

## " Influence de la vitesse de soudage sur le comportement mécanique du joint bout à bout soudé par friction malaxage de l'alliage d'aluminium AA 6082-T6"

ARAB Mustapha<sup>1</sup>, ZEMRI Mokhtar<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculté de technologie –UDL, Département de génie Mécanique, Laboratoire de matériaux et systèmes réactifs, Sidi Bel Abbès, Algérie.

[musttapha.arab@gmail.com](mailto:musttapha.arab@gmail.com), [mzemri@gmail.com](mailto:mzemri@gmail.com)

### Résumé :

Le présent travail traite l'effet de la vitesse de soudage sur les propriétés mécaniques des joints FSW. Quatre soudures ont été réalisées sur des tôles en alliage d'aluminium 6082-T6 de 2 mm d'épaisseur en utilisant des vitesses de soudage différentes (63, 80, 125, 160 mm / min) avec une vitesse de rotation de l'outil constante 1400 tr / min. Ensuite, une éprouvette de traction et un échantillon pour la mesure de la microdureté HV pour chaque joint de soudure ont été extraits afin de caractériser mécaniquement la résistance des joints soudés par FSW. Il a été constaté qu'une augmentation de la vitesse de soudage entraîne une diminution de l'exposition thermique et une augmentation de la dureté et de la résistance du joint soudé. A vitesse de rotation constante, la résistance mécanique des joints augmente avec l'augmentation de la vitesse de soudage. Ainsi une diminution de la dureté a été observée dans la zone affectée par la chaleur, ZAT, cette zone correspond au lieu de la rupture lors de l'essai traction.

**Mots Clés**— AA 6082-T6, soudage par friction malaxage, vitesse de soudage, résistance mécaniques.

## 1. Introduction

Le soudage par friction-malaxage. Ce procédé, breveté en 1991 par le TWI, est une variante du soudage par friction. Le soudage par friction-malaxage est plus communément appelé Friction Stir Welding, FSW. Contrairement au procédé de soudage par friction « classique », les pièces à assembler n'ont pas de mouvement relatif l'une par rapport à l'autre. Ceci lui offre un plus large choix de configurations de joints soudables. Ce procédé, innovant, permet de souder à l'état « solide », c'est-à-dire sans atteindre la température de fusion. Ceci lui permet, en théorie, de souder tous les métaux, même ceux réputés difficilement soudables par fusion à cause de problèmes de fissurations à chaud, de soufflures, ou d'abattement trop important des propriétés mécaniques. Ses caractéristiques offrent à ce procédé de réels potentiels de développements industriels, surtout pour les métaux malléables à chauds et à bas point de fusion tels que l'aluminium ou le cuivre.

Pour réaliser une opération de soudage par friction-malaxage, les pièces à assembler sont mises en position sans jeu, généralement sur une enclume, et bridées afin d'éviter tout mouvement relatif de celles-ci au cours du soudage, un outil non consommable est utilisé, composé d'un épaulement (shoulder) auquel est fixé un pion (pin, probe) sous sa face inférieure [1].

La chaleur engendrée par la friction rend la matière environnante visqueuse, et permet au pion d'y pénétrer jusqu'à l'épaulement. On commande ensuite le déplacement de l'outil le long du joint. Le métal visqueux, malaxé par la rotation de l'outil sous l'effet de reliefs qu'il comporte, flue de part et d'autre de celui-ci de façon quelque peu dissymétrique de l'avant vers l'arrière en formant la liaison des deux bords puis la soudure proprement dite après refroidissement. L'épaulement, outre le fait qu'il limite la pénétration, a aussi pour rôle d'empêcher le métal de fluer vers le haut. La soudure prend place en phase solide et l'absence de fusion en fait le principal intérêt. Pour obtenir une liaison complète, le pion doit avoir une longueur quasiment égale, de préférence, à l'épaisseur des tôles à souder et le soudage s'exécute en une passe, voire deux passes opposées pour les épaisseurs élevées [2].

## 2. PROCÉDURE EXPÉRIMENTAL

Les soudures en FSW ont été réalisées sur des plaques d'une épaisseur de 2mm en alliage d'aluminium 6082-T6 avec la composition chimique et les propriétés mécaniques sont montrées dans (Tab.1 et Tab.2) respectivement. Les deux plaques ayant des dimensions mesurant 200mm de longueur et 70mm de largeur. A l'aide d'une fraiseuse verticale, un soudage linéaire (bout à bout) a été réalisé avec l'utilisation d'un outil en acier fortement allié qui porte la désignation, X210Cr12, cet outil est composé de deux parties, le corps ayant un épaulement de 12 mm de diamètre et une concavité et un pion tronconique lisse (non fileté) avec 4 mm de diamètre et 1.86 mm de longueur, (figure 1). Cette longueur a été établie après plusieurs essais afin de déterminer la longueur optimale qui permet de réaliser une soudure exempte de défauts à la racine du joint et suffisamment courte pour réduire les risques que le pion entre en contact avec la plaque de support au-dessous des tôles.

**Tableau 1.** Compositions chimique de l'alliage d'aluminium 6082.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,7-1,3	Max 0,5	0,1	0,4-1,0	0,6-1,2	Max 0,25	Max 0,2	Max 0,1	Reste

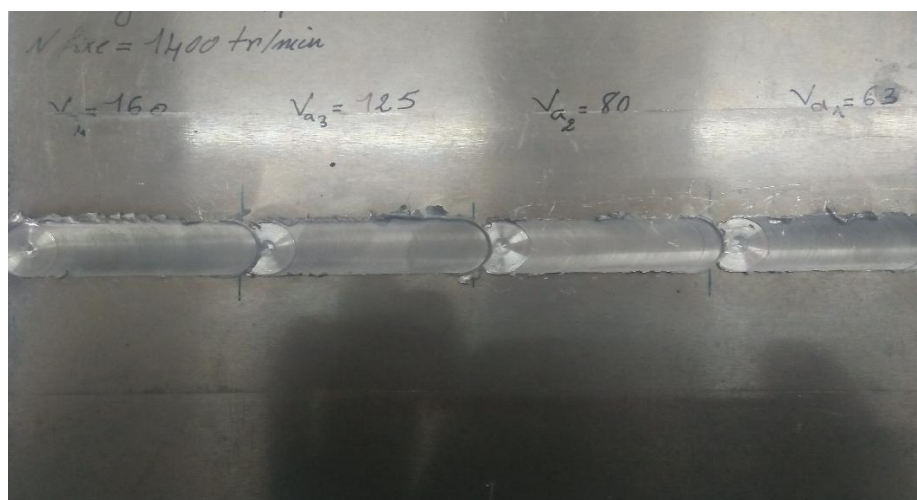
**Tableau 2.** Propriétés mécaniques d'AA6082-T6.

Re(MPa)	Rm(MPa)	A%	E(GPa)	HV	T <sub>fusion</sub> (°C)
249	310	11	67	107	650



*Figure 1. L'outil pour le soudage FSW.*

Le but c'est de voir l'effet de la vitesse de soudage (d'avance) sur les propriétés mécaniques du joint soudé par FSW. Pour cela 4 vitesses d'avance ont été utilisées (63, 80, 125, 160) mm/min, une vitesse de rotation (1400 tr/min) avec une inclinaison de l'outil de 1°. La (figure 2) montre les plaques soudées.



*Figure 2. Tôles en AA6082-T6 soudées par FSW.*

La caractérisation du joint soudé est déterminée par l'essai de traction sur des éprouvettes ALTER, selon la norme ASTM/E8, prélevées perpendiculairement à la direction de soudage. La (figure 3) montre les dimensions de l'éprouvette.

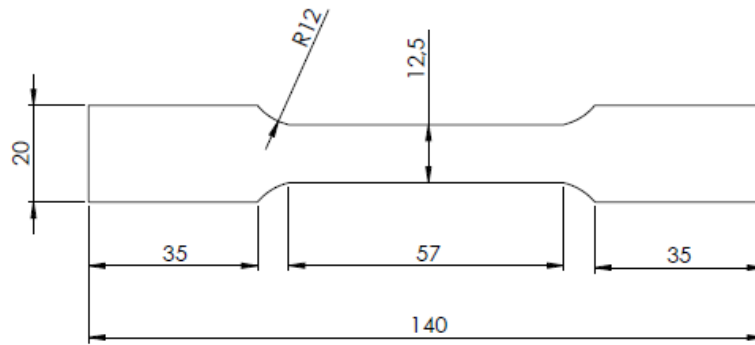


Figure 3. Dimensions de l'éprouvette de traction.

(2)

### 3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

#### 1. Inspection visuelle

La première observation sur les joints soudés montre un excès de bavure dans le côté recule (RS), ce défaut résultant d'une légère pénétration de l'épaulement qui donne la possibilité à la matière de se fluer vers l'extérieure. Sur le fond du joint on remarque une bonne jonction entre les deux plaques. La figure 4 montre le dessus et le fond du joint soudé.



Figure 4. Joint avec bavures et fond de soudure.

La figure 5 donne une observation sur le profil du joint, on voit qu'il n'y a aucun défaut, fissuration ou défauts intérieurs (effets tunnels), donc on peut dire qu'on a un bon joint de soudure et une bonne jonction en qualité visuelle.

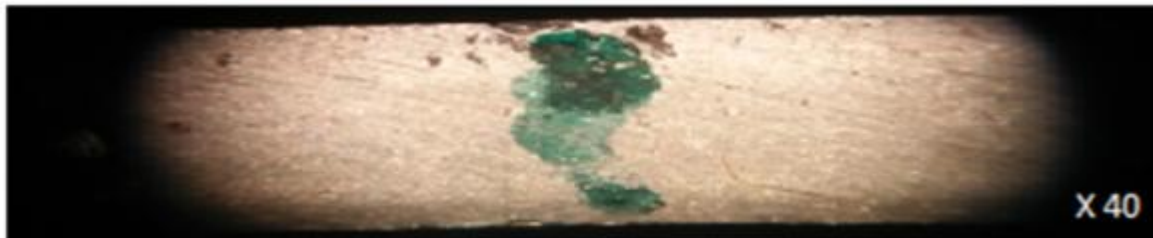


Figure 5. Observation microscopique d'une coupe transversale du cordon FSW.

#### 2. Microdureté

Le but de cet essai est de voir l'évolution de la dureté sur la section transversale du joint soudé, à l'aide d'un Microduromètre Shimadzu HMV-2000. Pour chaque joint de soudure on a prélevé un échantillon et on a choisi le côté d'avance (AS) comme le point de départ pour la mesure.

La figure 6 montre l'évolution de la dureté HV des joints soudés pour différentes vitesses de soudage avec une vitesse de rotation fixée à 1400 tr/min. la valeur moyenne de la dureté dans la zone soudée ZS est inférieure à celle du métal de base MB pour tous les échantillons.

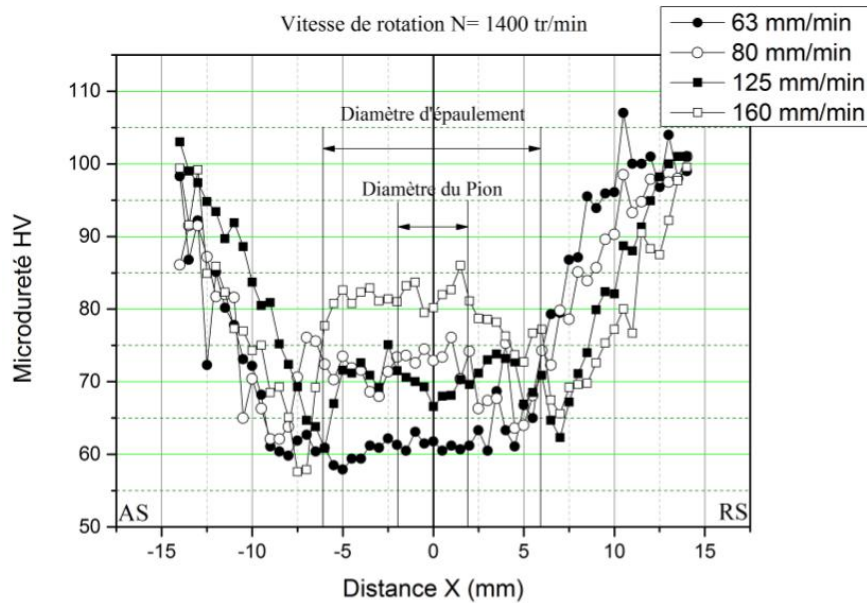


Figure 6. *Profile de Microdureté HV sur la section transversale du joint.*

On remarque une forte chute de la dureté dans la zone affectée thermiquement près de la zone affectée thermo-mécaniquement d'environ, 51.8 % du celle de métal de base, ce point où la dureté est la plus basse donne lieu à une rupture en traction.

Pour les vitesses de soudage de 80, 125 et 160 mm/min, on observe une élévation de dureté dans le noyau de soudure plus que dans la ZATM. D'autre part, pour la vitesse de soudage de 63mm/min, le profil de dureté dans la zone soudée, ZN et ZATM, est presque uniforme.

La figure 7 montre l'évolution de la Microdureté du noyau en fonction des 4 vitesses d'avance utilisées.

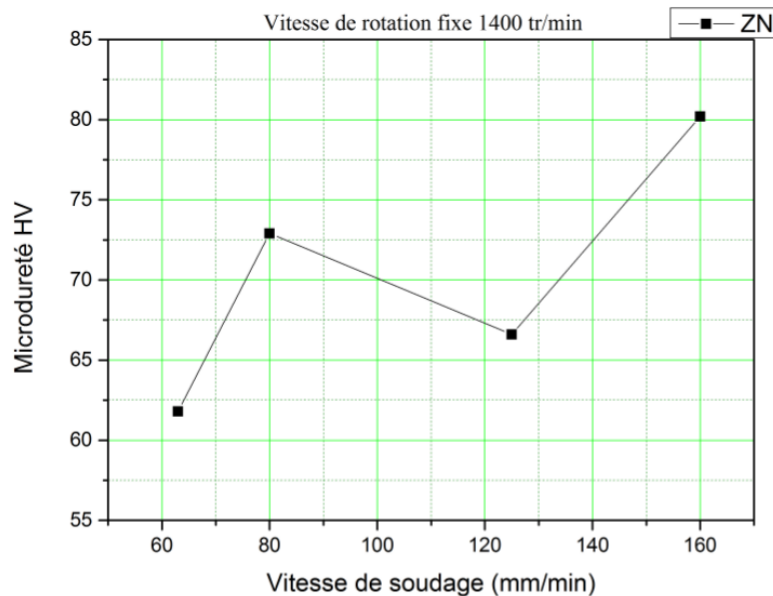


Figure 7. *L'évolution de la Microdureté dans le Noyau en fonction des vitesses de soudage.*

Nous voyons que lorsque nous augmentons la vitesse d'avance de 63 à 80 mm/min, le niveau de dureté a augmenté. Lorsque nous avons atteint la vitesse de soudure de 125mm/min, nous remarquons une légère diminution de la dureté dans la ZN, et elle reprend à la vitesse de soudage de 160 mm / min. Cela est dû à un taux de ramollissement plus grand dans toute la zone de soudure. Cette augmentation de la dureté dans le noyau peut probablement être attribuée à la déformation microstructurale induite à la fois par les cycles thermique et mécanique lors du soudage, qui va raffiner les grains et génère une nouvelle structure plus dur que les autres zones.

Ainsi l'augmentation de la vitesse de soudage, résulte une diminution à l'exposition thermique et une élévation de la dureté et la résistance du joint soudé.

### 3.L'essai de traction

Une éprouvette prélevée pour chaque joint de soudure. Les résultats des essais de traction pour différentes vitesses de soudage sont tracés en contrainte-déformation, figure 8. À la vitesse de rotation de 1400 tr/min et une vitesse de soudage de 63 mm/min, on remarque une très grande variation de la limite, ce qui signifie que notre matériau a subi un traitement thermique changeant ses propriétés, car on est dans le domaine d'une soudure chaude.

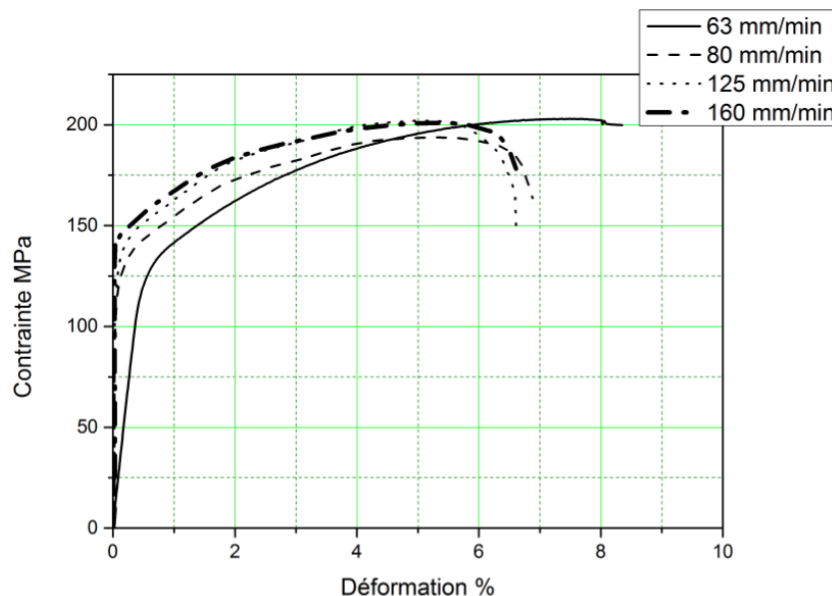


Figure 8. Courbe de traction pour chaque vitesse de soudage.

Une augmentation de la vitesse de soudage affecte moins la résistance à la traction du joint, ceci peut être associé à la diminution de l'apport de chaleur dans la ZAT. Ainsi l'élévation de la chaleur absorbée par le joint, d'une autre manière si on diminue la vitesse de soudage cela abouti à un allongement plus grand à cause d'un traitement thermique lors du soudage résultant une ductilité. Parce qu'une vitesse de soudage plus lente à donner l'avantage à une durée d'exposition thermique plus grande et a encouragé les transformations métallurgiques dans la zone de soudure, ce qui a entraîné une faible résistance à la traction et un allongement plus grand.

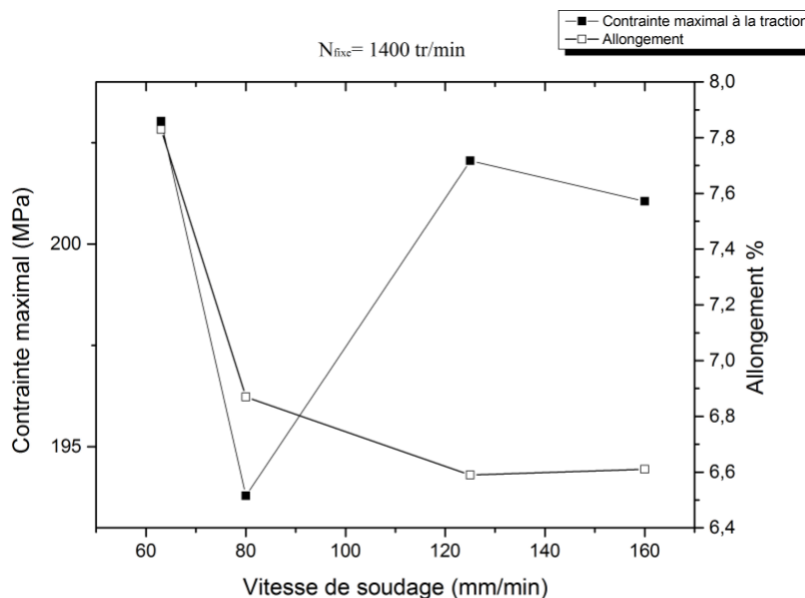


Figure 9. Évolution de la limite à la traction et l'allongement en fonction de la vitesse de soudage.

L'évolution de la limite à la traction et l'allongement en fonction de la vitesse de rotation sont donnés par la figure 9. On remarque que le couple paramètres, 125 mm/min, 1400 tr/min, donne une limite à la traction plus élevée et un allongement plus faible, ce qui explique que le cordon a connu un durcissement significative.

Un coefficient d'efficacité du joint soudé est présenter dans le (Tab.3), avec les différentes propriétés mécaniques ce dernier est définit comme le rapport entre la limite à la traction du joint et du métal de base, ce coefficient est exprimé en pourcentage pour voir à quel point on peut avoir un joint de soudure qui se rapproche du métal de base en termes de propriétés mécaniques.

**Tableau 3.** Propriétés mécanique des joints soudés avec différentes vitesses de soudage.

Vitesse de Soudage	$\sigma_e$ (MPa)	$\sigma_{max}$ (MPa)	A %	Efficacité %
63 mm/min	110	203,03	7,83	65,49 %
80 mm/min	101,12	193,79	6,87	62,51 %
125 mm/min	120	202,056	6,59	65,17 %
160 mm/min	107,09	201,06	6,61	64,85 %

#### 4. Conclusion

Dans ce travail, une étude de l'influence de la vitesse de soudage sur la résistance mécanique du joint par FSW effectué sur des tôles de 2mm d'épaisseur en alliage d'aluminium 6082-T6, avec une vitesse de rotation constante de 1400tr/min.

D'après les différentes constatations obtenus, on conclut que le joint soudé avec la combinaison (1400tr/min, 125mm/min), à présenter une bonne résistance mécanique et une efficacité de 65,17 %.

À vitesse de rotation constante, la résistance mécanique des joints augmente avec l'augmentation de la vitesse de soudage. Cela peut être attribué à la diminution de l'apport de chaleur sur le joint de soudure.

Une baisse de la dureté a été observée dans la région de soudure. Cet adoucissement était plus évident dans la zone affectée par la chaleur, ZAT, sur le côté d'avance des soudures qui correspondait à l'emplacement d'échec dans les essais de traction.

Les faibles vitesses de soudage engendrent une durée d'exposition thermique plus grande et favorisent les transformations métallurgiques dans la zone de soudure (ZS), ce qui a entraîné une faible résistance à la traction et un allongement plus grand.

## 5. Bibliographie

[1] S. ZIMMER, «contribution à l'industrialisation du soudage par friction malaxage», *Ecole Nationale Supérieure D'art et Métiers*, Paris, 2009.

[2] E. HERSENT, «modélisation intégrée de la précipitation pour le soudage par friction malaxage d'alliages d'aluminium à durcissement structural », *Ecole Nationale Supérieure des Mines*, Saint-Etienne, 2010.

[3] A. BASTIER, «modélisation du soudage d'alliages d'aluminium par friction malaxage », *Ecole Polytechnique*, 2006.

[4] T. LEJOLU, «étude de l'influence des défauts de soudage sur le comportement plastique et la durée de vie en fatigue de soudures par friction malaxage d'un alliage Al-Cu-Li », *Ecole Nationale Supérieure des Mines*, Paris Tech, 2011.