

Influence de la profondeur de pénétration de l'épaulement de L'outil sur la qualité du soudage FSW

Imane ELMEGUENNI^{1*}, Mohamed MAZARI¹

Laboratoire de Matériaux et systèmes Réactifs

¹Département de Génie mécanique, Faculté de Technologie. Université Djillali Liabes de Sidi Bel abbes. BP 89 ITMA Sidi Bel Abbes.

*auteur correspondant : imaneelmeguenni@gmail.com

Résumé - Le soudage par friction malaxage (friction stir welding, FSW) est un procédé d'assemblage réalisé à l'état solide qui est de plus en plus utilisé dans l'industrie de la fabrication, et ce à travers le monde industrialisé. Bien présent dans les domaines de la construction navale et ferroviaire, le FSW présente de nombreux atouts qui en font une technologie potentiellement avantageuse dans l'assemblage de structure aéronautiques et automobile. Dans cette étude, nous présentons une méthode qui permet de contribuer à l'évaluation de l'effort axial, lorsque les capteurs de force sont inexistant, par qui était l'influence de la profondeur de pénétration de l'épaulement de l'outil sur la qualité du soudage FSW.

Mots Clés : soudage, FSW, effort axial, profondeur, pénétration de l'épaulement.

Nomenclature

FSW Friction stir welding.

Fz Effort axial de soudage (KN).

P_{ép} Profondeur de pénétration de l'épaulement.

N Vitesse de rotation (tr/min).
mécaniquement

Va Vitesse d'avance (mm /min).

Mz Couple de soudage (N.m).

MB Métal de base

α Angle d'inclinaison de l'axe de rotation

ZAT Zone affecté thermiquement.

ZATM Zone affecté thermo

K Le rapport des vitesses (mm/tr).

1. Introduction

Les procédés d'assemblages permanents entrent dans la fabrication de 80% des produits manufacturés. Le soudage est présent dans une grande majorité de ces procédés. Il permet l'obtention d'une liaison complète entre deux pièces. Le soudage par friction malaxage FSW est considéré comme le développement le plus intéressant des dernières vingt années, dans le domaine de l'assemblage. C'est une technique nouvelle et unique qui consiste à souder les pièces à l'état solide c'est-à-dire sans atteindre la température de fusion. Ceci lui permet de souder tout les métaux, même ceux réputés difficilement soudables avec les procédés conventionnels. D'une façon permanente et sans métal d'apport, le FSW consiste à brasser et mélanger localement les matériaux des deux tôles à assembler à l'aide d'un outil constitué d'un pion (pin) et d'un épaulement (shoulder). Le rôle de cet outil est de provoquer la déformation plastique de la matière ainsi que son échauffement par frottement. Ce type de soudage consomme beaucoup moins d'énergie, comme il ne nécessite pas un gaz de couverture. Ces avantages lui confèrent l'appellation d'être une technologie verte. Il a été breveté par Mr. Wayne –Thomas à l'institut de soudure

« TWI ».Cambridge-UK- Cette technique est utilisée pour souder des pièces homogènes et hétérogènes tel que les alliages d'aluminium, de cuivre et les alliages de magnésium.

Le principe de FSW consiste à malaxer et plastifier la matière par l'intermédiaire de la chaleur fournie par le frottement entre l'outil et les pièces à souder. Ces dernières sont maintenues rigidement pour éliminer tout mouvement lors du malaxage [1]. Notre étude a été effectuée sur une fraiseuse conventionnelle (Figure 2). La réalisation d'une opération de soudage par friction-malaxage consiste à brider sur une enclume les deux tôles mises bout à bout afin d'éviter tout mouvement relatif de celles-ci au cours du soudage (figure3).

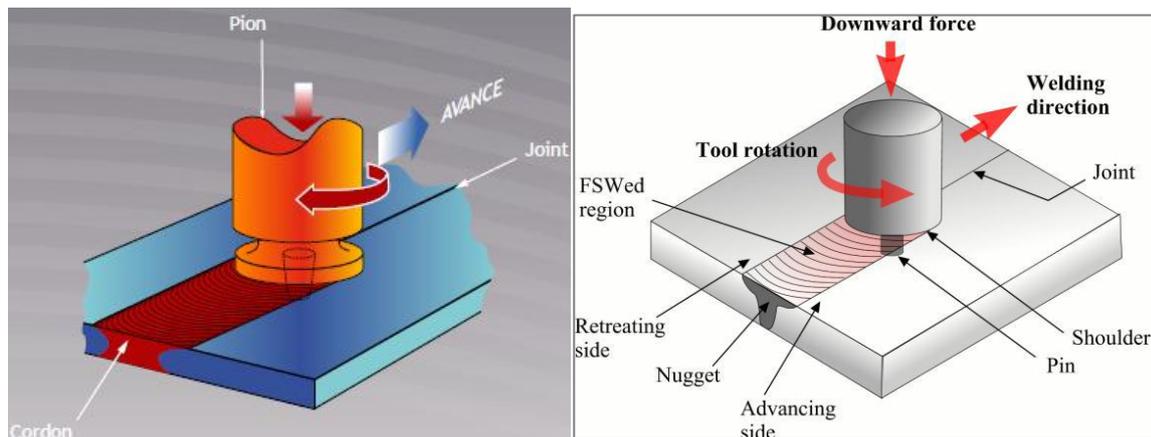


Figure 1: Soudage par FSW (Friction Stir Welding) [2].



Figure 2 : Machine de fraiseuse utilisée pour le soudage FSW [3].

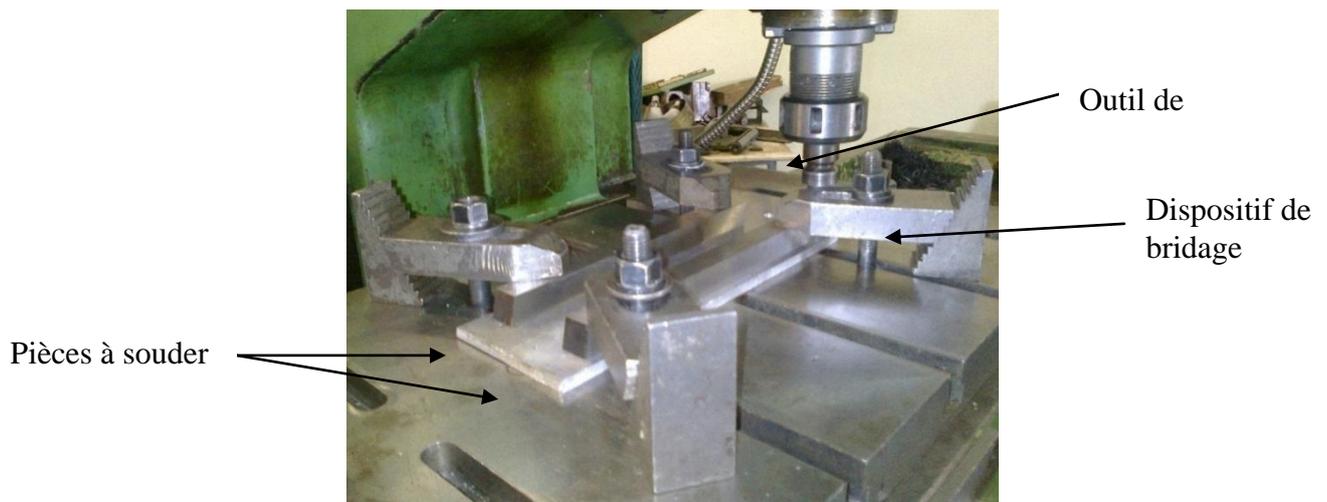


Figure 3 : Système de bridage.

2. Etude expérimentale

En l'absence d'un capteur de force sur notre fraiseuse, nous vous présentons, dans ce travail une méthode permettant de contribuer à maîtriser l'effort axial par l'influence de la profondeur de pénétration de l'épaulement de l'outil sur la qualité du soudage FSW.

Notre étude est basée sur la variation de la profondeur de pénétration de l'épaulement sachant que chaque profondeur correspond à un effort donné. L'interprétation de la qualité de soudure obtenue par des observations microscopiques sera essentiellement concentrée sur ce paramètre puisque les autres (vitesse de rotation, vitesse d'avance etc.) sont considérés connus sur le matériau utilisé [3].

3. Matériaux utilisés

Le matériau étudié est un alliage d'Aluminium de la série 5000 du type 5083-H111. Cet alliage à durcissement par écrouissage nous permettra de comprendre les différents phénomènes qui se produisent durant le soudage sans faire intervenir la précipitation. Les tableaux 1 et 2 montrent tous les éléments d'alliage du 5083 et leur proportion en masse.

Tableau 1 : Propriétés mécaniques de l'alliage d'aluminium 5083-H111 [4].

Rm(Mpa)	A(%)	E(Mpa)	R _{e0.2} [Mpa]
236	16.5	71008	155

Tableau 2 : Composition chimique de l'alliage d'aluminium 5083-H111 [4].

%Masse	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Autres (chacune)	Al
Minimum		-	-	0,40	4,00	0,05	-	-	-	-
Maximum	0,40	0,40	0,10	1,00	4,90	0,25	0,25	0,15	0,15	Reste

3.1 Outil et paramètres utilisés

L'outil utilisé est un outil avec pion tronconique fileté (figure 4) réalisé avec un acier 42CD4 désigné selon AFNOR ou par DIN: 42 Cr Mo4. Le 42CD4 est un acier de traitement à multiples applications avec une grande résistance mécanique et une haute ténacité. Les paramètres utilisés dans notre étude sont : $V_a=100\text{mm/min}$; $N=1000\text{tr/min}$; $\alpha=2^\circ$ et la profondeur de pénétration de l'épaulement de l'outil qui remplacera l'effort axial (objet de cette étude).



Figure 4 : Outil à pion tronconique fileté utilisé pour le soudage FSW.

Tableau 3 : Composition chimique de l'acier 42CD4 [5].

Elément	C(%)	Si	Mn	Cr	P	S	C	Mo
42CD4	1,9 - 2,2	0,40 Maxi	0,60 - 0,90	0,90 - 1,20	< 0,035	< 0,035	0,38 - 0,45	0,15 - 0,30

Tableau 4 : Propriétés mécaniques de l'acier 42CD4 [5].

E(Mpa)	Rm (N/mm ²)	A(%)	Re (N/mm ²)
210000	750/1300	10-14	500 /900

Pour assurer la formation du cordon de soudage, des efforts sont imposés par l'outil sur la matière. L'application d'un effort axial suivant l'axe de l'outil a pour but : [6]

2. De maintenir l'épaulement en contact avec la surface des pièces afin :

- d'assurer un apport de chaleur par frottement ;
- de contenir le matériau malaxé sous l'outil et d'assurer ainsi la compacité du joint ;
- d'assurer la profondeur de pénétration de l'outil.

Donc, si l'effort appliqué est important, il génère un excès de métal le long du cordon de soudure (des bavures excessives) ; par contre, s'il est insuffisant, il engendre un manque de consolidation de la matière malaxée à l'arrière du joint (défaut tunnel) [7] et puisque nous avons assimilé l'effort de forgeage F à la profondeur de pénétration de l'épaulement $P_{ép}$, nous avons considéré ce qui suit (tableau 5) :

Tableau 5: correspondances entre les profondeurs et les efforts.

Profondeurs $P_{ép}$ (mm)	Efforts correspondant F (N)
0.10	F1
0.15	F2
0.20	F3
0.25	F4
0.30	F5
0.35	F6
0.40	F7

4. Résultats et discussions



Figure 5 : Soudure obtenue avec les 3 profondeurs (0,30-0,35-0,40).

Observations au microscope optique

Pour examiner la structure de l'éprouvette et relever tous les défauts existants, nous avons procédé à des observations au microscope optique. Ces observations ont été effectuées au Laboratoire des Matériaux et Systèmes réactifs de l'université de Sidi Bel Abbes avec un microscope type Optika- B350, trin-oculaire avec un grossissement max. X1000



6 : Echantillon d'alliage d'aluminium 5083H111 pour $P_{\text{épaulement}}=0,25\text{mm}$ (Essai N°4).

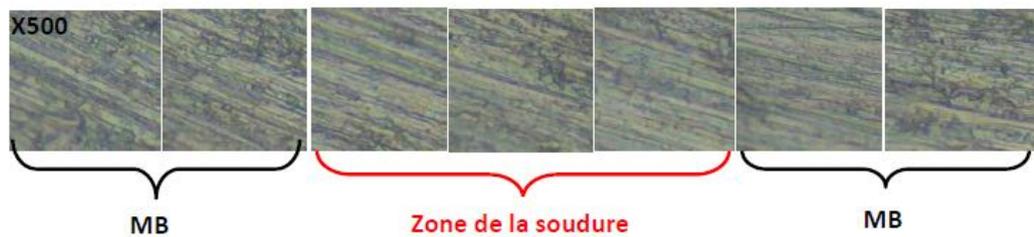


Figure 7 : La microstructure d'échantillon Al 5083H111 pour $P_{\text{épaulement}}=0,30\text{mm}$.

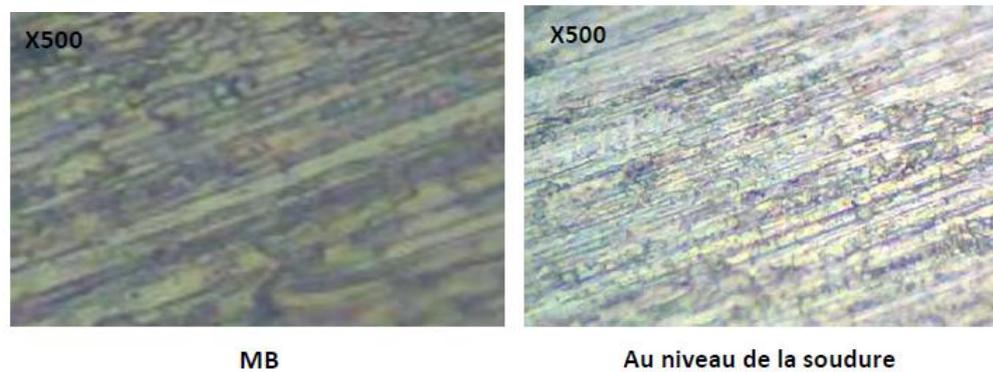


Figure 8 : Echantillon d'Al 5083H111 de $P_{\text{épaulement}}=0,30\text{mm}$ (Essai N°5).



Figure 9 : Echantillon d'alliage d'aluminium 5083H111 de $P_{\text{épaulement}}=0,35\text{mm}$ (Essai N°6).

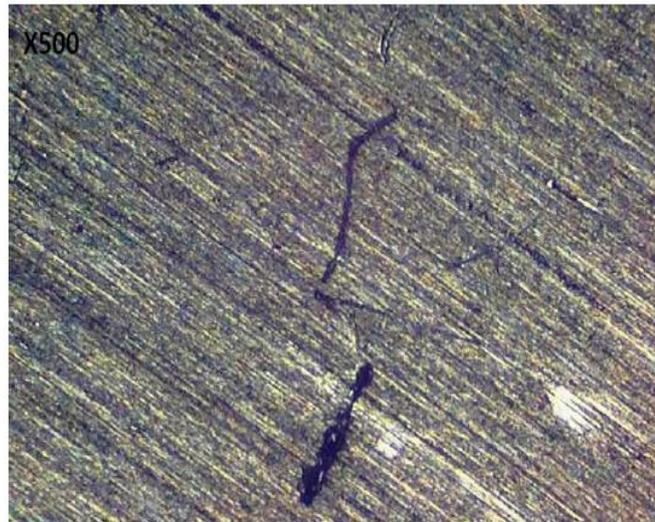


Figure 10 : Echantillon d'alliage d'aluminium 5083H11 de P_{ép}=0,40mm (Essai N°7).

D'après les résultats obtenues, nous constatons que :

Les profondeurs de pénétration de l'épaulement $P_{ép}=0.1\text{mm}$, 0.15mm , 0.2mm , 0.25mm et 0.35mm sont insuffisantes et n'assurent pas un bon malaxage de la matière ;

La profondeur de pénétration de l'épaulement $P_{ép}=0.40\text{mm}$ génère un flux de matière important sous l'épaulement et l'expulsion de la matière apparaît sur les bords du cordon.

Donc, d'après les résultats obtenus dans cette étude, seule la profondeur de pénétration de l'épaulement $P_{ép}=0.3\text{mm}$ donne une soudure sans défauts (figure 5).

Les défauts observés par le microscope optique confirment celle vues à l'œil nu mais avec plus de précision et de clarté. La soudure sans présence de défaut correspond bien à la profondeur de pénétration de l'épaulement $P_{ép}=0.30\text{mm}$.

En général, une bonne qualité de soudure est obtenue avec un ensemble de paramètres opératoires (N, Va, $P_{ép}$, Fet C (couple)).

Dans notre étude nous avons utilisé uniquement 3 paramètres: $N=1000\text{tr/min}$, $Va=100\text{mm/min}$, $P_{ép}=0,3\text{mm}$ vu que nous ne disposons pas de matériel pour le reste.

Nous pouvons peut affirmer, avec beaucoup de réserves quant à la résistance, que la soudabilité de l'alliage 5083 H111, autour du point de fonctionnement ($N=1000\text{tr/mn}$, $Va=100\text{m/mn}$, $P_{ép}=0.30\text{mm}$), permet d'avoir des cordons de soudure sans micro défauts.

5. Conclusion

Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis de comprendre, qu'en l'absence de capteur de forces, il est possible d'utiliser la profondeur de pénétration de l'épaulement comme paramètre de soudage en remplacement de l'effort de forgeage qui joue un rôle primordial sur la qualité de soudage FSW.

La qualité ainsi que la résistance de la soudure nécessite d'autres analyses monotones et cycliques telles que les mesures de dureté, les essais de traction et de rupture par fatigue. Ces essais feront l'objet d'une étude ultérieure.

Tableau 6 : Récapitulatif des essais réalisés avec différentes profondeur et observations.

Essais	Matériaux	Outil	N (tr/min)	Va (mm/min)	P _{ép} (mm)	Observations
01	AL 5083-H111	Pion tronconique fileté	1000	100	0,1	Bonne qualité de soudure à été obtenus mais présence un effet tunnel après polissage.
			$\alpha=2^\circ$			
02			1000	100	0,15	Etat de surface acceptable mais un effet tunnel repéré après polissage.
			$\alpha=2^\circ$			
03			1000	100	0,2	La qualité de soudure obtenue acceptable mais il ya eu quelque effet tunnel qui ont été repéré après polissage.
			$\alpha=2^\circ$			
04			1000	100	0,25	La qualité de soudure était bonne mais un effet tunnel à repéré après polissage.
			$\alpha=2^\circ$			
05			1000	100	0,3	Une bonne qualité de soudure à été obtenue et l'état de surface c'est amélioré par rapport aux autres opérations et pas d'effet tunnel.
			$\alpha=2^\circ$			
06			1000	100	0,35	Qualité de soudure acceptable mais apparition d'effet tunnel après polissage.
			$\alpha=2^\circ$			
07			1000	100	0,40	Bonne état de surface mais un peu d'expulsion de la matière apparaitre sur les bords du cordon, et pas d'effet tunnel après polissage.
			$\alpha=2^\circ$			

Références

2. A. Robineau, Goussain -JC, S. Bozzi, A.L. Etter, I. Drouelle, T. Baudin, Le soudage par Friction Malaxage(ou FSW): un nouveau procédé pour l'obtention de soudures bimétalliques, MATERIAUX 2006 13-17 Novembre 2006 – Dijon, France.
3. Cours, Techniques avancée de la mise en forme, nouveaux développement.
4. M. Bouchelarm, Influence de la géométrie de l'outil sur la qualité de joint soudé par FSW (étude expérimentale), mémoire de master soutenu en 2013 à l'Université Djillali-Liabes de Sidi-Bel-Abbes.

5. A. Ghazi, Caractérisation mécanique des assemblages soudés par friction malaxage (étude expérimentale et numérique), thèse soutenue en 2012 à l'Université Djillali-Liabes de Sidi-Bel-Abbes.
6. M. F. Zaeh, D. Eireiner, L. Papadakis, 2004, Friction Stir Welding with modern milling machines. Requirements, Approach and Application, 5th International FSW Symposium, Metz, France.
7. S. Zimmer, contribution à l'industrialisation du soudage par friction malaxage, thèse soutenue en 2009 à L'Ecole Nationale D'arts Et Métiers.
S. Zimmer, W. Chapeau, B. Da Costa, X. Stassart, N. Ben Slima Ayadi, L. Langlois, J.C. Goussain, B. de Meester, L. D'Alvise, Manuel Pédagogique, Le soudage par friction malaxage, friction stir welding, ISBN 978-2-900781-67-8.