

FRICION STIR WELDING: INNOVATIONS

PROJET TAP2 'CASSTIR'

Fin 2006 a démarré le projet CASSTIR ayant pour titre 'Assemblage innovant de structures exigeantes en aluminium par le procédé de soudage par friction malaxage'. Cette recherche, menée en collaboration par l'IBS, CEWAC et les universités de Louvain-la-Neuve (UCL) et Gent, est réalisée pour le compte de la Politique Scientifique Fédérale dans le cadre du 'Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique'. Cet article reprend les résultats les plus importants obtenus jusqu'en avril 2009 ainsi que les actions à mener pour la fin 2009.

ir. Wim Van Haver, IWE - Centre de Recherche de l'IBS
(Traduction: M.C. Ritzen – IBS)

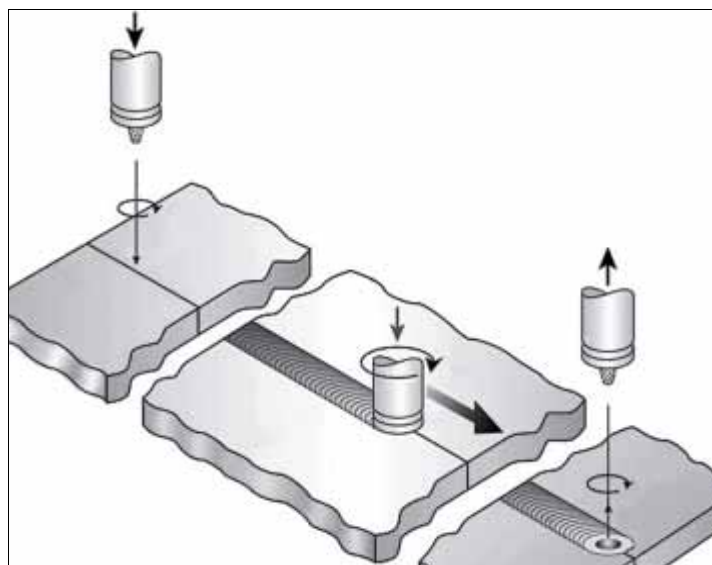


Figure 1 : Présentation schématique du procédé friction stir welding (source: ISO 25239-1)

FRICION STIR WELDING

La technique friction stir welding (FSW) a été mise au point au début des années '90 et brevetée par The Welding Institute en Grande-Bretagne. Ce brevet a cours jusqu'en 2014.

Dans le procédé FSW, un outil en rotation constitué d'un pion et d'un épaulement est appuyé sur le matériau jusqu'à ce que l'épaulement atteigne la surface de celui-ci. Par friction, le matériau est chauffé jusqu'à des températures où il arrive à un état "pâteux". Quand l'outil est déplacé vers l'avant, le matériau est poussé de l'avant vers l'arrière du pion; l'assemblage est ainsi réalisé à l'état solide (Fig. 1). Les alliages d'aluminium ne pouvant être soudés avec le procédé TIG ou MIG, tels que les alliages sensibles à la fissuration à chaud (alliages AlCu ou AlZnMgCu), peuvent être soudés par FSW.

Les principaux avantages "technologiques" de ce procédé appliqué aux alliages d'aluminium sont:

- Pas de fissures à chaud ou porosités
 - Pas de gaz de protection ou métal d'apport
 - Préparation limitée du joint (uniquement dégraissage)
 - Peu d'adoucissement ou de déformation
 - Complètement automatique – qualité constante de la soudure
 - Productivité élevée
 - Grande plage d'épaisseurs à souder en une seule passe (0,3 mm à 75 mm)
 - Surface plane de la soudure sans surépaisseur
- En Belgique, CEWAC (Liège) ainsi

que UCL-PRM (Louvain-la-Neuve) disposent des appareils et licences nécessaires pour utiliser ce procédé de soudage à des fins de recherche. Actuellement, la société Sapa RC Profiles (Ghlin) est la seule entreprise belge à appliquer le friction stir welding en production.

Au niveau international, le FSW connaît surtout des applications dans la construction aérienne et spatiale, le transport et l'automobile, et la construction navale. Généralement, dans ces secteurs, la combinaison de la productivité et de la qualité de la soudure, la faible déformation et le maintien de la résistance dans la zone soudée sont particulièrement

appréciés. Il est important de signaler que depuis l'été 2009, une série de normes spécifiques au FSW des alliages d'aluminium est disponible (EN ISO 25239-1 à 5).

CASSTIR: GENERALITES

Ce projet de recherche, financé à 100 % par la Politique scientifique fédérale, s'inscrit dans le cadre de l'appel TAP2 et a été approuvé comme projet "clean technologies" pour la période de décembre 2006 à décembre 2009.

Il faut également insister sur le fait qu'en plus des avantages cités ci-dessus, le procédé FSW se fait

également remarquer du point de vue de la sécurité et de l'écologique. Quand on compare cette technique à un procédé de soudage classique pour l'aluminium comme le soudage MIG ou TIG, on constate (Figure 2):

- pas de fumées, ozone ou projections;
- pas de rayonnement UV ou champs électromagnétiques;
- pas de risque d'électrocution;
- pas de déchets;
- pas de gaz de protection;
- faible consommation en énergie (99 % de moins que le soudage par résistance selon Mazda);
- possibilité d'avoir des constructions plus légères par une optimisation du matériau (soudage d'alliages non soudables par fusion!) et une perte moindre en résistance.

L'IBS coordonne ce projet qui voit la collaboration de l'IBS, UGent, UCL-PRM et CEWAC. Au total, 14 entreprises et institutions belges veillent à la bonne marche de CASSTIR; c'est le comité d'observation.

CASSTIR: APPLICATIONS

Au début du projet, trois applications ont été définies par les partenaires et le comité d'observation (Fig. 3):

- Application 1: soudage bout à bout friction stir de profilés extrudés creux 6082-T6 pour le secteur du transport: par ex. construction de trains, constructions navales, plancher de chargement pour remorques, ...
- L'objectif est de réaliser de longues structures avec une productivité élevée (objectif: vitesse de soudage de 2 m/min) et des propriétés mécaniques et résistance à la fatigue plus élevées

Figure 2: Série de problèmes qui s'appliquent moins ou pas du tout au FSW qu'on peut appeler, avec raisons, une technologie écologique



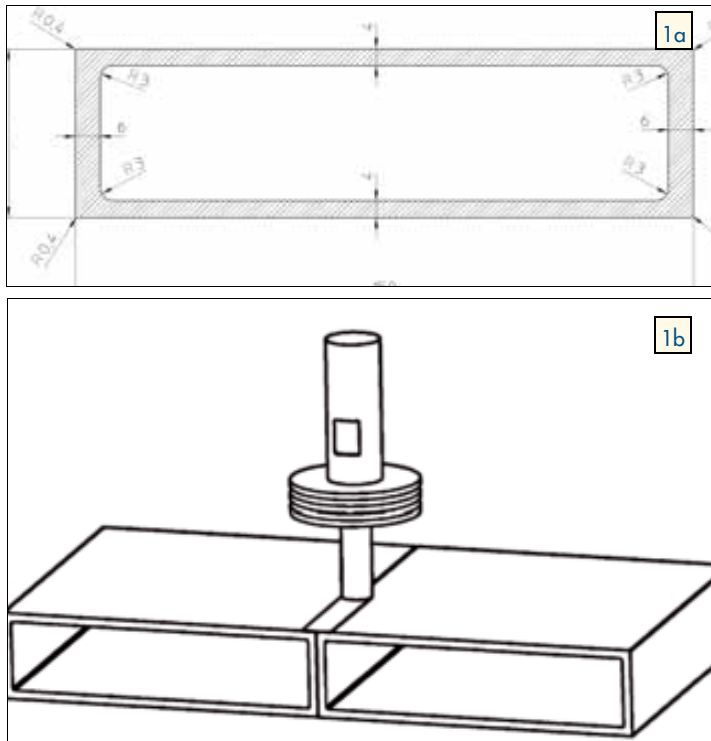


Figure 3: Principe des trois applications pour le friction stir welding étudiées au sein du projet CASSTIR.

Application 1 - a: géométrie du profilé; **b:** soudage friction stir des profilés

qu'avec les procédés de soudage conventionnels.

- Application 2: soudage par recouvrement friction stir de tôles épaisses 2124-T4/T851 pour des applications dans l'aviation.

L'alliage 2124 est un alliage AlCuMg non soudable par fusion qui est, entre autres, utilisés pour des éléments d'une aile d'avion. Habituellement, on part d'une tôle de forte épaisseur dans laquelle on fraise la forme désirée avec pour conséquence une forte perte en métal de base. L'objectif est donc de réaliser, à l'aide de 2 soudures friction stir à recouvrement, une bride relativement effilée de 30 mm de hauteur afin d'économiser 40-50 % de matériau par rapport à l'usinage d'un bloc massif.

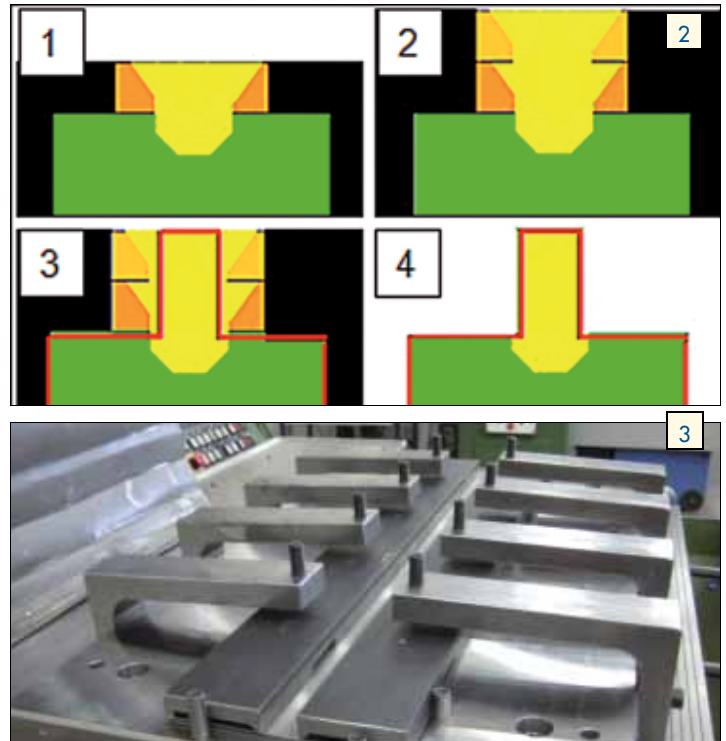
- Application 3: soudage bout à bout friction stir de tôles minces 5754-T111 pour des applications dans le secteur de l'aviation et de l'automobile.

Le soudage FSW de tôles d'épaisseur inférieure à 1 mm a été peu étudié jusqu'à présent, bien que le friction stir welding puisse être une technique appropriée pour réaliser des soudures de bonne qualité dans des alliages d'aluminium de faible épaisseur – surtout en ce qui concerne les alliages non soudables par fusion. Dans ce cas, on a choisi un alliage d'aluminium conventionnel afin d'une part de montrer les possibilités pratiques du procédé et d'autre part de pouvoir faire une comparaison avec les procédés de soudage conventionnels.

APPLICATION 1

Il existe deux façons possibles d'appliquer le friction stir welding:

- contrôle du déplacement: la position de l'outil en rotation par rapport à un point de référence est



Application 2: réalisation d'une bride de 30 mm de hauteur avec deux soudures à recouvrement dans un matériau non soudable par fusion **Application 3:** montage expérimental pour le FSW de 0,8 mm 5754-H111

maintenue constante durant le procédé;

- contrôle de la force: la force d'appui de l'outil en rotation est maintenue constante durant le procédé.

Les deux façons ont leurs avantages et leurs domaines d'application mais, dans la pratique, la plupart des recherches ont été menées jusqu'à présent en mode "contrôle du déplacement". Pour la réalisation de longues soudures, le FSW en mode "contrôle de la force" présente d'importants avantages étant donné qu'il est moins sensible à des variations dimensionnelles (par ex. par des tensions propres) le long du matériau à souder.

Au cours du projet, CEWAC a optimisé les paramètres de soudage permettant d'atteindre une vitesse de 2 m/min tant en mode "contrôle du déplacement" qu'en mode "contrôle de la force". La paroi verticale a été amincie jusque 4 mm

(par souci d'économie en poids de la structure) et a été soudée sur le côté avec un rayon d'arrondi de 1 mm ce qui n'est pas une sinécure car aucun métal ne peut être ajouté avec le FSW. On a cependant opté pour un rayon d'arrondi relativement grand car ceci permet une meilleure productivité lors de l'extrusion des profilés. Ces soudures seront soumises à un large contrôle à la fatigue à l'IBS assisté par CEWAC. En plus de l'optimisation des paramètres, l'UCL s'est surtout axée sur l'examen des tensions résiduelles au moyen de la méthode "crack compliance". L'UCL a transmis les données expérimentales au sous-traitant CENAERO qui s'occupe de la modélisation du procédé. Sur base de la recherche sur la corrosion réalisée par UGent, on a pu constater que la zone de la soudure possède des propriétés à la corrosion acceptables. Il faut noter que les partenaires ont

Figure 4a: Montage d'essais spécifiques pour l'application 1: dispositif pour l'essai de pliage en quatre points (simulation d'une charge répartie uniformément sur un plancher de chargement) à l'IBS



Figure 4b: Montage d'essais spécifiques pour l'application 1: dispositif pour l'essai d'immersion (simulation d'exposition aux sels du dessous du plancher de chargement) à l'UGent



mené la recherche en fonction de l'application visée, par ex. pour un plancher de chargement soudé d'un seul côté avec le FSW. Dans ce cadre, des essais spécifiques peuvent être réalisés, tels que des essais de pliage en quatre points statiques et dynamiques et des essais d'immersion (Fig. 4).

Dans la deuxième moitié de 2009, on étudiera un procédé alternatif pour ce cas: le soudage au laser hybride. Cette étude sera réalisée par le Lasercentrum Vlaanderen de VITO dans le cadre du projet de recherche collective wallonne "ARCLASER" qui a été approuvé par la DG06 pour la période mi-2009 à mi-2011.

APPLICATION 2

Dans la deuxième moitié de 2008, CEWAC et l'IBS ont démarré la recherche sur les soudures par recouvrement des tôles 2124. On a procédé comme suit (voir également Fig. 3 – application 2):

- Une tôle de 17 mm a été soudée par recouvrement sur une tôle de 44 mm d'épaisseur.
- La surface a été fraisée jusqu'à l'obtention d'une bride de 15 mm de hauteur.
- Sur cette tôle, une deuxième tôle de 17 mm d'épaisseur a été soudée par recouvrement de façon à obtenir une bride de 30 mm de hauteur au total après usinage.

On a d'abord tenté de souder le matériau 2124 à l'état métallurgique T851. Il a été impossible de souder à des vitesses supérieures à 5 mm/min: au-dessus de cette vitesse de soudage, le risque de casser le pion était trop grand. On a donc décidé d'amener le matériau à l'état plus doux T4 par recuit de mise en solution et par vieillissement naturel. En première instance, on a pu atteindre des vitesses allant jusqu'à 60 mm/min (en d'autres termes, un facteur d'augmentation de 12!). La Figure 5 présente une coupe transversale de la soudure et des coupes microscopiques.

Etant donné la meilleure soudabilité friction stir à l'état T4, on étudie actuellement différentes géométries d'outils afin d'améliorer la productivité. L'objectif est d'appliquer un traitement thermique adéquat après soudage et d'atteindre un optimum en résistance, résistance à la rupture et résistance à la corrosion.

Le reste de la recherche sera constitué de recherche sur la corrosion (y compris corrosion sous tension), ainsi que de mécanique de la rupture et de micro-essais de traction. La modélisation va se concentrer sur l'estimation des déformations après la mise sur mesure des brides au moyen d'un traitement de fraisage final.

Du point de vue écologique, on fera une comparaison avec le fraisage conventionnel de telles pièces.

APPLICATION 3

L'UCL, IBS et UGent ont mené une large recherche sur le FSW de tôles minces (5754-H1111 tôle de 0,8 mm d'épaisseur), qui est généralement appelé μ FSW ou micro-FSW – un sujet fort peu étudié au niveau international jusqu'à présent. Les résultats en ce qui concerne la métallographie, les essais mécaniques et la corrosion ont été décrits dans un article présenté durant le dernier FSW Symposium à Awaji (Japon). Il a été montré que les soudures peuvent être réalisées avec une productivité acceptable (jusqu'à 1 m/min) avec des outils non conventionnels. De plus, on a observé que des phénomènes insignifiants pour des matériaux de forte épaisseur tels que l'amincissement par la pression de la bride, ont un effet significatif sur les propriétés mécaniques des soudures de faible épaisseur. CEWAC a soudé ce matériau avec d'autres procédés de soudage ce qui permettra d'établir une comparaison avec le friction stir welding. L'UCL a appliqué la méthode "crack compliance" pour la recherche des tensions résiduelles sur les soudures friction stir et fera de même sur les soudures par fusion (TIG, MIG, CMT, soudage au laser). On pourra ainsi vérifier si des tensions résiduelles plus faibles apparaissent dans le FSW par rapport aux procédés de soudage classiques.

L'aspect de la soudure, les propriétés à la corrosion et la productivité sont meilleurs avec le μ FSW qu'avec le procédé TIG et MIG. Cependant, il y a clairement une grande différence du point de vue de la productivité avec le soudage au laser (Fig. 6). Il faut bien noter que, dans le cas actuel, le soudage au laser apparaît comme étant la technique préférentielle mais ceci ne convient naturellement pas pour les alliages non soudables par fusion. De plus, à l'UCL, la vitesse de rotation était limitée à 4000 rpm – des vitesses de rotation plus élevées permettent probablement des vitesses de soudage plus élevées. C'est pourquoi, CEWAC et IBS, dans le cadre du projet Microsoud (FEDER) durant la période 2008-2013, vont acheter une machine μ FSW qui permettra d'atteindre des vitesses de rotation supérieures à 4000 rpm.

INTERESSE?

Il est encore possible pour les entreprises de participer sans frais à ce projet subsidié à 100%. CASSTIR se termine fin 2009. A la fin du projet, les partenaires organiseront une journée d'étude avec des présentations de chercheurs et entreprises (inter)nationales. Une annonce de cet événement paraîtra sur les sites Internet des partenaires. Des contacts peuvent naturellement être pris avec l'auteur de cet article. □

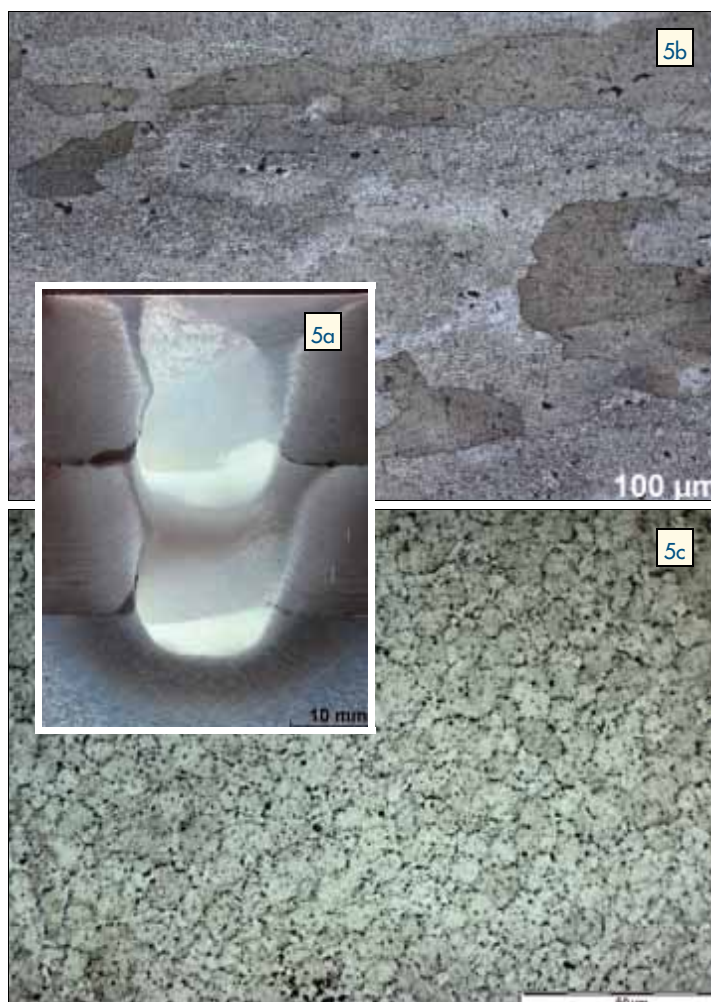


Figure 5: Métallographie dans le cadre de l'application 2

5a: macrographie de 2 soudures par recouvrement dans le matériau 2124-T4 réalisées en 60 mm/min à 300 rpm; la force de pression est de l'ordre de 60 kN

5b: détail du métal de base 2124-T4 5c: détail du centre de la soudure (agrandissement 5 fois plus que le métal de base)

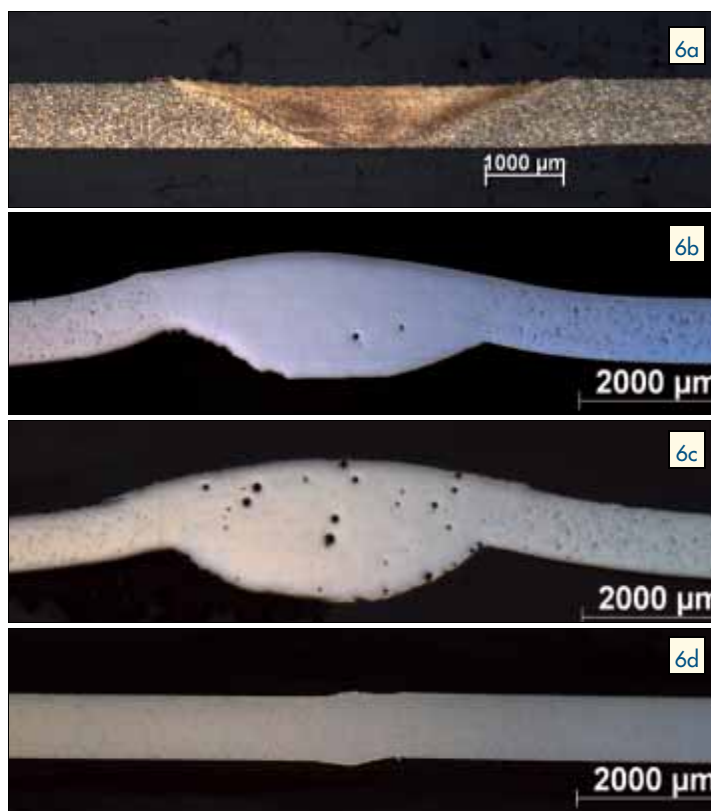


Figure 6: Coupes métallographiques des soudures sur tôle de 0,8 mm d'épaisseur 5754-H111, réalisées avec quatre procédés différents. 6a: FSW – 1 m/min à 4000 rpm 6b: MIG pulsé – 0,96 m/min à 60 A (fil d'apport 5356) 6c: TIG AC – 0,35 m/min à 69 A (fil d'apport 5754) 6d: soudage au laser Nd:YAG – 12 m/min à 3 kW