peut souder différents diamètres avec une seule bobine en changeant cette pièce auxiliaire. La décharge électrique traversant la bobine génère un champ magnétique qui crée une force de Lorentz significativement importante dans le tube externe dans le cas d'un ensemble tubulaire. Ainsi, le tube à extérieur subit une contrainte de déformation

Revue de l'Entrepreneuriat et de l'Innovation

plastique élevée et se colle sur la tige intérieure fixe avec une vitesse de choc très importante.

3. APPLICATIONS

Le soudage à froid intéresse particulièrement l'automobile, du fait de ses nombreuses pièces tubulaires. Pendant l'assemblage, un véhicule consomme jusqu'à 30 mètres de cordon de soudure. Cette technique banalise le soudage aluminium (figure 3) et allège le poids des véhicules. Il est aussi très recommandé en aéronautique pour des assemblages aluminium-acier puisque le joint de soudure est toujours plus résistant que le métal le plus faible [6]. La capacité de la méthode MPW a également été prouvée sur des joints en T, des joints circulaires et des échantillons de tôles (jusqu'à 500 mm).



Figure. 3 Assemblage aluminium- acier par le procédé MPW

En outre, le processus couvre une gamme de combinaisons de matériaux tel que : Cu / Zr-verre à base métallique [7], Cu/acier, Cu/Al, Al/acier, Al/Mg, Al / Ni, Al / Fe, Al/Ti et Ti/Ni [8,9]. Avec tous ces avantages susmentionnés, la technique MPW est continuellement explorée et progressivement optimisée pour apporter un nouveau progrès à l'industrie.

IV. CONCLUSION

Le but de ce travail était de mettre au point une nouvelle technique d'assemblage dont les recherches sont encore menées. Ce papier a développé le principe de fonctionnement du procédé ainsi que ces avantages par rapport aux techniques traditionnelles. Le procédé possède un

potentiel réel pour la réalisation rapide et économique des assemblages. Toutefois, la limitation du processus réside dans le fait que chaque type de pièce correspond à une bobine spécifique, donc une machine adaptée pour chaque application.

REFERENCES

- [1] Mori, K., Bay, N., Fratini, L., Fabrizio, M., and Tekkaya, A.E., 2013, "joining by plastic deformation", CIRP Annals – Manufacturing Technology 62 pp 673-694
- [2] Lin, S.B., Song, J.L., Yang, C.L., Fan, C.L., Zhang, D.W., 2010. "Brazability of dissimilar metals tungsten inert gas butt welding – brazing between aluminum alloy and stainless steel with Al-Cu filler metal". Impact Strength Mater. 31,2637–2642.
- [3] Zhang, Y., Babu, S.S., Prothe, C., Blakely, M., Kwasegroch, J., LaHa, M., Daehn, G.S., 2011. "Application of high velocity impact welding at varied different lengthscales". J. Mater. Process. Technol. 211, 944–952.
- [4] Gonzalez, B. "Electromagnetic forming applications". Munich, 2008. (Cité en pages 8, 13 et 22.)
- [5] Pulsar. Overview of Magnetic Pulse Systems, lesson 1. cours de Pulsar. (Cité en pages 5, 8, 9, 10, 11, 12, 16 et 51.)
- [6] Aizawa, BYT., Kashani, M., AND Okagawa, K. 2007. "Application of Magnetic Pulse Welding for Aluminum Alloys and SPCC Steel Sheet Joints", Welding journal, Vol 86, p 119-124.
- [7] Hutchinson, N., Zhang, Y., Daehn, G., and Flores, K., 2009. "Solid state joining of Zr-based bulk metallic glass," TMS, San Francisco, CA.
- [8] Shribman, N. "Magnetic pulse welding for dissimilar and similar materials" Dortmund 2008. 3rd International Conference on High Speed Forming, pp. 13-22.
- [9] Jassim, A.K., "Magnetic pulse welding technology" 2010, 1st International Conference in Energy, Power and Control (EPCIQ), pp. 363-373.