

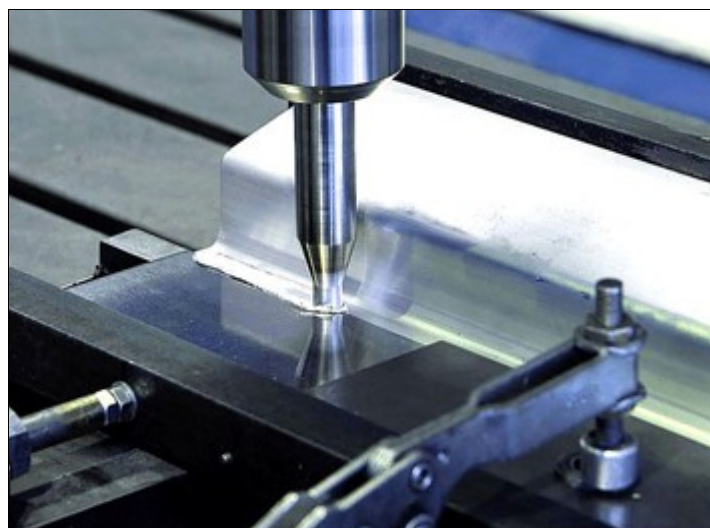
# FRICION STIR WELDING VAN ALUMINIUMLEGERINGEN

## PROJECT CASSTIR AFGESLOTEN MET STUDIENAMIDDAG

Begin 2010 liep het project CASSTIR (volledige titel: 'Innovatief verbinden van kritische aluminiumstructuren met de friction stir welding techniek') ten einde. Dit project werd gesubsidieerd door het Federaal Wetenschapsbeleid, binnen het 'Programma ter bevordering van de kennisoverdracht op strategisch belangrijke gebieden'. Naar aanleiding van het projecteinde werd op 8 juni 2010 een studienamiddag gehouden te Bergen, met aansluitend een bezoek aan Sapa RC Profiles te Ghlin.



Door ir. Wim Van Haver, IWE; Onderzoekscentrum van het BIL



**Figuur 1:** FSW bij Sapa RC Profiles - een roterend gereedschap, bestaande uit een 'pin' en een 'schouder' wordt in het goed ingeklemde te lassen materiaal geduwd. Door wrijvingswarmte wordt het materiaal in een zeer makkelijk plastisch te vervormen toestand gebracht, zónder smelt. Wanneer het gereedschap voortbewogen wordt, wordt materiaal van de voorzijde naar de achterzijde gedwongen, waarbij de verbinding op elk moment in vaste toestand gevormd wordt

## INLEIDING

Lassen wordt algemeen erkend als één van de meest kritische stappen in het productieproces van een metalen structuur. Rentabiliteit dient steeds gekoppeld te worden aan optimale las eigenschappen. Verder gaat er, met recht en reden, steeds meer aandacht uit naar de milieuvriendelijkheid van lasprocessen. Friction stir welding (FSW – ook nog soms aangeduid als 'wrijvingsroerlassen'), begin de jaren 1990 uitgevonden en gepatenteerd door The Welding Institute (UK), is een verbindingstechniek die een oplossing biedt voor deze bekommernissen. Bovendien is FSW perfect geschikt voor het lassen van aluminiumlegeringen (**zie**

**figuur 1**). Deze methode kent reeds talrijke toepassingen in het buitenland, en wordt in soms zeer kritische domeinen toegepast, zoals lucht- en ruimtevaart, massatransport, de nucleaire sector en de automobielsector. Wereldwijd wordt op grote schaal onderzoek gevoerd naar deze zeer veelbelovende verbindingstechniek. Door de relatief hoge investerings- en licentiekosten beschikt op dit moment slechts één Belgisch bedrijf (Sapa RC Profiles te Ghlin) over deze techniek. Er zijn nochtans talrijke toepassingen in de Belgische aluminiumverwerkende sector waarvoor FSW zeker veelbelovend kan geacht worden, zoals ophangingsonderdelen voor voertuigen, vleugelstructuren voor de luchtvaart, panelen voor trein-

wagens, langlassen van buizen voor de chemische industrie enz.

## CASSTIR

Het driejarig project CASSTIR (dat eind 2006 werd opgestart), gesubsidieerd door de Federale Overheidsdienst Wetenschapsbeleid, betreft een samenwerking tussen het BIL, UCL, CEWAC en UGent. Het project was erop gericht om in België het gebruik van de innovatieve FSW techniek toegepast op aluminiumlegeringen te stimuleren, alsook om diepgaande kennis te ontwikkelen door een gedetailleerde studie van de eigenschappen van friction stir gelaste verbindingen. Project CASSTIR had als doel de mogelijkheden van Belgische

aluminiumverwerkende bedrijven te versterken op wetenschappelijk en technisch vlak, wat hen toelaat om hun concurrentiepositie internationaal te versterken.

## RESULTATEN

In het beginstadium van het project werden drie technisch uitdagende en industrieel relevante toepassingen ter studie binnen project CASSTIR gekozen (**zie figuur 2**), op aangeven van het CASSTIR Opgvolgingscomité:

- Toepassing 1: friction stir stomplassen van 6082-T6 holle profielen voor de transportsector;
- Toepassing 2: friction stir overlappen van 2124 gewalste plaat voor de luchtvaart;
- Toepassing 3: friction stir stomplassen van dunne 5754-H111 plaat voor de luchtvaart en automobielsector.

Deze toepassingen omvatten een breed spectrum inzake lasgeometrie, basismateriaaldikte en legeringssamenstelling.

## TOEPASSING 1

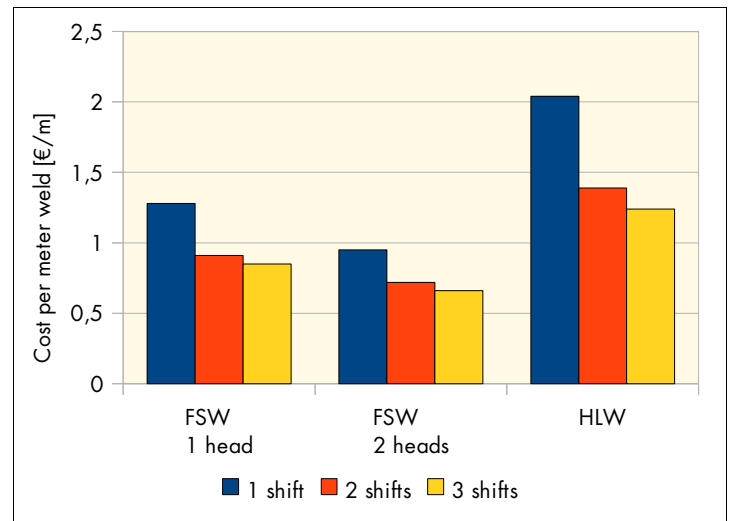
Toepassing 1 betrof het stomplassen van relatief eenvoudige, rechthoekige holle extrusieprofielen. Na de aftastende parameteroptimalisatie op vlakke profielen werd FSW toegepast op holle profielen met steeds verder verdunde verticale wanddikte (die als steun dient voor de hoge drukkracht tijdens het proces), teneinde een optimum te vinden tussen friction stir lasbaarheid, extrudeerbaarheid van het



**Figuur 2:** Drie toepassingen bestudeerd binnen CASSTIR – linksboven: toepassing 1; hieronder: toepassing 2, linksonder: toepassing 3



VERGELIJKING FSW EN 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



**Figuur 3:** Vergelijking tussen FSW en HLW op gebied van energieverbruik (links) en kosten per meter las (rechts)

basismateriaal en gewichtsbepaling. Dit resulteerde uiteindelijk in de realisatie van 4 meter lange friction stir gelaste extrusieprofielen met significant gereduceerde verticale wanddikte, gelast aan 2 m/min. FSW kan ofwel verplaatingsgestuurd, ofwel krachtgestuurd uitgevoerd worden. Voor de realisatie van grote laslengtes, waarbij dikte- of hoogtevariatie langsheen de las mogelijk wordt, bleek enkel krachtgestuurd FSW foutvrije lassen op te leveren. Dit is dus de te verkiezen aanpak voor dit type toepassing. Geoptimaliseerde friction stir lassen van toepassing 1 werden onderworpen aan beproevingsprocedures ontwikkeld door het BIL en UGent, zoals dynamische vierpuntsbuiging en dooizoutcorrosieproeven. FSW werd vergeleken met het hybride laserlassen (HLW) inzake kost en energieverbruik (zie figuur 3).

## TOEPASSING 2

Een uitgebreide studie werd gewijd aan de optimalisatie van het materiaalgebruik voor de productie van diepgemachioneerde luchtvaartonderdelen in een niet-smeltlasbare aluminiumlegering (toepassing 2). Het doel van deze studie betrof het

oplossen van flenzen in twee opeenvolgende laspassen op een dikke basisplaat, als alternatief voor het machineren van deze flenzen. Dit zou materiaalverliezen door machineren verminderen met 40-50%. In dit geval wordt FSW dus gebruikt als een "neat-net shape" proces, een aanpak die tot dusver nog relatief onbekend is en waarover weinig gepubliceerd werd. De belangrijkste uitdaging bij dit onderzoek om foutvrije lassen te verkrijgen met aanvaardbare productiviteit bestond erin om een optimum te vinden tussen de uitgangstoestand van het basismateriaal, de FSW-parameters (met inbegrip van toolgeometrie), en de warmtebehandeling na lassen. De resulterende flenzen werden onderworpen aan metallografie, microhardheidsonderzoek, breukmechanische beproeving en corrosieproeven.

## TOEPASSING 3

Toepassing 3 betrof FSW van dunne (dikte < 1 mm) plaat. Dit is een onderwerp dat zich internationaal nog in de ontwikkelingsfase bevindt. Binnen CASSTIR konden, met behulp van FSW, kwalitatieve lasverbindingen

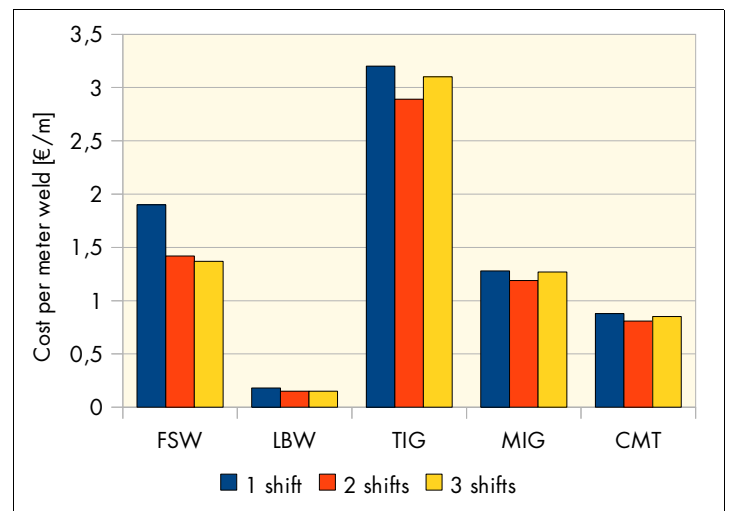
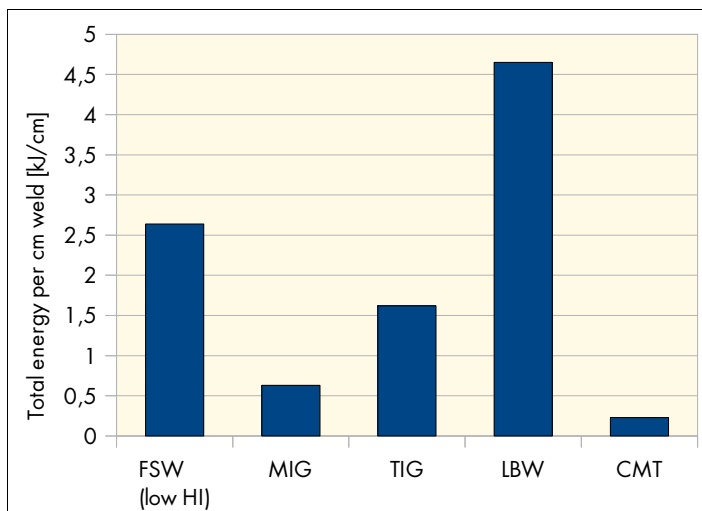
worden geproduceerd met een aanvaardbare lassnelheid (1 m/min), gebruik makend van "niet-conventionele" toolgeometrieën. Er werd vastgesteld dat fenomenen die bij legeringen met hogere dikte niet belangrijk zijn, zoals lokale vermindering van de sectie door de indruk van de tool, een significante invloed kunnen hebben op de mechanische eigenschappen van lagere materiaaldiktes. Naast FSW werden ook conventionele (TIG, MIG) en meer geavanceerde (laserlassen, Cold Metal Transfer) smeltlasprocessen toegepast, wat toeliet om alle processen onderling te vergelijken op economisch vlak en op gebied van energetisch rendement (zie figuur 4).

## KOSTENEFFICIËNT

Project CASSTIR liet de onderzoekspartner UCL toe om zich te bekwaamen inzake het meten van restspanningen met behulp van de "crack compliance" methode, een relatief vlotte en goedkope techniek in vergelijking met andere methodes. Deze techniek werd toegepast op geselecteerde lassen (zowel gerealiseerd met FSW als met andere lasprocessen) van

toepassingen 1 en 3. De onderaannemer CENAERO ontwikkelde friction stir modellen voor de toepassingen 1 en 2, die geëvalueerd werden tegen experimentele resultaten zoals temperatuursmetingen. Over het algemeen werd een goede overeenstemming gevonden tussen de experimentele gegevens en de simulaties, wat aangeeft dat de zeer uitdagende taak (die het modelleren van FSW is) in de juiste richting evolueert. Deze specifieke interesse in modellen bestaat erin om optimale lasparameters voor een gegeven toepassing te voorspellen, eerder dan deze door trial-and-error te bepalen. De vergelijking op economisch vlak van FSW met andere lasprocessen, uitgevoerd voor toepassingen 1 en 3, toonde aan dat FSW zeer kostenefficiënt kan zijn (zie rechtse figuur 3 en 4), zelfs al gaat de toepassing van het proces gepaard met een aanzienlijke licentiekost. Het is echter duidelijk dat FSW vooral interessant is wanneer lassen met hoge kwaliteit en goed visueel aspect worden vereist, voor producten die aanzienlijke seriegrootte en/of grote laslengtes gemeenschappelijk hebben. Elk lasproces heeft een eigen

**Figuur 4:** Vergelijking tussen FSW en andere lasprocessen op gebied van energieverbruik (links) en kosten per meter las (rechts)





Marc Ryckeboer leverde de argumenten aan waarom zijn bedrijf, Sapa RC Profiles, een FSW-productielijn opstartte in 2006

toepassingsdomein, en dit is zeker ook geldig voor de FSW techniek. Zo leverde bijvoorbeeld FSW bij toepassing 3 goede resultaten op het vlak van mechanische eigenschappen. Echter, aangezien legering 5754 een goede smeltbaarheid bezit, kunnen andere lasprocessen meer kostenefficiënt geacht worden voor de toepassing in kwestie. Anderzijds heeft dit onderzoek ook aangetoond dat een conventionele freesbank, aangepast voor FSW, succesvol (al dan niet smeltbare) aluminiumlegeringen met dikte kleiner dan 5 mm kan friction stir lassen.

## VEILIG EN MILIEUVRIENDELIJK

Op basis van de discussie opgenomen in het rapport, is het gerechtvaardigd te stellen dat FSW een veilige en milieuvriendelijke verbindingstechniek betreft. Er is geen nood aan chemische reinigingsmiddelen, beschermgassen of andere verbruiksmiddelen, het proces gaat niet gepaard met UV-straling, lassaarten, lasrook, hoge elektrische stromen of hoge elektromagnetische velden. Verder biedt het proces een hoog energetisch rendement wanneer een FSW-machine wordt gebruikt die aangepast is aan de toepassing in kwestie.

## PROJECTBESLUIT

Dit project, gecoördineerd door het BIL, was succesvol door de bundeling van kennis en experimentele apparatuur beschikbaar bij de verschillende onderzoekspartners, namelijk op het vlak van FSW van aluminiumlegeringen (UCL en CEWAC), lasmetallurgie en -karakterisatie (BIL), corrosie-eigenschappen (UGent) en modelleren (de onderaannemer CENAERO). Er is duidelijk gebleken dat de FSW-techniek hoogst innovatief mag genoemd worden, gezien de unieke eigenschappen ervan, en

deze techniek mag in België op een belangrijke interesse rekenen. Dit wordt weerspiegeld door de actieve betrokkenheid van het CASSTIR Opgvolgingscomité dat bestond uit 17 verschillende organisaties (industriële leden, vertegenwoordigers van publieke instellingen, koepelorganisaties en onderzoekscentra). De geselecteerde toepassingen lieten toe ten volle de mogelijkheden van de techniek aan te tonen in gebieden die tot dusver soms amper gedocumenteerd waren. Dit liet de onderzoekspartners toe om een groot aantal valorisatie-acties te ondernemen, gaande van populariserende presentaties en artikels, tot bijdragen aan internationaal vermaarde congressen en tijdschriften. Het is zonder meer duidelijk dat innovatie het sleutelwoord vormt voor bedrijven uit de metaalverwerkende sector om hun activiteiten in België te behouden, laat staan uit te breiden. De voordelen geboden door FSW zullen zeker meerdere innovatiegerichte bedrijven in de komende vijf jaar overtuigen om in deze techniek te investeren. Een grote groei wordt vooral verwacht vanaf 2015, wanneer het tweede TWI-patent verstrijkt. Bij de concrete toepassing van de techniek in productie kunnen deze bedrijven rekenen op de expertise van de onder-



Johan Norström van ESAB AB (Zweden) lichtte de productportfolio toe van zijn bedrijf, één van de leveranciers van FSW apparatuur

zoekspartners opgebouwd binnen CASSTIR. Ook al werd een beperkt aantal toepassingen bestudeerd binnen CASSTIR, toch kunnen de resultaten van het project worden geëxtrapoleerd naar andere producten. De meeste richtlijnen voor goede praktijk die impliciet uit het onderzoek kunnen afgeleid worden blijven geldig voor andere toepassingen. In de tussentijd streven de onderzoekspartners ernaar hun competentie op het vlak van FSW uit te breiden (vb micro-FSW, friction stir puntlassen, FSW van staal) door middel van industriële of door de overheden gesubsidieerde onderzoeksprojecten.

## STUDIENAMIDDAG

Naar aanleiding van het einde van project CASSTIR werd op 8 juni 2010 een studienamiddag over FSW van aluminiumlegeringen georganiseerd door de projectpartners. Het doel was om, op basis van de projectsamenvatting en bijdragen van uitgenodigde sprekers de aanwezigen concrete voeling te laten krijgen met het friction stir welding proces in al zijn facetten:

- technische mogelijkheden,
- concrete toepassingen,
- industriële lasapparatuur,
- vergelijking met andere procédés inzake economie en

milieuvriendelijkheid,

- praktische demonstratie van het FSW-proces in een productieomgeving.

Na de presentatie van FSW in het algemeen en de voornaamste resultaten behaald binnen CASSTIR door de projectcoördinator (Wim Van Haver van het BIL), lichtten de uitgenodigde sprekers een aantal specifieke aspecten toe van friction stir welding. Marc Ryckeboer leverde de argumenten aan waarom zijn bedrijf, Sapa RC Profiles, een FSW-productielijn opstartte in 2006. Deze techniek laat immers toe om extra-brede en extra-lange producten te creëren: profiel aan profiel, profiel aan plaat, plaat aan plaat, verschillende legeringen, complexe vormen... FSW laat toe om lekdichte, corrosiebestendige lassen te realiseren. De lassen zijn vlak en recht, en behoeven vaak geen extra afwerking. Tenslotte is het FSW-proces een veilig en milieuvriendelijk proces. Daarna gaf Sandra Chevret van het Institut de Soudure in Frankrijk aan welke experimentele methodologie wordt aangewend om een voor friction stir welding uitgeruste robot te kwalificeren. Andy Norman van Corus RD&T (Nederland) presenteerde de status en toekomstperspectieven van FSW in een zeer veeleisende sector, namelijk deze van de vliegtuigbouw. Tenslotte lichtte Johan Norström uit ESAB Zweden de productportfolio toe van zijn bedrijf, één van de leveranciers van FSW apparatuur. Afsluitend brachten de aanwezigen nog een bezoek bij het nabijgelegen Spa RC Profiles in Ghlin, waarvan de machine getoond wordt in **figuur 5**. Hierbij stonden een FSW-demo en een verduidelijking van de extrusiefaciliteiten bij het bedrijf op het programma. □

**Figuur 5:** Friction stir welding machine bij Sapa RC Profiles te Ghlin



Bedrijven die geïnteresseerd zijn in FSW kunnen steeds contact opnemen met het BIL. Het eindverslag van CASSTIR is overigens vrij verkrijgbaar.