

Soudage TIG de l'alliage de magnésium AM60B

S. OUALLAM¹, J.-E. MASSE², A. DJEGHLAL³, L. BARRALLIER², S. BOUAZIZ³

1 : Centre de Recherche Scientifique et Technique en Soudage et Contrôle (C.S.C), BP64 Chéragas-Alger, Algérie, e-mail : ouallam1@yahoo.fr

2 : Laboratoire MSMP, Art et Métiers ParisTech, France

3 : École Nationale Polytechnique (ENP), El Harrach-Alger, Algérie

Résumé :

Le soudage des alliages de magnésium est un domaine de recherche en cours d'exploration de par la demande de plus en plus accrue d'allègement des structures dans les domaines aéronautique et automobile. Cependant, certaines des propriétés de ce matériau, en particulier son excellente conductivité thermique et la formation en surface d'une couche d'oxyde de magnésium, compliquent son assemblage par soudage. C'est dans un contexte de compréhension et de maîtrise technologique du procédé de soudage à l'arc par TIG pulsé que nous avons initié cette étude paramétrique sur l'alliage AM60B.

Mots clés : TIG, intensité de soudage, fréquence.

1 Introduction

Ces dernières années, le magnésium et ses alliages se sont développés d'une manière spectaculaire [1]. De par sa faible densité, de bonnes propriétés mécaniques lorsqu'on l'allie à d'autres éléments (Zn, Al, terres rares...), sa grande stabilité dimensionnelle, une excellente conductivité thermique (en quatrième position derrière l'argent, le cuivre et l'aluminium), les applications des alliages de magnésium se sont diversifiées dans le domaine automobile, aéronautique, électronique ainsi que dans l'industrie militaire [2-3].

Le travail que nous allons présenter porte sur l'application du procédé TIG (Tungsten Inert Gas) sur l'alliage de magnésium AM60 (Mg-Al-Mn). Le procédé TIG, qui met en jeu un arc électrique, est l'un des procédés les plus utilisés pour le soudage des aciers inoxydables, des alliages non ferreux [4-5] et ce principalement pour de faibles épaisseurs [9]. L'arc est créé entre une électrode de tungstène non fusible et la pièce à souder sous un flux gazeux, qui peut être constituée d'argon, d'hélium ou d'un mélange de ces deux gaz. Les inconvénients du TIG sont principalement sa faible pénétration (souvent limitée à 5 mm) et sa faible productivité [6-7]. Le procédé, habituellement utilisé manuellement (ce qui nécessite un réel savoir-faire de l'opérateur), peut être semi-automatisé ou complètement automatisé dans des installations robotisées.

Deux types de courants peuvent être utilisés pour le soudage des alliages de magnésium, un courant alternatif et un courant pulsé. Nous porterons un intérêt particulier dans ce travail au courant pulsé (figure 1).

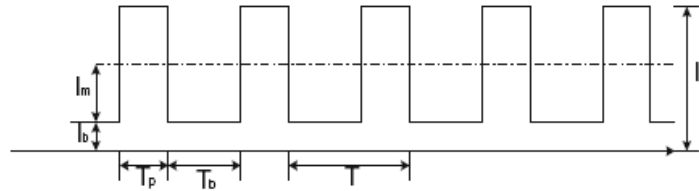


Figure 1 : Principe du courant pulsé sur le TIG

Le courant pulsé [8] est défini par : I_p (courant de pic en A), I_b (courant bas en A), T_p (temps de passage en courant haut en ms), T_b (temps de passage en courant bas en ms), T (période soit T_p+T_b) et la fréquence de pulsation (en Hz). L'énergie mise en jeu en courant pulsé est définie par :

$$(I_m \times V \times \eta) / S$$

Avec:

$$I_m = [I_p \times T_p + I_b \times T_b] / [T_p + T_b]$$

I_m est l'intensité moyenne de soudage (en A). V est la tension de soudage (en V). S représente la vitesse de soudage (en mm/s) et η est le rendement de l'arc.

Le procédé de soudage TIG est reconnu pour la qualité des soudures obtenue pour de faibles épaisseurs. Dans le cas des alliages légers (aluminium principalement), le TIG pulsé présente des avantages indéniables : contrôle de la déformation, faibles distorsions, affinage des grains [10]. Cependant, on dispose de très peu d'informations sur les possibilités d'assemblage des alliages de magnésium, ceux-ci étant pour l'heure peu utilisés comme matériaux de structure [11]. Dans ce travail, nous allons nous intéresser à l'influence de divers paramètres expérimentaux en TIG pulsé, à savoir l'effet de la fréquence et du courant sur le comportement de l'arc et du bain de fusion obtenus sur un alliage de magnésium de type AM60.

2 Matériaux et technique expérimentale

2.1 Matériau de l'étude

L'alliage de magnésium utilisé pour le soudage est de nuance AM60B, obtenu en fonderie puis usiné pour obtenir des tôles d'épaisseurs 3 et 6 mm. La composition chimique moyenne (en masse) de l'alliage est la suivante : 6% Al ; 0,4% Mn ; Mg (balance).

2.2 Dispositif expérimental

Il est décrit sur la figure 2. Il est composé d'un poste de soudage de type Lincoln SQUARE WAVE TIG 355 avec possibilité de travail en courant continu, alternatif et pulsé 3 ainsi que d'un système de bridage. Une bouteille de gaz Argon de qualité industrielle permet une protection envers.

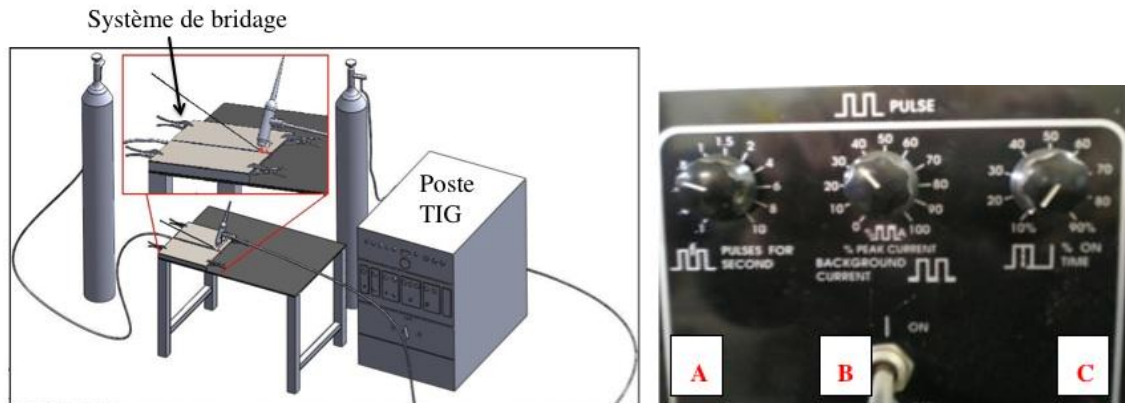


Figure 2 : Dispositif expérimental et commande de courant

Sur le boîtier, on distingue une commande de fréquence (A), une commande de courant bas (B) qui est un pourcentage du courant pré-réglé et une commande de réglage des T_p et T_b (C) qui représentent des temps de séjour en I_p et I_b (en pourcentage).

2.3 Problématique et conditions opératoires

Dans un premier temps la problématique est d'abord opératoire. Elle consiste en la maîtrise technologique des paramètres de soudage en TIG pulsé et les effets sur l'alliage de magnésium AM60B. Le poste de soudage comprend un système de commande du courant pulsé. Celui-ci est fonction de la fréquence, du courant de pic, du courant bas et de la durée de passage du courant haut et bas (T_p , T_b).

Pour maîtriser les paramètres du poste TIG, nous avons fixé certaines conditions opératoires à savoir :

- le type de gaz de protection (argon) et le diamètre de l'électrode de tungstène (1,6 à 2 mm).
- Le pic (peak) à 50% grâce à la commande (B) qui permet de régulariser le pic du courant bas à un écart de 50% du pic du courant haut ;
- La durée de passage (t_h , t_b) (times) à 50% grâce à la commande (C) qui permet de réguler les temps de passage en courant de pic et en courant bas pendant la période qui est d'une seconde.

Ces paramètres ci-dessus sont appliqués pour toutes les expériences réalisées. Elles consistent à fixer le courant pré-réglé I_0 avant le soudage et faire varier les fréquences et inversement. L'objectif est d'obtenir le meilleur couple paramètres/aspect soudure et de l'appliquer pour réaliser des soudures sur l'alliage étudié qui seront ensuite expertisées mécaniquement et par analyse métallurgique. Ce travail est effectué sur des plaques d'épaisseurs de 3 et 6 mm et sur des longueurs et largeurs variables.



3 Résultats et interprétation.

Les résultats obtenus en fonction de deux courants initiaux fixés (60A et 75A) sont présentés sur les tableaux 1 et 2 ci-dessous. La représentation sur des histogrammes est donnée sur la figure 3.

Tableau1 : Paramètres des tests d'optimisation avec un courant initial de 60A

N°	I (A) haut	I (A) bas	V (volt)	tps (s)	Fréquence (Hz)
1	63	33	14	42	0,6
2	64	38	14	34	1
3	59	42	14	34	2
4	63	33	15	16	0,6
5	64	38	14	31	1
6	59	42	14	34	2
7	53	52	14	40	6

Tableau2 : Paramètres de tests d'optimisation avec un courant initial de 75A

N°	I (A) haut	I (A) bas	V (volt)	tps (s)	Fréquence (Hz)
9	79	48	14	40	0.6
10	80	51	14	28	1
11	74	57	14	18	2
12	66	63	15	19	6
13	69	66	14	10	10

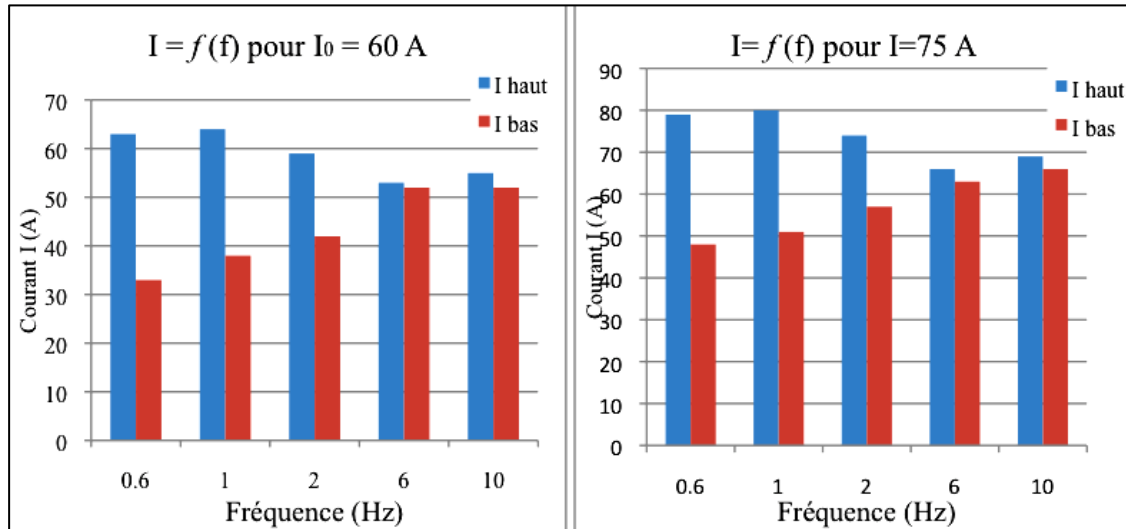


Figure 3 : Histogramme de variation du courant en fonction de la fréquence pour des courants initiaux de 60A et 75A.

Nous constatons que pour de faibles fréquences, les intensités des courants de pic haut sont supérieures à la valeur initiale I_0 et l'intervalle entre I_p et I_b est important (0,6 et 1Hz). Ceci peut provoquer un gradient thermique important. Cependant, ces résultats peuvent être intéressants pour le soudage de faibles épaisseurs car l'emploi de vitesses de soudage adéquates nous permettra de minimiser le phénomène de conduction thermique et par conséquent de maîtriser la quantité de matière fondue et les dimensions des zones affectées thermiquement.

Pour des fréquences plus élevées (6 et 10Hz), les intensités de soudages sont plus basses que I_0 mais l'écart entre les deux valeurs devient très faible. C'est ce que montrent les tableaux 3 et 4 et les histogrammes correspondants (figure 4) à partir d'expériences réalisées en faisant varier le courant ($I=60A, 75A, 90A, 100A, 110A$) pour une même fréquence (1 puis 4Hz).

Tableau3 : Variation des paramètres du courant pulsé pour une fréquence de 1Hz

I_0 (A)	I (A) haut	I (A) bas	V (volt)	tps (s)	Fréquence (Hz)
60	64	38	14	31	1
75	80	51	14	28	1
90	88	56	15	14	1
100	99	66	15	13	1
110	109	67	15	7	1



Tableau4 : Variation des paramètres du courant pulsé pour une fréquence de 6Hz

I_0 (A)	I (A) haut	I (A) bas	V (volt)	tps (s)	Fréquence (Hz)
60	53	52	14	40	6
75	66	63	15	19	6
90	75	74	15	14	6
100	88	87	15	11	6
110	94	92	15	9	6

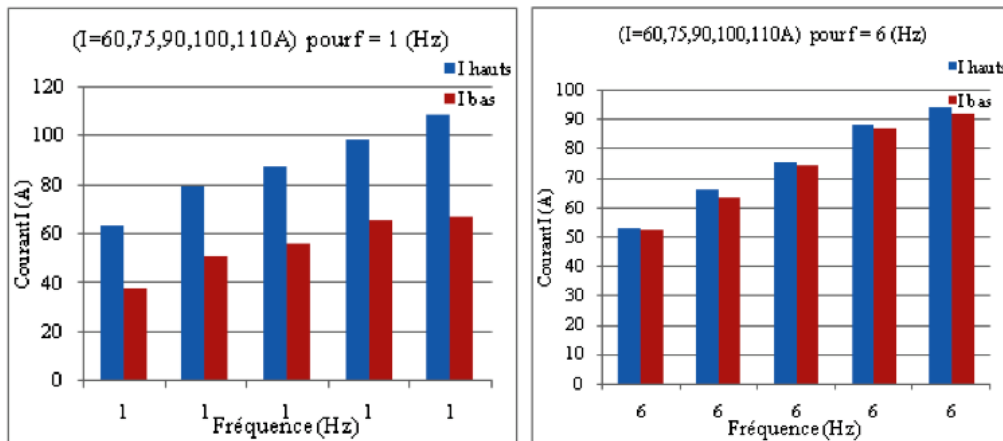


Figure 4 : Histogramme de variation du courant pour deux fréquences fixées

On constate que l'augmentation de la fréquence influe notablement sur les pics de courant haut et bas. L'augmentation du nombre de pulsations pour une même période ne permet pas aux courants haut et bas d'atteindre leurs pics. La stabilisation ne peut s'effectuer. Le courant se stabilise pour un nombre de pulsations plus élevé, avec une tendance à ressembler à un courant continu. Les stabilités de l'arc électrique et du bain de fusion sont liées à l'intensité du courant de soudage et à la fréquence. Cette modulation du courant permet une régulation du cycle thermique. En particulier, il est possible de procéder à la fusion d'une petite partie seulement du métal de base pendant les temps de passage du courant haut, avec solidification au moins partielle pendant les temps de passage du courant bas.

En tenant compte de ces résultats, plusieurs soudures ont été réalisées sur l'alliage AM60B en TIG pulsé en mode manuel. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 5 ci-après.

Les paramètres appliqués montrent que pour un courant I_0 de 70A et pour une fréquence de 1Hz, il existe un effondrement du bain de fusion pour un courant $I_p = 65A$ et $I_b = 39A$ qui est corrigé avec

des paramètres permettant une meilleure maîtrise de l'arc et du bain de fusion. C'est ce qui est montré sur la figure 6 ci-après dont les paramètres de soudage sont donnés sur le tableau 5 ci-dessous.

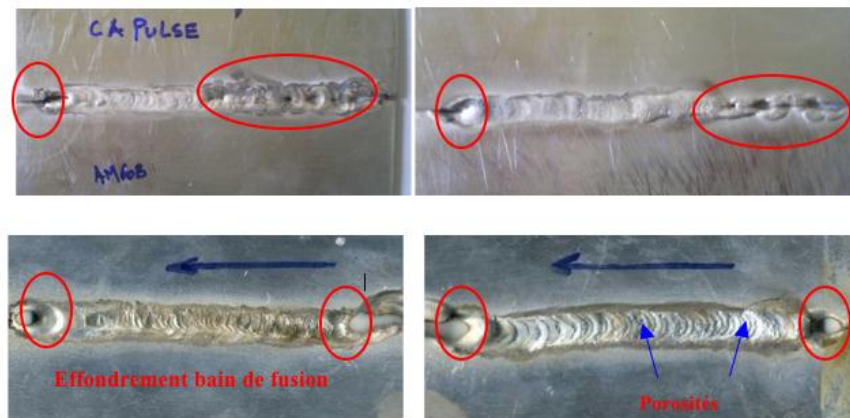


Figure 5 : Soudures bout à bout sans métal d'apport et sans protection à l'envers

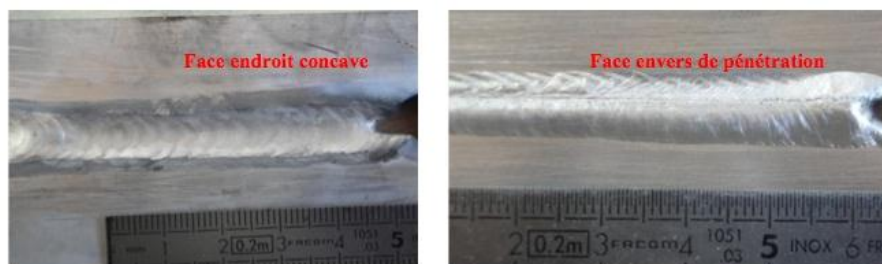


Figure 6 : Aspect de la soudure en bout à bout sans métal d'apport sur tôle de 3mm en alliage AM60B, avec protection envers

Tableau 5 : Paramètre de soudage TIG pulsé bout à bout en une seule passe endroit

Position	I (A) haut	I (A) bas	V (volt)	E _n hauts (J/mm)	E _n bas (J/mm)	Fréquence Hz
Endroit	62	38	15	706,8	433,2	1

Cette soudure réalisée en une seule passe sans métal d'apport, montre un bel aspect du cordon en face envers et endroit avec toutefois un effondrement du bain de fusion en fin de trajet de soudure. Il est à noter que le cordon présente une concavité naturelle, obtenu sans métal d'apport.

4 Conclusion

Malgré la complexité de la technologie du procédé de soudage à l'arc par TIG pulsé principalement due à des paramètres opératoires interdépendants, ce travail a permis de maîtriser une partie des paramètres technologiques du procédé aboutissant à l'obtention d'une soudure sur un alliage de magnésium moulé de type AM60B. Les différentes campagnes d'essais effectuées ont montré l'influence de la fréquence sur l'intensité du courant haut (I_p) et sur celle du courant bas (I_b) :

- l'écart entre I_p et I_b est important pour de faibles fréquences (1Hz) et se rapproche pour être presque identique pour des fréquences élevées (4Hz) ;

- pour $f=1\text{Hz}$, I_p est supérieure à l'intensité initiale pré réglée avant soudage, ce qui nous oblige à tenir compte de cette augmentation lors de l'opération de soudage en augmentant la vitesse de soudage afin d'éviter des effondrements du bain de fusion et de réduire le risque de fissuration à chaud (du fait du refroidissement partiel entre les impulsions).

- inversement, pour des fréquences supérieures à 4Hz, I_p est inférieure à l'intensité initiale pré réglée avant soudage. Dans ce cas, l'énergie de soudage et l'apport calorifique seront diminués, mais le procédé gagnera en stabilité, vu le faible écart entre I_p et I_b .

Ce travail sur le procédé sera prochainement suivi, une fois les conditions optimales déterminées, par des analyses métallurgique et mécanique des pièces soudées.

Références

- [1] F. CZERWINSKI. Magnesium Injection Molding, Springer Pub. (2007)
- [2] X.H. LIU et al. Microstructure and mechanical properties of Mg-Li alloy after TIG welding. Trans. Nonferrous Met. Soc. China, 21 (2011) 477–481
- [3] R.Z. WU et al. Microstructure and mechanical properties of Mg-5Li-3Al-2Zn-xRE alloys. Journal of Materials Science, 2009, 44 (15) 4132–4139
- [4] C. VASCONCELOS GONÇALVES et al. Application of optimization techniques and the enthalpy method to solve a 3D-inverse problem during a TIG welding process. Applied Thermal Engineering, 30 (2010) 2396–2402
- [5] A. DURGUTLU. Experimental investigation of the effect of hydrogen in argon as a shielding gas on TIG welding of austenitic stainless steel. Materials & Design, 25 (2004) 19–23
- [6] T. SAKTHIVEL et al. Comparison of creep rupture behavior of type 316L austenitic stainless steel joints welded by TIG and activated TIG welding processes. Materials Science and Engineering A, 528 (2011) 6971– 6980
- [7] P.J. MODENESI et al. TIG welding with single-component fluxes. Journal of Materials Processing Technology, 99 (2000) 260–265
- [8] R. MANTI et al. Pulse TIG welding of two Al-Mg-Si alloys. Journal of Materials Engineering and Performance, 17 (2008) 667–673



- [9] M.P. NASCIMENTO and H.J.C. VOORWALD. Considerations about the welding repair effects on the structural integrity of an airframe critical to the flight-safety. *Procedia Engineering* 2 (2010) 1895–1903.
- [10] A. KUMAR and S. SUNDARRAJAN. Optimization of pulsed TIG welding process parameters on mechanical properties of AA 5456 Aluminum alloy weldments. *Materials and Design* 30 (2009) 1288–1297
- [11] G. PADMANABAN and V. BALASUBRAMANIAN. Influences of pulsed current parameters on mechanical and metallurgical properties of gas tungsten arc welded AZ31B magnesium alloy. *Met. Mater. Int.*, 17(2011) 679–687