

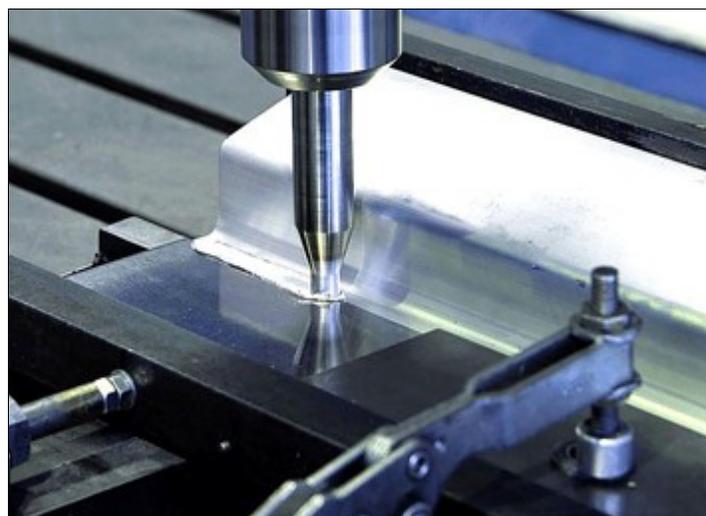
# SOUDAGE PAR FRICTION-MALAXAGE DES ALLIAGES D'ALUMINIUM

## PROJET CASSTIR CLOTURE PAR UN APRES-MIDI D'ETUDE

Au début 2010, le projet CASSTIR (titre complet 'Assemblage innovant de structures exigeantes en aluminium par le procédé de soudage par friction malaxage') a pris fin.

Ce projet a été subsidié par la Politique Scientifique Fédérale, dans le cadre du 'Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique'. Ce projet a été clôturé par un après-midi d'étude tenu le 8 juin 2010 à Mons et complété par une visite de Sapa RC Profiles à Ghlin.

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



**Figure 1:** FSW à Sapa RC Profiles - 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 échauffé 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

## INTRODUCTION

Le soudage est généralement considéré comme une étape critique majeure dans la production d'une structure métallique. La rentabilité doit être associée à des propriétés optimales d'assemblage. En outre, et à juste titre, une attention de plus en plus grande est accordée à l'impact environnemental des procédés de soudage. Le soudage par friction-malaxage ('Friction stir welding' ou FSW), inventé et breveté par 'The Welding Institute' (Royaume-Uni) au début des années 1990, est une technique d'assemblage qui fournit une solution à ces préoccupations, parfaitement adaptée pour le soudage des alliages d'aluminium (**figure 1**). Cette méthode d'assemblage a déjà trouvé de nombreuses

applications à l'étranger et a démontré ses capacités dans des domaines parfois très pointus, tels que l'aérospatiale et l'aviation, les domaines du transport, le secteur nucléaire et l'industrie automobile. A travers le monde, beaucoup de recherches sont menées sur cette technique d'assemblage très prometteuse. En raison de l'investissement assez important et des coûts de licence, un seul fabricant belge (Sapa RC Profiles à Ghlin) a investi dans cette technique à ce jour. Il y a cependant de nombreuses applications dans le secteur belge de la mise en œuvre de l'aluminium où le FSW peut être considéré comme étant très prometteur: des pièces de suspension de véhicule, des structures d'ailes pour l'aviation, des structures pour les wagons de chemin de fer, des

soudures longitudinales de tubes pour les industries chimiques.

## CASSTIR

Le projet de 3 ans CASSTIR (débuté fin 2006), financé par la Politique Scientifique Fédérale, est le résultat d'une étroite collaboration entre l'IBS, UCL, CEWAC et UGent. Le projet visait à stimuler et à introduire la technique innovante par FSW appliquée aux alliages d'aluminium en Belgique, mais aussi à obtenir une connaissance approfondie de ce procédé de soudage par l'étude des caractéristiques des joints de friction-malaxage et ce, dans les moindres détails. Le projet CASSTIR avait pour objectif de renforcer le potentiel scientifique et technique des entreprises belges actives dans le domaine de l'aluminium, ce qui

leur permettra de faire face à la concurrence internationale avec une compétitivité accrue.

## RESULTATS

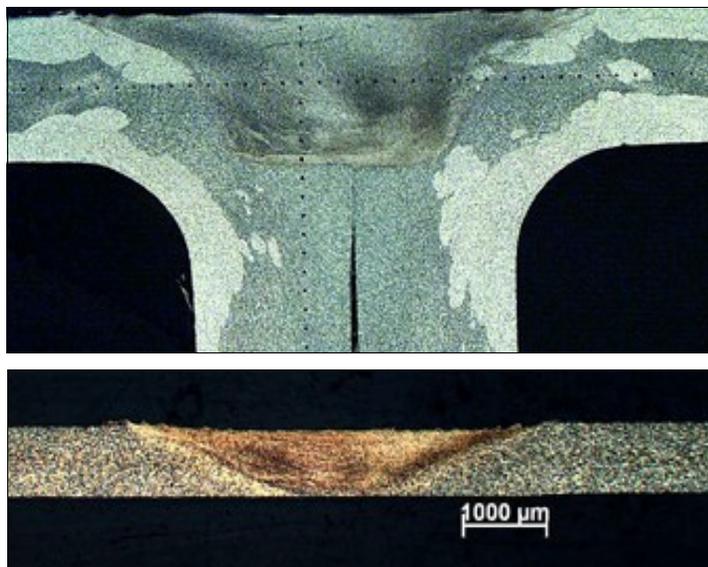
Dans la première phase du projet, trois applications à la fois techniquement pointues et pertinentes d'un point de vue industriel ont été sélectionnées pour être étudiées dans le projet CASSTIR (**figure 2**), sous l'impulsion du Comité de Suivi:

- Application 1: FSW de profilés extrudés creux en 6082-T6 pour le transport;
- Application 2: soudage par recouvrement par friction-malaxage sur tôles en 2124 pour le secteur aérospatial;
- Application 3: soudage bout à bout par friction-malaxage de tôles minces en 5754-H111 pour l'aérospatiale et l'automobile.

Ces applications représentent un large spectre en termes de géométrie d'assemblage, d'épaisseur de matériau de base et de composition de l'alliage.

## APPLICATION 1

L'application 1 concernait l'assemblage bout à bout de profils creux rectangulaires relativement peu compliqués. Après l'optimisation des paramètres initiaux sur profil plat, le soudage par friction-malaxage a été appliqué au profil creux avec une épaisseur de paroi verticale (qui agit comme un support reprenant les efforts générés par le FSW) de plus en plus petite, en s'efforçant de trouver un optimum entre la soudabilité par friction-



**Figure 2:** Trois applications ont été étudiées dans CASSTIR. A gauche en haut: application 1; à droite: application 2; à gauche en dessous: application 3



COMPARAISON ENERGETIQUE DE FSW ET HLW		
	FSW	HLW
WELDING SPEED [MM/MIN]	2000	1800
TOTAL REQUIRED POWER [KW]	9,5	48,8
TOTAL ENERGY PER CM WELD [KJ/CM]	2,9	16,3
POWER LOSS DUE TO MACHINE MOVEMENT [%]	75,7	6,1
LASER WALL PLUG EFFICIENCY [%]	/	10
THERMAL EFFICIENCY [%]	95	80
HEAT INPUT [KJ/CM]	0,66	1,65

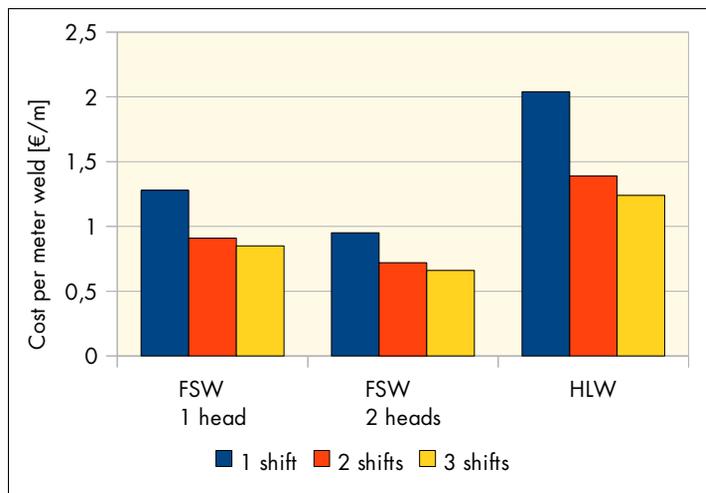


Figure 3: comparaison entre FSW et HLW sur le plan de la consommation en énergie (à gauche) et le coût par mètre de soudure (à droite)

malaxage, la facilité d'extrusion de la matière première et la limitation en poids. Cela a finalement abouti à la réalisation de profils d'extrusion soudés par friction-malaxage de 4 m de long, avec une épaisseur de paroi verticale sensiblement réduite et une vitesse de soudage de 2 m/min. Le soudage par friction-malaxage peut être appliqué soit en contrôle de position, soit en mode de contrôle de force. Pour la réalisation de joints soudés de grande longueur, où la variation d'épaisseur et de hauteur le long du joint soudé devient possible, seul le FSW piloté en force a abouti à des soudures sans défaut; par conséquent c'est l'approche privilégiée pour ce type d'application. Des soudures optimisées de soudage par friction-malaxage de l'application 1 ont été soumises à des procédures d'essai élaborées par l'IBS et UGent, y compris les essais dynamiques de pliage sur 4 points et les essais de corrosion sous atmosphère saline. Le FSW a été comparé au soudage laser hybride (HLW) en termes de coût et de consommation d'énergie (figure 3).

l'utilisation de matière pour la production de pièces aéronautiques fortement usinées dans un alliage d'aluminium de haute résistance non soudable par fusion (application 2). Le but de cette étude était de souder à deux reprises des plats dans une configuration par recouvrement sur une embase épaisse plutôt que de l'usinier hors masse, ce qui réduirait les pertes en matière due à l'usinage de 40 à 50%. Par conséquent, dans ce cas, le FSW a été utilisé en tant que technique alternative et complémentaire à l'usinage – une approche encore peu connue et peu documentée. Le défi principal de cette recherche pour réaliser des soudures sans défauts avec une productivité raisonnable, était de trouver un optimum entre l'état thermique initial du matériau et les paramètres de soudage par friction-malaxage incluant la géométrie d'outil et le traitement thermique après soudage. Les pièces résultantes ont été soumises à des essais métallographiques, de micro dureté, des essais mécaniques de la rupture et des essais de corrosion.

tôles minces (< 1 mm d'épaisseur). C'est un sujet qui est toujours en phase de développement au niveau international. Au sein de CASSTIR, des joints de bonne qualité ont été produits avec le FSW à une vitesse acceptable de soudure (jusqu'à 1 m/min) en employant des outils de géométries 'non conventionnelles'. Des phénomènes qui ne sont pas importants pour le soudage d'alliages épais, tel que la perte d'épaisseur due au passage de l'outil sous l'effort de forgeage, peuvent avoir un impact significatif sur les propriétés mécaniques de matériau de faible épaisseur. En plus du FSW, des procédés par fusion conventionnels (TIG et MIG) et d'autres plus avancés (soudage par laser et soudage MIG CMT) ont été appliqués, ce qui a permis de comparer tous les procédés en termes d'économie et d'efficacité énergétique (figure 4).

Cette technique a été appliquée aux soudures choisies – réalisées aussi bien par FSW que par les méthodes alternatives citées ci-dessus – pour les applications 1 et 3. Le sous-traitant CENAERO a développé des modèles des assemblages par friction-malaxage pour les applications 1 et 2, qui ont été validés par des résultats expérimentaux tels que des mesures de la température. De manière générale, les résultats expérimentaux et la simulation ont montré une bonne corrélation, ce qui indique que la tâche très délicate de modéliser le procédé de FSW est aujourd'hui de mieux en mieux connue. L'intérêt spécifique de la modélisation est de prévoir des paramètres optimaux pour le soudage pour une application donnée, plutôt que de se baser sur l'optimisation de paramètres de soudage par tâtonnements. La comparaison économique du FSW avec d'autres procédés de soudage, effectuée pour les applications 1 et 3, a montré que le FSW peut être très rentable (figures 3 et 4 à droite), bien qu'un coût important de licence soit associé au procédé. Cependant, il est clair que le FSW est très intéressant lorsque des joints de haute qualité et avec un bon aspect

APPLICATION 2

Une étude approfondie a été consacrée à l'optimisation de

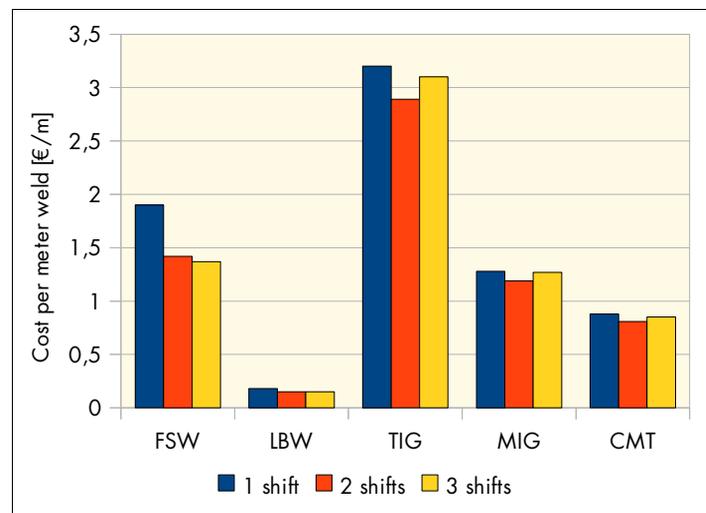
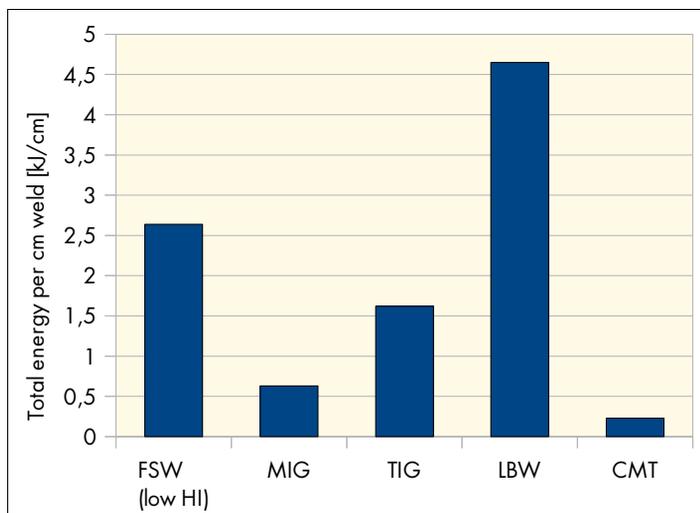
APPLICATION 3

L'application 3 concernait le soudage par friction-malaxage de

RENTABLE

Le projet CASSTIR a permis au partenaire de recherche UCL d'acquiescer encore plus d'expérience dans les mesures de contraintes résiduelles au moyen de la méthode 'crack compliance', une technique relativement rapide et économe comparée à d'autres méthodes.

Figure 4: comparaison entre FSW et d'autres procédés de soudage sur le plan de la consommation en énergie (à gauche) et le coût par mètre de soudure (à droite)





Marc Ryckeboer a présenté les arguments qui ont poussé sa société Sapa RC Profiles à lancer une ligne de production FSW en 2006

visuel sont exigés, pour des produits réalisés en grandes séries et/ou des longueurs de soudure importantes. Chaque procédé de soudage a son propre domaine d'application, et cela vaut certainement aussi pour la technique de soudage par friction-malaxage. Par exemple, le FSW utilisé pour l'application 3 a donné de bons résultats en termes de propriétés dans le joint soudé. Cependant, comme l'alliage 5754 a une bonne soudabilité par fusion, d'autres procédés de soudage peuvent être considérés comme plus rentables pour l'application donnée. D'autre part, cette recherche a également montré qu'une fraiseuse conventionnelle adaptée pour le FSW peut effectuer avec succès le soudage des alliages d'aluminium (qui peuvent ne pas être soudables par fusion) pour des épaisseurs inférieures à 5 millimètres.

## SUR ET ECOLOGIQUE

Sur base de ce rapport, on peut déclarer que le FSW est une technologie sûre et écologique: il n'y a pas besoin de produits chimiques, de gaz de protection ou d'autres consommables, et le procédé ne génère pas de rayonnement UV, de projections ni de fumée de soudage. De plus, les courants électriques utilisés et les champs magnétiques en résultant sont bien plus faibles en comparaison avec les procédés conventionnels. En outre, le procédé FSW offre un haut rendement énergétique, pour autant que la machine de FSW soit bien dimensionnée pour l'application en question.

## CONCLUSIONS DU PROJET

Ce projet, coordonné par l'Institut Belge de la Soudure, fut une réussite grâce à la combinaison du savoir-faire et de l'équipement expérimental des différents partenaires de recherches: soudage par FSW des alliages d'aluminium par UCL et CEWAC, métallurgie du soudage et caractérisation par l'IBS,

propriétés de corrosion par UGent et modélisation par le sous-traitant CENAERO. Il est clair que la technique de soudage par friction-malaxage est fortement innovante, étant donné ses caractéristiques uniques, et un intérêt significatif dans cette technologie est bien présent en Belgique. Ceci se révèle par la participation très active du Comité de Suivi de CASSTIR composé de 17 membres différents (membres industriels, représentants d'établissements publics, d'associations et de centres de recherches). Les applications choisies permettaient de démontrer entièrement les possibilités de la technique dans des secteurs qui, parfois, étaient à peine documentés auparavant. Ceci a permis aux partenaires de recherches d'entreprendre un grand nombre d'actions de valorisation, allant de la vulgarisation de présentations et d'articles, jusqu'à la contribution à des congrès et à des journaux renommés au niveau international. Il est clair que l'innovation est le maître mot pour des entreprises dans le secteur métallurgique afin de maintenir voire d'augmenter plus encore leurs activités en Belgique. Les avantages offerts par le soudage par friction-malaxage convaincront certainement de nombreuses entreprises orientées vers l'innovation à investir dans les cinq prochaines années dans le soudage par FSW. Une



Johan Norström de ESAB Suède a présenté les produits de sa société, un des fournisseurs d'appareillage FSW

forte croissance est particulièrement prévue à partir de 2015, quand le deuxième brevet de TWI expirera. Dans le cadre de la mise en application de la technique dans la production, ces entreprises peuvent compter sur l'expertise recueillie au sein du projet CASSTIR par les partenaires de recherches: même si un nombre limité d'applications a été étudié au sein de CASSTIR, les résultats de ce projet peuvent être extrapolés à d'autres produits, et la plupart des directives de bonne pratique qui peuvent être dérivées implicitement de la recherche restent valables pour d'autres applications. En attendant, les partenaires de recherches tâchent de continuer à développer leur compétence dans le domaine du soudage par friction-malaxage (entre autres le micro-soudage par FSW, le soudage FSW par points et le soudage FSW des aciers) à travers des projets communs pour l'industrie et des projets de recherche publics.

## APRES-MIDI D'ETUDE

En clôture du projet CASSTIR, un après-midi d'étude consacré au FSW des alliages d'aluminium a été organisé, le 8 juin 2010, par les partenaires de recherche. L'objectif de cet après-midi était de donner un aperçu concret sur toutes les facettes du procédé de soudage par friction-malaxage à l'aide du résumé du

projet et d'exposés d'orateurs invités:

- Possibilités techniques;
- Applications concrètes;
- Appareillage de soudage industriel;
- Comparaison avec d'autres procédés du point de vue économique et écologique;
- Démonstration pratique du procédé FSW en production.

Après la présentation du FSW en général et des principaux résultats obtenus dans CASSTIR par le coordinateur du projet (Wim Van Haver de l'IBS), les orateurs invités ont présenté divers aspects spécifiques au soudage par friction-malaxage. Marc Ryckeboer a présenté les arguments qui ont poussé sa société Sapa RC Profiles à lancer une ligne de production FSW en 2006. Cette technique permet de créer des produits extra larges et extra longs: profilé à profilé, tôle à tôle, profilé à tôle, différents alliages, formes complexes, ... Le FSW permet de réaliser des soudures étanches et résistant à la corrosion. Les soudures sont plates et droites et ne nécessitent souvent aucun traitement supplémentaire. Enfin, le FSW est un procédé sûr et écologique. Ensuite, Sandra Chevret de l'Institut de Soudure en France a expliqué la méthodologie expérimentale appliquée pour qualifier un robot équipé du FSW. Andy Norman de Corus RD&T (Pays-Bas) a présenté le statut et les perspectives d'avenir du FSW dans un secteur très exigeant, le secteur aéronautique. Enfin, Johan Norström de ESAB Suède a présenté les produits de sa société, un des fournisseurs d'appareillage FSW. Les participants ont terminé cet après-midi d'étude par une visite de Sapa RC Profiles à Ghlin dont la machine est présentée à la figure 6. Ils ont pu y voir une démonstration FSW et les facilités d'extrusion. □ Les entreprises intéressées par le FSW peuvent toujours prendre contact avec l'Institut Belge de la Soudure. Le rapport final de CASSTIR est d'ailleurs disponible gratuitement.

Figure 5: machine de soudage par friction-malaxage à Sapa RC Profiles à Ghlin

