



## Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers ParisTech researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <http://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/8761>

### To cite this version :

Nejah JEMAL, Laurent LANGLOIS, Sandra ZIMMER-CHEVRET, Jonathan HATSCH, Gabriel ABBA, Régis BIGOT - Influence de l'orientation de l'outil sur les forces générées en FSW - In: 5ième Congrès International Conception et Modélisation des Systèmes Mécaniques CMSM'2013, Tunisia, 2013-03-25 - CMSM'2013 - 2013

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [archiveouverte@ensam.eu](mailto:archiveouverte@ensam.eu)

# Influence de l'orientation de l'outil sur les forces générées en FSW

Nejah JEMAL 1<sup>a</sup>, Laurent LANGLOIS 2<sup>a</sup>, Sandra ZIMMER 3<sup>a</sup>, Jonathan HATSCH 4<sup>b</sup>,  
Gabriel ABBA 5<sup>a</sup>, Régis BIGOT 6<sup>a</sup>.

<sup>a</sup>Laboratoire de Conception Fabrication et Commande (LCFC), EA 4495, Arts et Métiers ParisTech, 4  
Rue Augustin Fresnel 57070 METZ, FRANCE, nejah.jemal@ensam.eu, laurent.langlois@ensam.eu.

<sup>b</sup>Institut de soudure, Centre FSW, 2-4 Rue Pilâtre de Rozier, 57420 GOIN, FRANCE.

**Résumé** – Friction Stir Welding (FSW) est considéré comme un procédé de soudage à l'état solide très demandé pour souder des alliages d'aluminium. Au cours des dernières années, les chercheurs se sont orientés vers l'industrialisation de ce procédé. L'utilisation des robots en FSW offre une grande souplesse pour ce procédé. En effet, cet équipement va permettre de réaliser plusieurs types de soudure en permettant d'élargir la gamme d'épaisseur et de la géométrie soudable. Cependant, les forces appliquées à l'outil pendant le soudage par friction malaxage génèrent des déformations élastiques de la structure du robot. Ces déviations affectent la trajectoire du robot ainsi que l'orientation de l'outil par rapport aux pièces à souder, ce qui provoque des défauts au sein du joint de soudure.

Pour robotiser le FSW, le véritable défi est d'intégrer la déviation de l'outil et la dynamique des efforts dans le système de contrôle et la commande du procédé. Il est important alors de prendre en considération l'effet de l'orientation de l'outil sur les forces générées lors du FSW.

Cette étude analyse l'effet de l'orientation de l'outil sur les forces générées en soudage par friction malaxage. Nous discuterons également l'influence de l'orientation de l'outil sur la qualité de la soudure.

**Mots clés** : FSW/orientation de l'outil/force longitudinale et transversale

**Abstract** – Friction Stir Welding (FSW) is classified as a solid state joining process which is widely used to weld aluminium alloys. In the last few years, researchers focused on the industrialization of this process.

The use of robots in FSW offers a large flexibility in this process. In fact, various applications can be done with this kind of equipment allowing a wide range of material thickness and the welding of curved joint. However, the forces applied to the tool during friction stir welding generate elastic deformation of the robot's structure. These deviations affect robot trajectories and tool orientation which cause defects on friction stir weld.

For robotize FSW, the real challenge is to integrate tool deviation and dynamic force in controlling and regulating commands. So, it is important to consider the effect of tool orientation on forces generated during FSW.

The present study analyzes the effect of tool orientation on the forces generated by the friction stir welding. We will also discuss the influence of tool orientation on weld quality.

**Key words** : FSW/tool orientation / longitudinal and transversal force

## 1 Introduction

Le soudage par friction malaxage connu par l'abréviation (FSW) est considéré comme un procédé de soudage mécanique. En effet, la soudure est obtenue par l'action mécanique d'un outil sur les pièces à souder. L'interaction outil/matière est gouvernée par le frottement et la déformation plastique de la matière. Ces deux phénomènes sont engendrés par un mouvement combiné de rotation et d'avance de l'outil à une température au dessous du point de fusion des métaux [1]. En conséquence, ce procédé a immédiatement intéressé les utilisateurs d'alliages légers car, sans passer par la fusion, il permet le soudage d'alliages à haute résistance, jusque là peu utilisables en raison de leur soudabilité difficile avec les procédés traditionnels.

La simplicité de la mise en œuvre de ce procédé cache derrière elle plusieurs phénomènes physiques compliqués. Ces phénomènes physiques sont liés aux choix des paramètres opératoires du procédé. Les paramètres opératoires du FSW sont nombreux. En FSW, les efforts appliqués sur l'outil peuvent provoquer des déformations élastiques de la structure de la machine. Dans ce cas, la phase de soudage peut s'effectuer avec un ou plusieurs déviations de l'outil. Ces derniers provoquent des défauts et des irrégularités au sein du cordon.

Le but de ce travail est d'analyser les efforts produits au cours du soudage FSW lors des déviations angulaires possibles de l'axe de l'outil par rapport au plan de joint.

## 2 Définitions des angles de l'outil

L'orientation de l'outil par rapport à un repère fixe lié au plan de joint des pièces à souder est définie par deux angles :

- Un angle tilt  $\varphi$  appelé aussi angle de soudage orienté dans la direction de soudage (figure 1), cette orientation est définie dans le plan de joint. L'angle tilt joue un rôle principal dans le procédé. Les études menées par Hua-Bin Chen *et al.* [2] ont prouvé que le choix de l'angle de soudage a un effet déterminant sur la tenue mécanique du joint de soudure. L'angle tilt le plus couramment utilisé est compris entre  $1^\circ$  et  $3^\circ$ . Au-delà de cet intervalle, son effet peut être néfaste sur la qualité de la soudure.

- Un angle d'orientation  $\Psi$  défini par l'angle que fait l'axe de l'outil avec la verticale dans un plan perpendiculaire au plan de joint des pièces à souder. Il peut être orienté vers le côté recul (où le sens de la vitesse de rotation s'oppose à celui de la vitesse d'avance) ou vers le côté avance (où le sens de rotation de l'outil coïncide avec celui de la vitesse

de soudage). En règle générale, cet angle, peu étudié dans la littérature, est pris nul.

La figure présente la définition de ces angles :

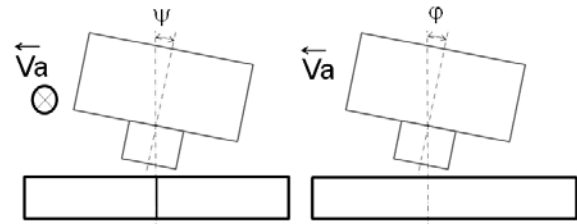


Figure 1. Angles de l'outil FSW

## 3 Présentation des essais

La robotisation du FSW présente aujourd'hui une solution idéale pour son industrialisation. Pour réussir ce challenge, il faut maîtriser les efforts générés lors des différentes phases du procédé et assurer la commande des paramètres opératoires [3] au cours du soudage.

Pour déterminer l'influence de l'orientation de l'outil sur les efforts de soudage, une campagne d'essais a été menée. Les paramètres principaux de conduite du procédé utilisés sont ceux d'un point central déterminé lors d'une autre campagne d'essais pour la recherche d'un domaine de soudabilité.

Les valeurs de ce point sont : une vitesse de rotation de 1100 tr/min, une vitesse d'avance égale à 650 mm/min et un effort de forgeage égale à 10 kN.

Les variations des angles de l'outil pour chaque essai sont représentées dans le tableau 1.

Les essais sont effectués selon un cycle de soudage bien défini. Si les angles pitch et roll sont invariants au cours de l'essai, alors le soudage s'effectue sur la totalité de la longueur de 350 mm. Dans le cas où on a une variation de l'un de ces angles, le passage d'une valeur d'angle à une autre s'effectue sur une distance de 100 mm comme l'indique le tableau 1. La variation de l'angle roll est considérée positive orientée vers le côté avance du cordon.

Tableau 1. Conditions des essais pour l'étude de l'influence de l'orientation de l'outil en FSW

Essais	Angle pitch[°]	Angle roll[°]	cycle
<b>Variation de l'angle pitch</b>			
Essai1.1	2,5	0	350
Essai2.1	3,5	0	350
Essai3.1	2,5-3,5	0	125-100-125
Essai3.1	3,5-2,5	0	125-100-125
<b>Variation de l'angle Roll</b>			
Essai4.1	3,5	2	350
Essai5.1	3,5	0-2	125-100-125
Essai6.1	3,5	2-0	125-100-125

Ces essais sont réalisés sur la machine MTS de l'institut de soudure en France avec un outil cylindrique comportant un filetage au niveau du pion. Les plaques soudées sont en aluminium 6082-T651 de 6mm d'épaisseur. Dans ce qui suit, les composantes du torseur mécanique appliqué à l'outil sont représentées dans un repère lié à l'outil.

## 4 Résultats et interprétations

Les essais réalisés avec une variation de l'angle tilt montrent une remarquable influence sur les efforts appliqués à l'outil.

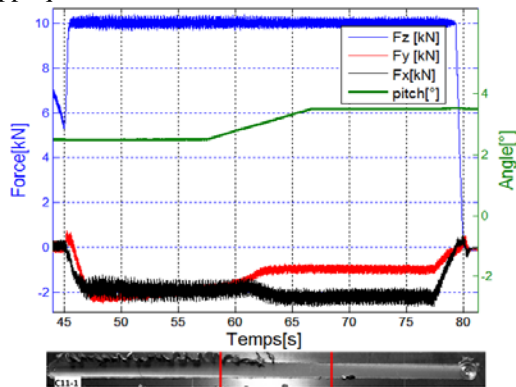


Figure 2. Essai avec une variation de l'angle tilt

La zone d'accélération montre, sur la figure 2, une atténuation progressive du flash. Ce passage d'un angle tilt 2,5 à 3,5° contribue à l'augmentation de la moyenne absolue de l'effort Fx (de 1,7 kN à 2,11 kN) et la diminution de celle de l'effort transversal Fy (de 1,8 kN à 0,9 kN). Des variations inverses sont enregistrées dans le cas d'une décélération donc un passage d'un angle 3,5° à 2,5°. L'augmentation de l'angle tilt avec un contrôle en effort (Fz maintenu égal à 10kN) induit à la diminution de la pénétration. En passant d'un angle 2,5° à 3,5°, la pénétration de l'outil dans la matière diminue donc nous obtenons moins de flash.

Pour les essais avec un changement de l'angle roll au cours de soudage, nous avons tracés les efforts appliqués sur l'outil.

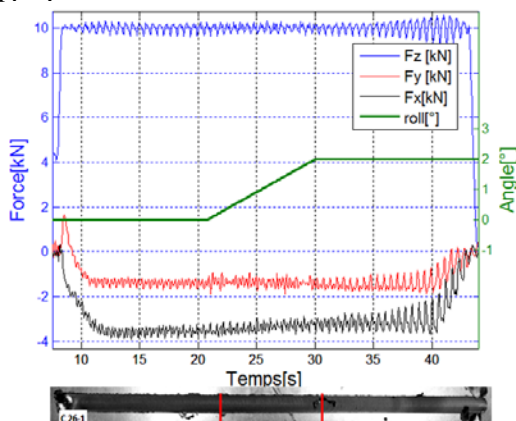


Figure 3. Essai avec une variation de l'angle roll

Les essais menés dans cette campagne montrent que l'effet de la variation de l'angle roll reste très réduit sur les efforts engendrés. Un passage d'un angle 0 à un angle +2 présenté dans la figure 3 provoque une légère augmentation de l'effort Fy et une faible diminution de l'effort Fx.

Dans le cas d'une décélération, on observe le phénomène inverse.

Nous remarquons lors de ces essais que l'outil est sollicité aux mêmes grandeurs d'efforts. Cette variation d'angle roll n'introduit pas alors une grande influence sur les efforts appliqués par la matière sur l'outil. De la même façon, cette observation est traduite sur le cordon FSW. En effet, nous obtenons dans le cas de cette variation un cordon continu où il est difficile d'observer sur la surface de la soudure le passage entre les deux valeurs de l'angle roll. Nous observons quand même la naissance d'un faible flash du côté recul lorsqu'on soude avec un angle roll positif. Cette présence du flash s'ajoute au flash habituel du côté avance. Sous cette configuration, la matière s'échappe plus facilement sous l'épaule du côté avance.

## 5 Conclusions

En conclusion, les essais réalisés dans ce travail mettent en évidence l'importance de l'orientation de l'outil dans le procédé de soudage par friction malaxage. De ce fait, l'effort de transversal Fy présente une forte sensibilité vis-à-vis l'angle tilt. L'augmentation de l'angle tilt dans la marge étudiée est accompagnée par une augmentation de l'effort longitudinal et une diminution de l'effort transversal. Les observations des cordons réalisés avec différentes orientations montrent que la quantité de flash poussée par l'outil peut être atténuée en choisissant des angles bien appropriés.

## Bibliographie

- [1] R.S. Mishra, Z.Y. Ma, Friction Stir Welding and Processing Materials Science and Engineering, R50 (2005) 1-78.
- [2] Hua-Bin Chen, Keng Yan, Tao Lin, Shan-Ben Chen, Cheng-Yu Jiang, Yong Zhao, The investigation of typical welding defects for 5456 aluminum alloy friction stir welds. Materials Science and Engineering A 433 (2006), pp.64-69.
- [3] H. Takahara, M. Tsujikawa, S.W. Chung, Y. Okawa, S. Oki and K. Higashi, Optimum Processing and Tool Controls for Three-Dimensional Friction Stir Welding. Materials Transactions, Vol. 49, No. 8 (2008), pp.1911-1914.