

Etude du comportement structural et mécanique d'un alliage aéronautique 2024 T3 par procédé de soudage TIG Pulsé

L. KABA^{1,2}; S. OULLAM²; M.L. DJEGHLAL³

1,2 Centre de Recherche en Technologies Industrielles CRTI, BP64 Chéraga Alger- Algérie

l.kaba@csc.dz,

s.oullam@csc.dz

3 École Nationale Polytechnique (ENP) El Harrach Algérie, 10 Rue des Frères OUDEK, El Harrach 16200.

adjeghelal@hahoo.fr

Résumé— Vu leurs propriétés mécaniques importantes, l'aluminium et ses alliages a suscité beaucoup d'intérêt au cours de ces dernières années, notamment dans le domaine de la recherche et plus particulièrement pour des applications aéronautiques et aérospatiales. Néanmoins, l'assemblage de ces matériaux reste encore difficile à cause de l'existence de la couche d'alumine jouant le rôle d'une barrière empêchant ainsi leurs soudabilités.

Ce travail a pour but l'étude du comportement structural et mécanique d'un alliage aéronautique 2024 T3 obtenu par le procédé de soudage sous atmosphère protectrice TIG pulsé, cela, en optimisant les paramètres de travail afin d'avoir un bon cordon de soudure. Une étude métallographique est faite sur les différentes zones du joint soudé (Métal de base, Zone Affectée Thermiquement et la Zone Fondue) en utilisant la microscopie optique. De plus, l'évolution des propriétés mécaniques le long du joint soudé est suivie par un profil de microdureté sur les différentes zones (MB, ZAT et ZF).

Mot clés— Aluminium, soudage TIG, TIG pulsé, Aluminium à durcissement structural

I. INTRODUCTION

Les alliages d'aluminium sont largement utilisés dans l'industrie aéronautique et aérospatiale surtout l'alliage 2024 et 7075, a cause de leur propriété importante a savoir la densité et d'autres propriétés mécanique. La difficulté d'assemblage par soudage des ces alliages est a cause de point de fusion de son oxyde (Al_2O_3) qui est beaucoup plus élevé que le métal ou l'alliage lui-même [1], Le risque de fissures au moment du refroidissement et du retrait [2], Ainsi Le problème des soufflures existant ;principalement d'hydrogène [1].

Dernièrement des développements récents utilisé pour améliorer la soudabilité de ces dernières tel que le soudage laser, bombardement électronique, le soudage par friction malaxage ainsi développé le procédé conventionnelle TIG, par un ajout d'un notre type de courant qui nous permet d'assurer un bon commandement des paramètres pour assuré un bon aspect de cordon de soudure.

Le soudage TIG (tungstène inerte gaz) d'alliages en aluminium est un procédé standard largement répandu. Normalement, on soude au courant alternatif [1], mais

dernièrement on utilisé un autre type de courant d'un arc pulsé, qui joue presque le même rôle de courant alternative pour brisé la couche d'oxyde (Al_2O_3) avec un ajout de quelque paramètre pour assure un bon commandement de l'arc à savoir la fréquence d'impulsion, l'amplitude de courant et le temps d'impulsion de chauffage et refroidissement. La fusion du métal à soudé est engendrée par l'impulsions émises du courant fort ou dite courant pic de pulsation, puis le courant redevient faible ou dite courant bas de pulsation est une petite quantité de chaleur transmise à la pièce ce qui permettre un refroidissement du bain de fusion [3].

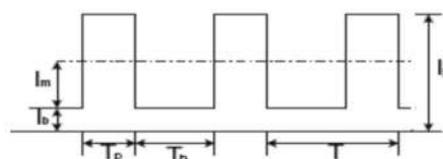


Fig 1 : Présentation d'un courant pulsé [3].

Le courant pulsé (Fig 1) [4] est défini par :

- I_p courant de pic,
- I_b courant bas,
- T_p temps de passage en courant haut,
- T_b temps de passage en courant bas,

L'énergie mise en jeu en courant pulsé est définie par [5] :

$$E = \eta (U * I_m) / v$$

$$I_m = [(I_p * T_p) + (I_b * T_b)] / (T_p + T_b)$$

Où :

- I_m est l'intensité moyenne de soudage (en A).
- U est la tension de soudage (Volts).
- v la vitesse de soudage (en mm/s)
- η est le rendement de l'arc.

Dans ce travail, nous allons nous intéresser à l'influence de procédé de soudage TIG Pulsé sur comportement structural et mécanique d'un alliage aluminium 2024 T3.

II. Matériaux et techniques expérimentales

A. Matériau

Notre métal de base est un alliage d'aluminium de corroyage à durcissement structural de nuance 2024 à l'état T3 (subi un traitement thermique de mise en solution, trempé à l'eau, écroui et muri).

La composition chimique nominale selon la norme EN 573-1 de notre métal de base ainsi que le métal d'apport sont données sur le Tableau .1 et le tableau .2 [6].

Tableau .1 : la composition chimique nominale % selon la norme EN 573-1 d'aluminium 2024 [6].

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti	Cr	Autres
reste	3.8-4.9	1.2-1.8	0.3-0.9	0.5	0.5	0.25	0.15	0.1	0.20

Tableau .2 Composition chimique nominale % selon norme EN 573-1 d'aluminium 5554 [6].

Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti	Cr	Autr
reste	0.10	2.4-3.0	0.5-1.0	0.40	0.25	0.25	0.05-0.20	0.05-0.20	0.20

B. Dispositif expérimental

Notre dispositif expérimental possède d'un générateur de courant de marque LINCOLN de type SQUARE WAVE TIG 355, assemblé par une bouteille de gaz inerte (argan pur 99.95 %), pour protéger le bain de fusion (Fig 2).



Fig 2 : générateur de courant et boitaille de gaz argon.

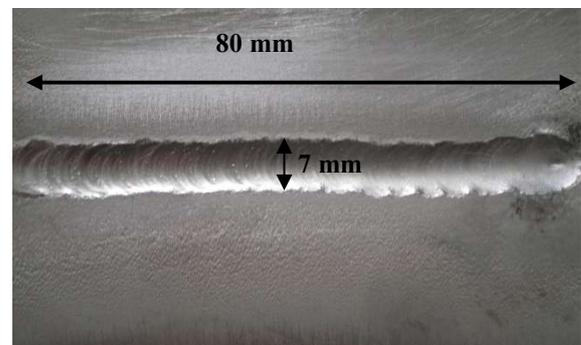
III. RESULTA ET INTERPRETATIONS

Avant de soudé les pièces, il est nécessaire de nettoyés les bords ces dernier par une brosse métallique et décapé par une acétone, ils sont pointés et souder bout à bout. Les paramètres de soudages sont listés sur le tableau 3

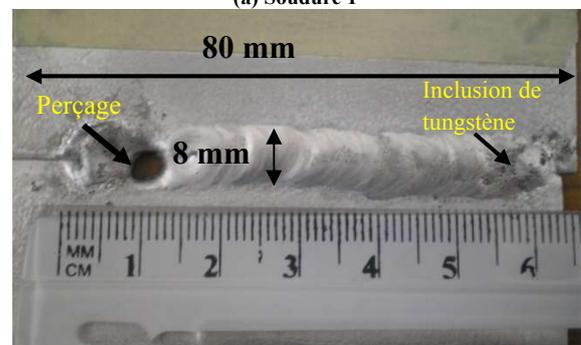
Tableau 3 : les Paramètres de soudage TIG pulsé

N° de soudure	Fréquence Hz	Background %	temps de chauffage %t	Intensité régler I ₀ (A)	Intensité pic (A)	Intensité bas (A)	Tension (V)	Vitesse de soudage (mm/s)	Débit de gaz (l/min)
01	4	20	20	150	81	51	20	1.51	8
02	4	20	20	150	70	20	16	1.82	8
	4	20	20	150	77	54	16	1.62	8
03	4	50	50	120	88	77	16	3.10	12

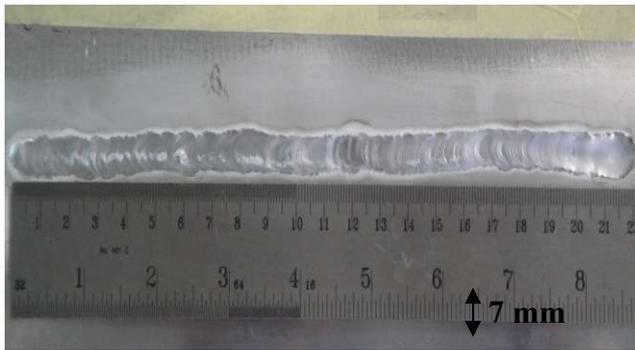
Nous constatant d'après les paramètres listés dans le tableau 3, malgré les valeurs constantes des paramètres principal des soudures 01 et la soudure 02 de notre générateur (fréquence (F), background (%I), temps de chauffage (%t), intensité régler I₀), l'intensité pic et l'intensité bas sont différent, ce qui expliqué par le mouvement de l'hauteur de l'électrode par l'opérateur ce qui ce confirmé par la variation de tension de soudage (plus la distance entre la pièce et l'électrode de tungstène est importante plus le tension et important). Dans La soudure 3 on à fixe la fréquence et on à modifie les autre paramètres principaux (background (%I), temps de chauffage (%t), intensité régler I₀ ainsi que le débit de gaz de protection), on à constaté que la vitesse de soudage est plus important par apport aux autres soudures ce qui expliqué par intensité pic et l'intensité bas qui sont important a cause du débit qui augmente l'ionisation de l'arc.



(a) Soudure 1



(b) Soudure 2



(c) Soudure 3

Fig 3: aspect des cordons de soudure soudé bout à bout, (a) La Soudure 1: soudé sans métal d'apport. (b) La Soudure 2: soudé en deux passes endroit, une passe sans métal d'apport et la deuxième passe avec métal d'apport. (c) La Soudure 3: soudé par une passe endroit avec métal d'apport.

La figure 3 (Fig 3) nous montrons les différents aspects des soudures (Soudure 1, Soudure 2, Soudure 3), La Soudure 1 montre un bel aspect du cordon de soudure avec une concavité sur la face endroit qui constitue un défaut, Les stries de solidification sont de formes elliptiques; ce qui exprime un mouvement rectiligne du déplacement de la torche avec une faible vitesse de soudage,

En suite on a refait la concavité de la soudure 1 est remplie par une seconde passe endroit comme présente sur la figure (soudure 2); cette dernière contient quelques défauts (perçage de tôle, effondrement en fin de parcours, et des microfissures au niveau perçage).

Enfin la soudure 3 est soudée par une passe endroit avec métal d'apport; l'aspect général du joint soudé est présenté sur la figure 3 (c); l'aspect visuel de cette soudure montre un bel aspect avec un effondrement en fin de parcours et une petite concavité.

A. Etude métallographique des différentes zones de cordon

1. Observation macrographique

La macrographie de la soudure 3 présentée sur la figure 4 (Fig 4) et la figure 5, ce dernier présente différentes zones à cause de l'hétérogénéité thermique existante. Comme nous montrons sur la figure la zone fondue (ZF) est de l'ordre de 6.59 mm, une pénétration de 1 mm un défaut de concavité à la face endroit du cordon de l'ordre de 0.51 mm, une zone de liaison de l'ordre de 0.39 mm et une zone affectée thermiquement (ZAT) de l'ordre de 4.05 mm.

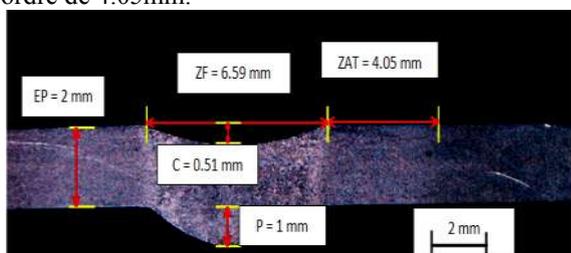


Fig 4 : macrographie de la soudure 3.

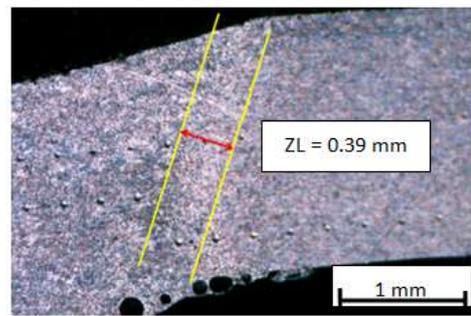
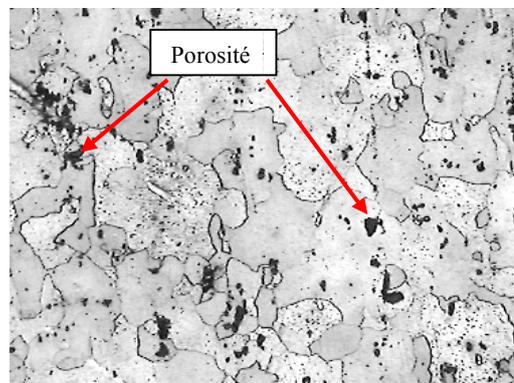


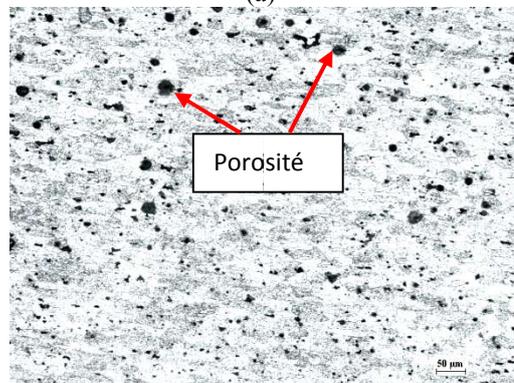
Fig 5 : macrographie de la zone de liaison de la soudure 3

2. Observation micrographique

L'observation microscopique de notre échantillon (soudure 3) nous permet d'expliquer l'hétérogénéité thermique des différentes zones existantes; Les micrographies ont été prises avec un microscope optique de marque NIKON de grossissement pouvant aller jusqu'à 1500 fois.



(a)



(b)

Fig 6 (a) face de métal de base (b) le profil de métal

La structure de notre métal de base est présentée sur la figure 6 (Fig 6), elle exprime bien l'effet du laminage par une forme allongée du grain.

La figure suivante (Fig 7) représente respectivement la microstructure des différentes zones ZF, ZL et ZAT grain fin.

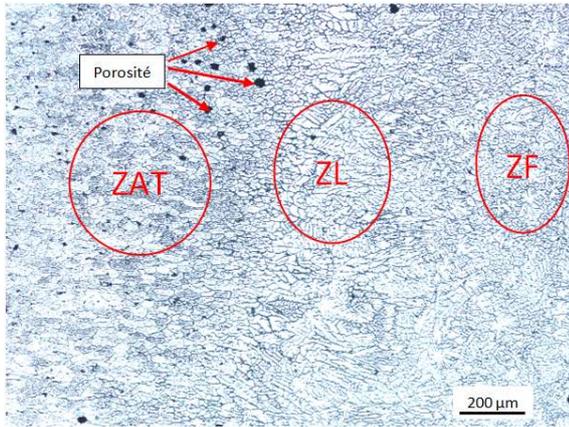


Fig 7 : microstructure des différents zones ZF, ZL et ZAT

1.1. Zone fondue (ZF)

Les structures obtenues dans la ZF (Fig 8) sont le produit d'une solidification de l'état liquide vers un état solide. On peut voir que la zone de fusion présente un aspect dendritique très marqué [7] avec une structure équiaxe au centre de la zone fondue comme présenté sur la figure 8. Nous constatons que dans les faibles grossissements que on a des ségrégations qui sont expliquées par F. Lefebvre [8] comme étant des liquations indiquées par des particules eutectiques.

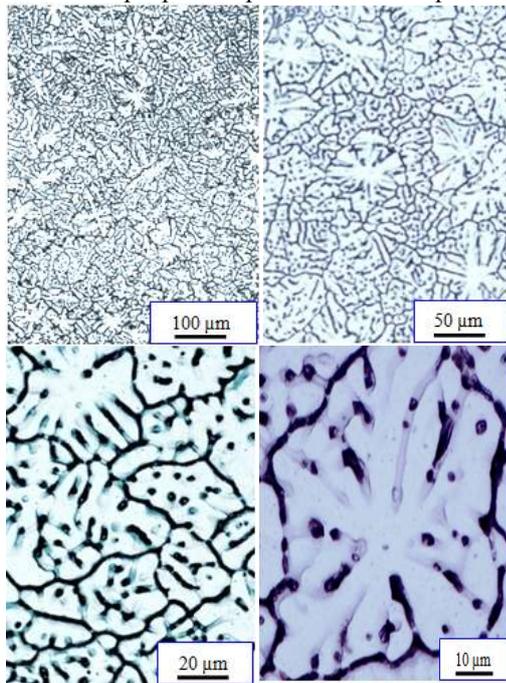


Fig 8 : différents grossissements de la zone fondue

1.2. Zone de Liaison (ZL)

Cette zone est la conséquence d'une transformation d'un état pâteux solide-liquide vers un état solide. C'est une zone intermédiaire entre la Zone Fondue (ZF) et la Zone Affectée Thermiquement (ZAT), elle est caractérisée par des gros grains dendritiques allongés comme présentée sur la figure 9 (Fig 9).

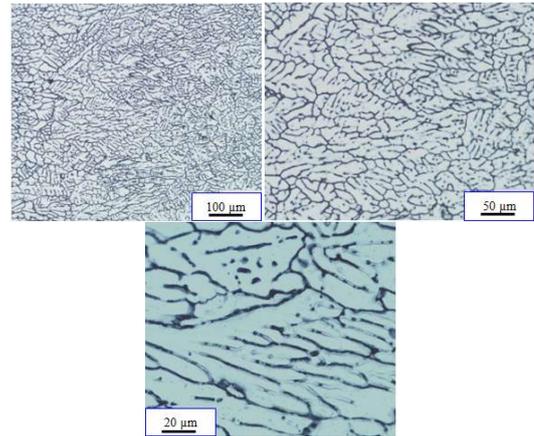


Fig 9 : différents grossissements de la Zone de Liaison (ZL)

Les phases intermétalliques dans les alliages d'aluminium induisent la liquation qui peut se produire partiellement le long du joint de grain mais aussi dans le grain. Cette liquation de joint de grain peut affaiblir la zone de liaison (ZL) et peut mener à la fissuration intergranulaire sous l'effet des tensions développées pendant le soudage [9].

1.3. La Zone Affectée Thermiquement (ZAT)

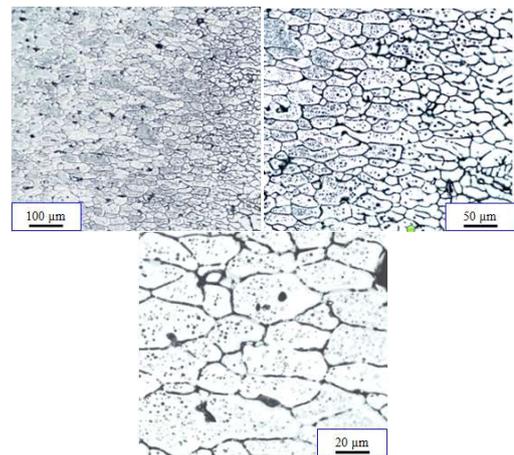


Fig 10 : différents grossissements de la Zone Affectée Thermiquement (ZAT)

C'est une zone de transformation dans l'état solide, elle est présentée une zone de remise en solution caractérisée par des grains moins gros juste à côté de la zone de liaison à cause de la température élevée de la zone fondue qui a exercé sur le métal de base, et de grains fins adjacents au métal de base comme nous montrant sur la figure 10 (Fig 10).

IV. PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

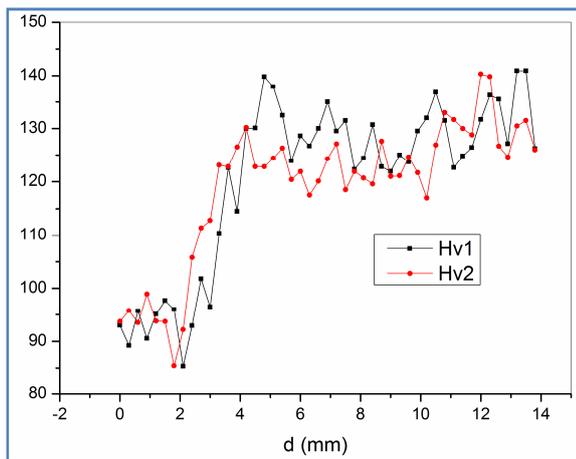
A. Microdureté

L'évolution de microdureté a été réalisée sur nos cordons à l'aide d'un pénétrateur Vickers avec un pas de 0.3 mm sous une charge de 300 g [10].

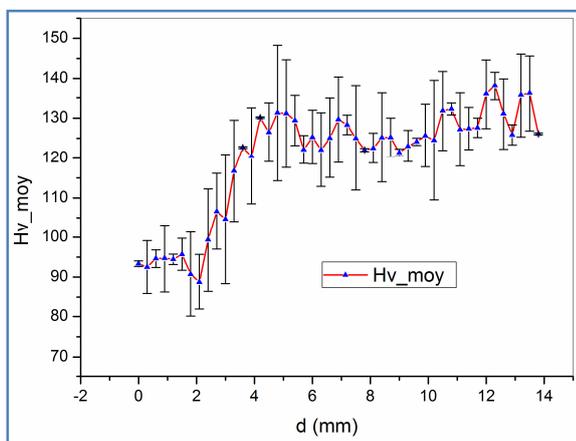
L'évolution de microdureté a été réalisée sur nos cordons à l'aide d'un pénétrateur Vickers avec un pas de 0.3 mm sous une charge de 300 g.

La figure 11, nous montrons la distribution de deux profils de microdureté sur le cordon de soudure 3 (figure 11 a) et leur moyenne (figure 11 b). On remarque que les changements structuraux sont influés sur les valeurs de microdureté, on remarque une faible microdureté dans la zone fondu ≈ 95 Hv, suivie d'une valeur très faible ≈ 85 Hv de zone de liaison caractérisé par un gros grain allongé, puis une augmentation rapide dans la zone affecté thermiquement ≈ 142 Hv max, en fin diminuer à une valeur moyenne ≈ 128 Hv.

D'après les résultats obtenue par [9] les longueurs des zones de cordon de soudage obtenue par le procédé TIG alternatif (AC) sont plus important que notre résultat de obtenue à cause de l'existence de autre paramètres comme la fréquence de pulsation de courant et le taux de chauffage et refroidissement...etc.



(a) deux profils de microdureté



(b) microdureté moyenne des deux profiles

Fig 11 : évolution de profile de microdureté

V. CONCLUSIONS

Ce travail est une contributions effectuent dans la soudabilité des alliages d'aluminium aéronautique ainsi la compréhension des paramètres de soudage de procédé TIG pulsé (CP).

Nos résultats nous permet de conclure que :

- De point de vu opératoire le procédé de soudage TIG pulsé est l'un des procédé important pour unirai les alliages d'aluminium à cause de bon commandement des paramètres de soudage (bon aspect de cordon).
- De poit de vu métallurgique le procédé de soudage TIG pulsé nous permet de réduire les différentes zones de cordon de soudage (ZF, ZL, ZAT).
- De point de vu mécanique les microduretés de la zone fondu (ZF) et plus faible par rapport le métal de base (MB), tant disque, les valeurs de ce dernière est proche de la zone affecté thermiquement.

VI. PERSPECTIVE

L'appliquassions des alliages d'aluminium est très important dans les dernière années surtout dans les domaines aéronautique et aérospatial, donc il reste encoure plusieurs questions soit pour les modes opératoire du procédé de soudage ou les phénomènes métallurgiques existante ainsi l'amélioration des propriétés mécanique, pour ce la il faut :

- Faire encore des teste pour amélioré les paramètres de soudage.
- Faire des micrographies par microscopie électronique à balayage (MEB) pour déterminité les différentes précipitations
- Défini les cycles thermique de soudage.
- Automatisé le procédé pour stabilisé de déplacement de l'arc.

Références

- [1] Antony FERNANDES, Guide pratique Interne procédé TIG, art , 2009.
- [2] EBEHARD Brune, matériaux en aluminium, procédés de soudage, Linde Gaz, art, 2006
- [3] L.Belgacem, L.Kaba, N.Bensaid, A.Boutaghane , Influence du courant de soudage TIG sur la microstructure et les propriétés mécaniques d'un alliage d'aluminium 2024 T3, IC-WNDT-MI'14 ,art,2014.
- [4] R. Manti et al., Pulse TIG welding of two Al-Mg-Si alloys. Journal of Materials Engineering and Performance, 17 (2008) 667–673.
- [5] BOUAZIZ Salah, Etude des paramètres de soudage TIG sur l'alliage de magnésium AM60B. PFE Ecole Nationale polytechnique (E.N.P), p.24 , 2007 .
- [6] <http://www.euralliage.com/index.htm>
- [7] Damien Fabregue, Microstructure et fissuration `a chaud lors du soudage laser d'alliages d'aluminium 6000, thèse doctoral, pp91, 2009.
- [8] F. Lefebvre et al Micromechanical aspects of fatigue in a MIG welded aluminum airframe alloy: Part 1. Materials Science & Engineering, 2005.
- [9] S.Ouallam, Etude du soudage TIG et laser Nd-YAG de l'alliage d'aluminium 2024T3, Mémoire de Magister, Avril 2009.
- [10] S. Ouallam, J.-E. Masse, M.L. Djeghlal, L. Barrallier, L. Kaba, Etude du soudage TIG de l'alliage d'aluminium 2024-T3, 21ème Congrès Français de Mécanique, art , p5 , 2013.