

# INNOVATIEF LASSEN VAN ALUMINIUMLEGERINGEN

## BIL COLLECTIEF ONDERZOEKSPROJECT I.S.M. UCL-PRM, LASERCENTRUM VLAANDEREN (VITO) EN CENAERO

Begin 2006 liep het project ALUWELD I ten einde. Dit tweejarig collectief onderzoeksproject werd gesubsidieerd door IWT-Vlaanderen (IWT 30909). ALUWELD I heeft de toepassing van twee innovatieve lasprocessen op aluminiumlegeringen als onderwerp: het friction stir welding en het hybride laserlassen. Het project betreft een samenwerking tussen in totaal 40 – hoofdzakelijk Vlaamse – bedrijven en onderzoeksinstellingen. Het mag duidelijk zijn dat in de voorbije twee jaar goede resultaten werden geboekt met beide lasprocessen.



Door ir. Wim Van Haver,  
Onderzoekscentrum van het Bil

### Inleiding en situering

Het lassen van aluminiumlegeringen met hoge sterkte is doorgaans een delicate operatie, door degradatie van mechanische eigenschappen in de warmtebeïnvloede zone (WBZ) als "niet lasbaar" bekend. De lasprocessen Friction Stir Welding (FSW of wrijvingsroerlassen) en Hybrid Laser Welding (HLW of hybride laserlassen) kunnen een oplossing bieden wat betreft het sneller, foutloos en dus meer economisch verbinden van deze legeringen, met daarenboven minder vervorming en verzachting. Friction stir welding is een proces waarbij de verbinding op elk moment in vaste toestand gerealiseerd wordt. Een roterend gereedschap (Zie figuur 1), bestaande uit een geprofileerde "pin" en een al dan niet geprofileerde "schouder", wordt in het materiaal gedruwd tot de schouder het oppervlak ervan bereikt.

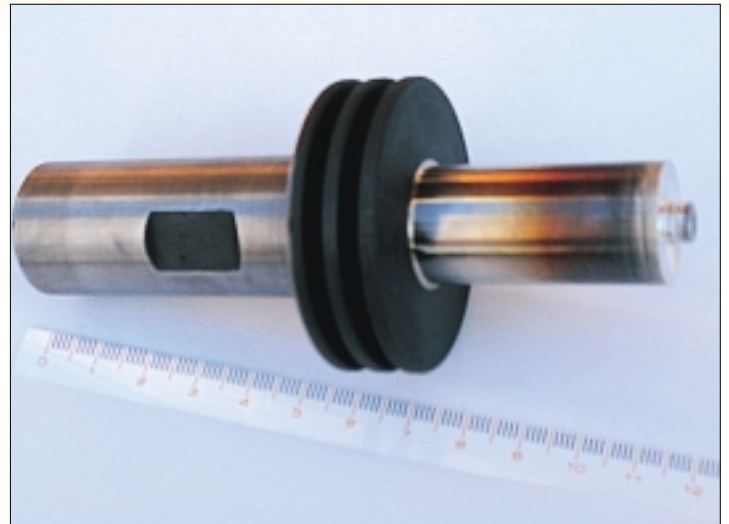
Door wrijving wordt het materiaal opgewarmd tot temperaturen waarbij het in een "deegachtige" toestand terechtkomt. Wanneer het gereedschap vooruit beweegt, wordt het materiaal van de voorzijde naar de achterzijde van de pin geëxtrudeerd, waardoor de verbinding in vaste toestand gevormd wordt. FSW wordt in dit project uitgevoerd door UCL-PRM, op een speciaal daartoe omgebouwde freesbank. Anderzijds is het hybride

laserlassen een combinatie van laserlassen en booglassen, waarbij deze processen gelijktijdig inwerken op hetzelfde smeltbad. De snelheid en productiviteit van de laser wordt gecombineerd met de robuustheid van het booglasproces. Voor dit project wordt HLW uitgevoerd door het Lasercentrum Vlaanderen (VITO), waarbij een diode-gepompte Nd:YAG laser en een puls-MIG bron als booglasproces gecombineerd worden in een Fronius hybride laskop (Zie figuur 2).

De investeringskost voor beide lasprocessen is erg hoog, en praktische kennis hierover is voor een groot deel in handen van buitenlandse, vaak zeer grote bedrijven (zoals Boeing, Airbus, Volkswagen, Audi ...) die belangrijke uitgaven hebben gedaan op het gebied van eigen onderzoek en ontwikkeling. Het is duidelijk dat onderzoek op eigen bodem noodzakelijk was en nog steeds is om deze lasprocessen in de Belgische metaalverwerkende industrie te introduceren, teneinde in concurrentieel opzicht op z'n minst gelijke tred te kunnen houden met de buurlanden. In de afgelopen twee jaar werd binnen project ALUWELD I alvast heel wat experimentele ervaring opgedaan met HLW en FSW.

### Projectverloop

Het ALUWELD I-project werd opgedeeld in 9 werkpakketten

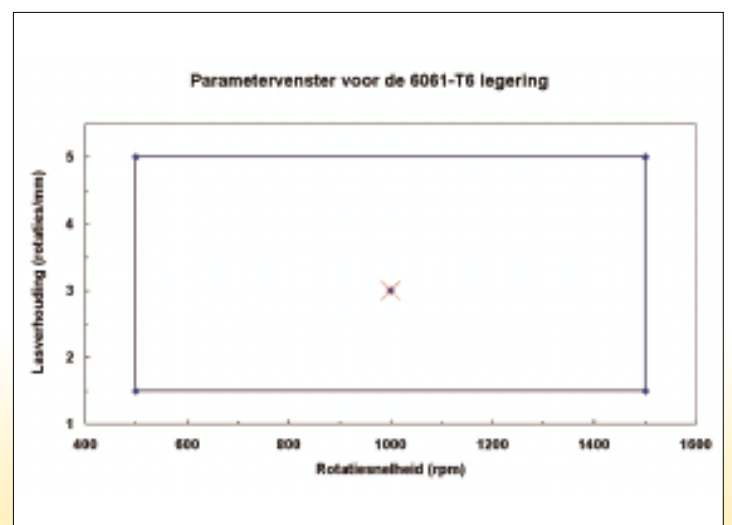


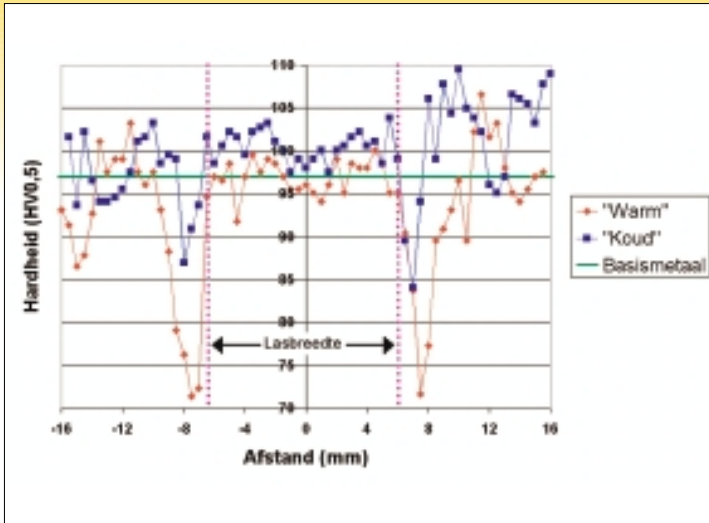
Figuur 1: Typisch gereedschap zoals gebruikt door UCL-PRM voor het FSW-gedeelte van ALUWELD I



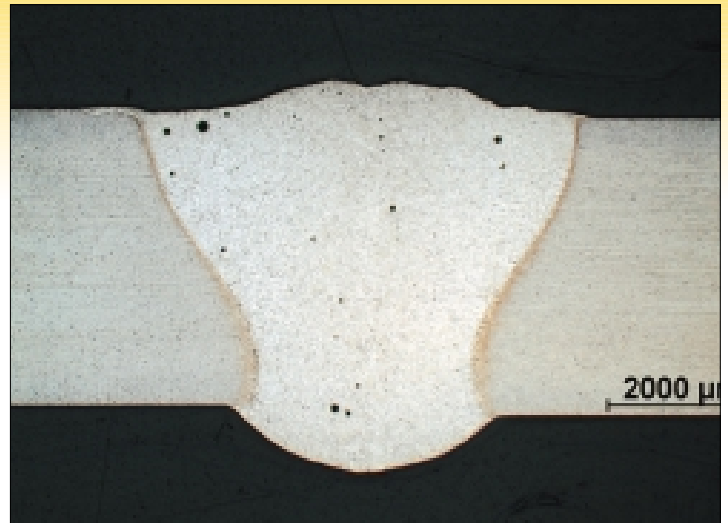
Figuur 2: HLW bij het Lasercentrum Vlaanderen (VITO): de aluminiumplaten worden door middel van een Fronius hybride laskop aan elkaar gelast

Figuur 3: FSW-lasparameteren dat werd opgesteld in het project voor de legering 6061-T6. Het rode kruis markeert de uiteindelijk gekozen lasparameterset





**Figuur 4:** Microhardheidsprofielen opgeteget op 0,3 mm onder het lasoppervlak bij twee friction stir lassen in 6056-T4 materiaal. De "koudste" las had een lasfactor gelijk aan 1,01 en een verlenging van 9,9 %, terwijl bij de "warmste" las een lasfactor van 0,85 en een verlenging van 4,5 % werd opgeteget



**Figuur 5:** Macrografie van een hybride laserlas in 6082-T6. De porositeit is duidelijk heel laag. De lassnelheid bedraagt 2,4 m/min, en er werd gebruik gemaakt van een 4043 toevoegmetaal

(afgekort WP). De inhoud van deze werkpakketten en een selectie van de interessantste vaststellingen wordt kort besproken.

**Werkpakket 1**

**Keuze proefmaterialen en literatuurstudie (WP1)**

Afgaande op de wensen van de industriële partners werden acht aluminiumlegeringen gelast met behulp van FSW en/of HLW, nl. 2024-T3, 5754-O, 5182-H111, 5083-H111, 6056-T4, 6061-T6, 6082-T6, en de hogedrukietlegering EN AC-46000. Dit werkpakket werd afgerond met het opstellen van een literatuurstudie over de geselecteerde legeringen, en een stand van de techniek over FSW en HLW met de nadruk op de uiteindelijk te verbinden materiaal-diktecombinaties.

**Werkpakket 2 en 3**

**Basiskennis van FSW en HLW (WP2) en optimalisatie (WP3)**

Voor het friction stir welding werden op basis van literatuurstudie en kleine lasproeven lasparametervensters (met als

parameters de rotatiesnelheid en lasverhouding = rotatiesnelheid/lasnelheid) bepaald voor 7 legeringen, en de lassen uit deze matrix werden in het BIL onderworpen aan trekproeven, buigproeven, metallografisch onderzoek en microhardheidsmetingen. Een voorbeeld van een dergelijke matrix van lasparameters is weergegeven in **figuur 3**.

Op basis van dit onderzoek werden dan de optimale lasparameters gekozen. Het criterium voor deze keuze is in de eerste plaats het ontbreken van fouten die typisch bij FSW kunnen voorkomen bij incorrecte lasparameters, zoals tunneldefecten en wortelfouten. Deze fouten kunnen eenvoudig worden vastgesteld met metallografie, en hebben nagenoeg altijd een negatieve invloed op de mechanische eigenschappen van de verbinding. In tweede instantie wordt een hoge lassnelheid nagestreefd, waarbij men zich weliswaar nog een kleine afwijking van de

lasparameters kan permitteren, zodat de reproduceerbaarheid van de eigenschappen niet in het gedrang komt.

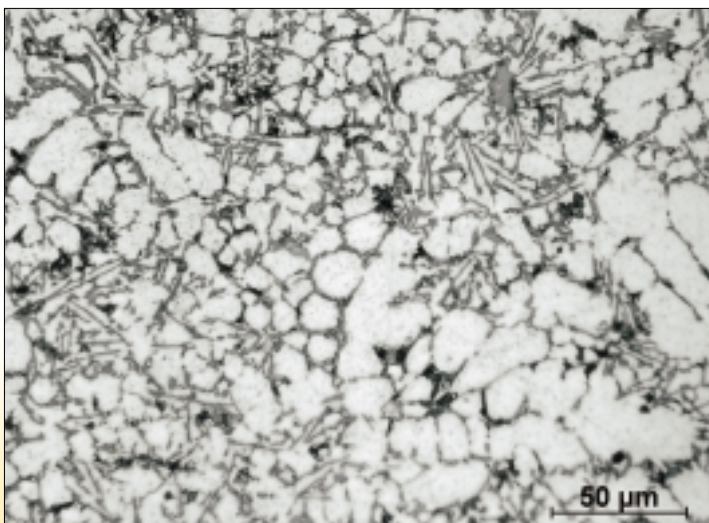
Bij niet-warmtebehandelbare Al-legeringen (bv. deze uit de 5xxx reeks) geldt dit natuurlijk omdat men een zo hoog mogelijke productiviteit beoogt. Bij de warmtebehandelbare legeringen komt daar echter nog een belangrijke reden bij: een hogere lassnelheid resulteert in minder verzachting in de warmtebeïnvloede zone, met een hogere sterkte én betere vervormbaarheid (doordat lokaal sterk verzachte zones worden vermeden) tot gevolg. Dit wordt aangetoond in **figuur 4**, waar de microhardheidsprofielen weergegeven zijn die opgeteget werden in twee friction stir lassen in 6056-T4 materiaal. De ene las werd gerealiseerd met hogere warmte-inbreng (200 mm/min lassnelheid bij 1000 rpm; "warmste" las), en de andere met lagere warmte-inbreng (500 mm/min lassnelheid bij 1500 rpm; "koudste" las). Het is duidelijk

uit het onderschrift dat het lassen met lage warmte-inbreng de voorkeur geniet. Evenzo werd de optimalisatieprocedure uitgevoerd voor het hybride laserlassen van in totaal 7 verschillende aluminiumlegeringen. Uit het onderzoekswerk uitgevoerd in 2004 bleek reeds dat zuivere Ar de voorkeur genoot als beschermgas.

Voor de verschillende legeringen met dikte tussen 1,5 mm en 8 mm konden lassen met goede kwaliteit verkregen worden bij lassnelheden hoger dan 1 m/min. Verschillende toevoegmaterialen (5183, 4043 en 4047) werden hierbij gebruikt, waarbij de keuze van het optimale toevoegmetaal berustte op goede laskwaliteit (gekwantificeerd door porositeitsgehalte en mechanische eigenschappen) in combinatie met een hoge lassnelheid. Een voorbeeld van een metallografische doorsnede van een hybride laserlas is weergegeven in **figuur 5**.

Bij de bepaling van de mechanische eigenschappen van

**Figuur 6:** Micrografieën van EN AC-46000-F basismetaleel (links) en het centrale gedeelte van de nugget (rechts). De dendrietstructuur van het basismetaleel is volledig afgebroken in de nugget





de lassen uitgevoerd met optimale lasparameters bleek dat de vereisten voor de lasfactor in de EN ISO 15614-2 ruimschoots konden worden bereikt.

**Werkpakket 4**

**Karakterisatie van de gelaste verbindingen (WP4)**

Deze karakterisatie van lassen met geoptimaliseerde lasparameters wordt uitgevoerd door het BIL. De "normale" laskarakterisatie, onder de vorm van trekproeven, buigproeven (zowel normaal- als tegenbuigen over 180°), metalografie en hardheidsmetingen liet toe om de optimale lasparameters voor de verschillende legeringen in WP3 vast te leggen. De verfijning van de microstructuur die met behulp van friction stir welding kan verwezenlijkt worden is opmerkelijk. In **figuur 6** wordt de microstructuur vergeleken van EN AC-46000-F basismetaal met deze in het centrale gedeelte van de friction stir las (de zgn. "nugget"). Daarnaast omvatte dit werkpakket de toepassing van interkristallijne corrosieproeven op 6061-T6 (basismetaal, friction stir en hybride laserlassen) en 2024-T3 (basismetaal en friction stir lassen). In het bijzonder de warmtebeïnvloede zone van de friction stir lassen bleek bijzonder gevoelig voor interkristallijne corrosie en pitting.

Verder werden vermoeiingsproeven uitgevoerd op zowel friction stir en hybride laserlassen in de legeringen 5083-H111 en 6056-T78 (zie WP6). De friction stir lassen vertoonden duidelijk betere eigenschappen onder vermoeiing,

wat hoofdzakelijk te danken is aan het feit dat er geen scheurinitiërende porositeiten in de microstructuur voorkwamen, dit in tegenstelling tot bij de hybride laserlassen.

**Werkpakket 5**

**Vergelijking van de lasprocessen – kosten-batenanalyse (WP5)**

Uit het onderzoek tot dusver uitgevoerd met de binnen het onderzoeksproject beschikbare FSW- en HLW-apparatuur blijkt dat de productiviteit van hybride laserlassen aanzienlijk hoger ligt (boven 1 m/min) (**zie tabel**). Wel moet hierbij opgemerkt worden dat de productiviteit van het FSW-proces mogelijk aanzienlijk kan opgeschroefd worden door het gebruik van andere gereedschappen of het verhogen van de indringdiepte van het gereedschap. Bovendien zijn de sterkte en de vervormbaarheid van friction stir lassen in de warmtebehandelbare Al-legeringen hoger dan wanneer deze verbonden worden met behulp van HLW. In samenwerking met een aantal bedrijven uit de gebruikerscommissie stelden de onderzoekspartners een model op waarmee de kost per gelaste meter kan berekend worden voor FSW en HLW.

**Werkpakket 6**

**Invloed van warmtebehandelingen na lassen (WP6)**

In WP3 werden geoptimaliseerde lassen in 6056-T4 gerealiseerd met FSW en HLW. In de normale praktijk wordt deze legering na het lassen en vervormen aan een T78-nabehandeling onderworpen,

waarbij hoge sterkte en corrosieweerstand worden verkregen. Bij de friction stir lassen leverde dit geen sterkte winst op, terwijl de treksterkte bij de hybride laserlassen met 35 MPa steeg ten opzichte van deze van het materiaal in gelaste toestand. Er trad telkens wel een drastische daling van de rek op. T78 warmtebehandelde lassen werden onderworpen aan een vermoeiingsonderzoek.

**Werkpakket 7**

**Modelleren van FSW (WP7)**

Geïstrumenteerde FSW-testen uitgevoerd door UCL-PRM toegepast op 2024-T3 liet CENAERO toe hun modellen op FSW van deze legering toe te passen.

**Werkpakket 8**

**Dienstverlening en innovatiestimulering (WP8)**

Innovatiestimulering wordt voornamelijk uitgevoerd door BIL en VITO, die beide een ruime ervaring bezitten met Technologische Dienstverlening. Verder werd op 27 oktober 2005 in het kader van dit werkpakket een studienamiddag georganiseerd door de onderzoekspartners omtrent het innovatief lassen van lichte metaallegeringen. Deze studienamiddag staat beschreven in de februari-editie 2006 van *Metallerie*.

**Werkpakket 9**

**Projectmanagement en rapportage (WP9)**

Dit laatste werkpakket omvat, naast het projectmanagement, het opstellen van richtlijnen voor de verschillende materiaalcombinaties voor het economisch en foutloos

lassen van aluminiumlegeringen door middel van FSW en HLW.

**Conclusie – ALUWELD II**

Bij het aflopen van dit project kan zeker gesteld worden dat het project volgens plan verlopen is, en dat veelbelovende resultaten behaald werden voor de diverse aluminiumlegeringen. Het project heeft echter ook duidelijk gemaakt dat er nog heel wat onderzoek dient te gebeuren naar de beide lasprocessen opdat de implementatie ervan in de Belgische industrie (vooral kmo's) gemakkelijk kan plaatsvinden. Verschillende bedrijven uit de projectgroep denken ernstig na over de toepassing van FSW en/of HLW in de productie. Het is belangrijk voor deze bedrijven dat de mogelijkheden van de beide processen verder worden bestudeerd, niet alleen op andere materialen (non-ferrolegeringen in het algemeen), maar dat er ook onderzoek wordt gevoerd op lassen die de realiteit dichter benaderen. Hiertoe heeft het BIL over deze onderwerpen een voorstel tot vervolgpakket, ALUWELD II, ingediend bij IWT-Vlaanderen (IWT 50736), dat de biënnale 2006-2007 zal bestrijken. Eens het projectvoorstel goedgekeurd is, kunnen de geïnteresseerde bedrijven contact opnemen met het BIL en met een relatief beperkte inbreng (bijvoorbeeld het leveren van te lassen basismateriaal) de mogelijkheden van twee innovatieve lasprocessen des te grondiger leren kennen. □

*Uit het onderzoek tot dusver uitgevoerd met de binnen het onderzoeksproject beschikbare FSW- en HLW-apparatuur blijkt dat de productiviteit van hybride laserlassen aanzienlijk hoger ligt (boven 1 m/min). De sterkte en vervormbaarheid bij FSW is echter doorgaans hoger*

LEGERING	LASPROCES	LASSNELHEID (MM/MIN)	LASFACOR T.O.V. BASISMETAAL	VERLENGING (%)	BUIGBAARHEID (AANTAL GESLAAGDE BUIGPROEVEN)	ANDERE
5083-H111 5 mm	FSW	100	1,01	25,2	8 / 8	hogere vermoeiingssterkte
	HLW	1.200	0,92	14,7	7 / 8	/
5754-O 4 mm	FSW	317	0,94	20,8	3 / 4	/
	HLW	1.500	0,97	niet beschikbaar	2 / 2	/
5182-H111 1,5 mm	FSW	228	1,03	20,1	8 / 8	/
	laserlassen	4.200	0,94	14	4 / 4	/
6061-T6 4 mm	FSW	333	0,71	5,9	8 / 8	/
	HLW	1.800	0,7	3,8	3 / 4	betera corrosie-eigenschappen
niet-vacuüm gegoten EN AC-46000 5 mm	FSW	109	1,07	0,2	niet beschikbaar	zeer fijne microstructuur
	HLW	360	0,83	niet beschikbaar	niet beschikbaar	zeer hoge porositeit
6056-T4 2,5 mm	FSW	500	0,88	9,9	4 / 4	hogere vermoeiingssterkte
	HLW	3.600	0,83	3,7	0 / 4	/