

VEELBELOVENDE TECHNIEKEN OM ALUMINIUM AAN STAAL TE VERBINDEN

EEN OVERZICHT

Dit overzichtsartikel behandelt enkele recente, veelbelovende technieken om aluminium aan staal te verbinden.

Het blijkt immers dat meer en meer evoluties in het brede spectrum van het lasgebeuren toelaten om deze materiaalcombinatie te realiseren.

Louter mechanische of adhesieve verbindingmethoden worden in deze bespreking buiten beschouwing gelaten.

Door ir. Wim Van Haver en ir. Koen Faes, EWE
Onderzoekscentrum van het BIL



Figuur 1: Explosiegeplast overgangsstuk (zie in zelffoto) voor het verbinden van een stalen dek aan een aluminium bovenbouw in de scheepsbouw. Bron: Triplate®

INLEIDING

Het lassen wordt in tal van sectoren op een veelheid aan materialen toegepast. De voordelen van lassen ten aanzien van louter mechanische verbindingmethoden of lijmen zijn bekend:

- lichtere constructie (door het ontbreken van overlap),
- minder kans op spleten die kunnen aanleiding geven tot gelocaliseerde corrosie,
- een continue(re) overgang tussen de werkstukdelen.

Veel metalen en onderlinge combinaties zijn goed lasbaar, mits inachtnaam van de gangbare procedures. Toch zijn er materiaalcombinaties die zeer moeilijk te realiseren zijn, ook al zouden deze interessante perspectieven kunnen bieden voor tal van bedrijven.

Het lassen van aluminium aan staal is hiervan een zeer goed voorbeeld.

Tot voor kort was het aantal processen om dit kwalitatief en reproduceerbaar te realiseren erg

bepikt, en vaak gelimiteerd qua toepassingsdomein.

Een voorbeeld hiervan is explosielassen, voor het cladden van staalplaat met aluminium voor bijvoorbeeld de scheepsbouw of de productie van overgangselementen (zie figuur 1).

In de laatste tien jaar hebben er echter uiteenlopende evoluties plaatsgevonden die deze droom weer nieuw leven schijnen in te blazen.

Dit artikel heeft als bedoeling een overzicht te geven van de stand van zaken van een aantal van deze processen, met vermelding van de voor- en nadelen, en de potentiële of reeds gecommuniceerde toepassingen.

Hopelijk kan dit voor u, lezer, stof tot nadenken bieden voor innovatie of verdere optimalisatie in de eigen productie.

Het BIL volgt deze ontwikkelingen en nieuwe technieken op de voet, zodat het bedrijven kan bijstaan en ondersteunen bij de

implementatie ervan.

WAAROM ALUMINIUM AAN STAAL LASSEN?

Alvorens in te gaan op de problematiek van het verbinden van aluminium aan staal met de gangbare lasprocedures (MIG/MAG, TIG), dient eerst de volgende vraag beantwoord te worden: waarom zou men geïnteresseerd kunnen zijn in deze materiaalcombinatie? Het overgrote deel van de toepassingen waar aluminium-staal verbindingen tot hun recht zouden komen, wordt ingegeven door optimaal

materiaalgebruik: het inzetten van een gegeven materiaal met bepaalde eigenschappen, precies op de plaats waar deze vereist zijn.

Eén van de belangrijkste sectoren waar men noodgedwongen optimaal materiaalgebruik dient na te streven is "transport", in de ruimste zin van het woord:

automobielenindustrie, scheepsbouw, lucht- en ruimtevaart, constructie van treinen enz.

Een aantal belangrijke eigenschappen die men in beschouwing kan nemen voor een materiaal in een gegeven toepassing zijn:

- sterkte,
- stijfheid,
- vervormbaarheid,
- geleidbaarheid,

- corrosieweerstand,
 - soortelijk gewicht,
 - kostprijs van het materiaal.
- Op sommige van deze punten scoort aluminium beduidend beter in vergelijking met staal (soortelijk

gewicht, corrosieweerstand, thermische en elektrische geleidbaarheid), maar doet het dan weer minder op andere punten (bijvoorbeeld stijfheid en kostprijs). In het ideale geval verkrijgt men een constructie die aan alle bovenstaande criteria voldoet.

Dankzij de nieuwe en geavanceerde verbindingprocessen wordt het mogelijk om voor een gegeven

toepassing aluminium in combinatie met staal in te zetten, precies op die plaatsen waar hun specifieke eigenschappen het best tot hun recht komen, aangezien het mogelijk wordt deze materialen kwaliteitsvol te verbinden, zodat één geheel ontstaat.

HET GROTE VERSCHIL IN THERMISCHE UITZETTING EN ELASTICITEITS-MODULUS ZAL BIJVOORBEELD RESULTEREN IN HOGE THERMISCHE SPANNINGEN, DIE KUNNEN LEIDEN TOT OVERMATIGE VERVORMINGEN OF RESTSPANNINGEN

PROBLEMATIEK

Wat maakt nu eigenlijk het thermisch verbinden van aluminium aan staal zo moeilijk? In feite kunnen we deze problemen in twee facetten onderverdelen.

Enerzijds is er het grote verschil in eigenschappen tussen aluminium en ijzer. Tabel 1 geeft een overzicht van deze eigenschappen op basis van de

BASISEIGENSCHAPPEN IJZER & ALUMINIUM

	IJZER	ALUMINIUM
SOORTELIJK GEWICHT (kg/dm ³)	7,85	2,7
SMELTTEMPERATUUR (°C)	1536	660
WARMTEGELEIDINGSCOEFFICIENT (W/mK)	75	238
THERMISCHE UITZETTINGSCOEFF. (1/K)	12,3 x 10 ⁻⁶	23,8 x 10 ⁻⁶
ELASTICITEITSMODULUS E (MPa)	210.000	72.000
TREKSTERKTE R _m (MPa)	270-410	80
VLOEIGRENS R _{p0,2} (MPa)	180-250	35
VERLENGING BIJ BREUK A ₅ (%)	30	42
STANDAARD ELEKTRODEPOTENTIAL (V)	-0,447	-1,662

literatuur.

Het grote verschil in thermische uitzetting en elasticiteitsmodulus zal bijvoorbeeld resulteren in hoge thermische spanningen, die kunnen leiden tot overmatige vervormingen of restspanningen. Een ander significant verschil dat van groot belang is na het lassen, is het grote verschil in standaard elektrodepotentiaal: ijzer is veel edeler ("minder negatief") dan aluminium, wat tot gevolg heeft dat maatregelen moeten getroffen worden om bovenmatige galvanische corrosie aan de aluminiumzijde te vermijden, zoals het gebruik van deklagen (gegalvaniseerd staal gebruiken), of door contact met een elektrolyt (zoals water) te vermijden.

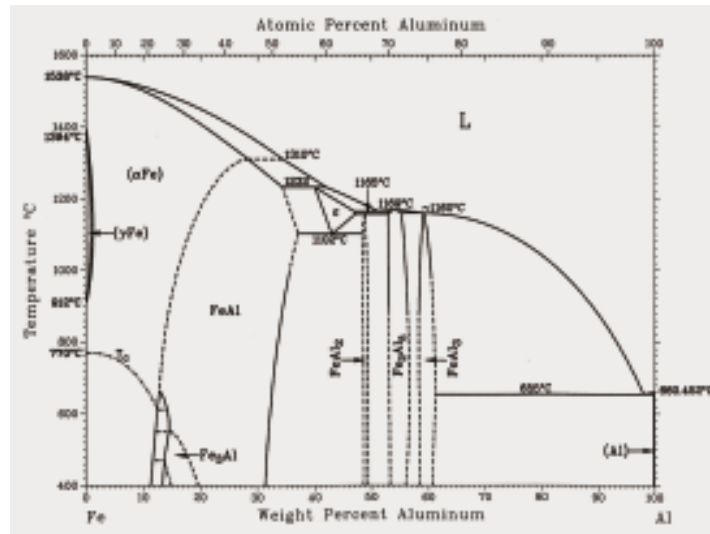
Anderzijds bestaat er een zeer grote affiniteit tussen de scheikundige elementen aluminium en ijzer, wat eigenlijk nog de grootste uitdaging vormt om een kwaliteitsvolle thermische verbinding te realiseren. Het Fe-Al binaire toestandsdiagram is erg complex; er komen verschillende intermetallische verbindingen in voor, zoals Fe₃Al, Fe₂Al₅ en FeAl₃.

De oplosbaarheid van Fe in vast Al is verwaarloosbaar klein, zodat zeer vlug FeAl₃ gevormd wordt, terwijl vast Fe een significante hoeveelheid Al kan oplossen (bijvoorbeeld 11% bij 400°C).

Dit alles wordt weergegeven in **figuur 2**.

Er ontstaan dus zeer vlug ongewenste intermetallische verbindingen met ijzer en aluminium bij thermisch verbinden van deze twee materialen. Ook na thermische behandeling blijven bepaalde intermetallische fasen bestaan.

Typisch wordt in een thermische verbinding Fe₂Al₅ (hardheid: 1000-1100 HV) aan de staalkant en FeAl₃ (hardheid:



Figuur 2: Binair toestandsdiagramma van ijzer en aluminium

820-980 HV) aan de aluminiumkant gevormd. Dit zijn dus zeer harde en brose fasen, die een catastrofale impact kunnen hebben op de mechanische eigenschappen van de verbinding.

Dikwijls wordt gesteld dat, indien de intermetallische laag dunner is dan 10 µm, een voldoende stevige verbinding kan gerealiseerd worden, waarvan de sterkte ervan meer beïnvloed wordt door de basismateriaaleigenschappen dan door deze van de brose intermetallische fasen. Bij smeltlasprocédés, waarbij enkel de aluminiumkant wordt gesmolten (eventueel met gebruik van aluminium toevoegmetaal), wordt typisch een zinklaag aangebracht op de staalkant. Deze aanpak zorgt voor een

beperking van de intermetallische laagdikte, het staal wordt beter bevochtigd door de aluminiumsmelt, en het optreden van galvanische corrosie in de

verbinding wordt beperkt.

VEELBELOVENDE TECHNIEKEN VOOR ALUMINIUM-STAAI VERBINDINGEN

Bij geen enkele van de verder opgesomde technieken wordt het staal zélf gesmolten. Dit zou immers met dermate hoge temperaturen gepaard gaan dat het aluminium zeer vloeibaar wordt, met alle gevolgen van dien.

ER ONTSTAAN ZEER VLUIG ONGEWENSTE INTERMETALLISCHE FASEN TUSSEN IJZER EN ALUMINIUM BIJ THERMISCH VERBINDEN VAN DEZE TWEI MATERIALEN

De veel hogere thermische geleidbaarheid van aluminium zou smelten van staal natuurlijk ook extra bemoeilijken. Bovendien: hoe hoger de temperatuur, hoe langer de afkoeltijd en hoe meer intermetallische fase

zich kan vormen. Bij de hieronder besproken technieken wordt ofwel de aluminiumkant gesmolten met lage warmte-inbreng (CMT, ColdArc,

laserverbindingstechnieken), ofwel wordt de verbinding gerealiseerd zonder enige smelt, door beroep te doen op plastische vervorming (wrijvingslassen, friction stir welding en magnetisch pulsslassen).

CMT en ColdArc

Het "Cold Metal Transfer" (afgekort CMT), recent ontwikkeld door Fronius, is een variant op het MIG/MAG lassen.

CMT is een kortsluitboogproces met een compleet nieuwe methode voor het afsplitsen van druppels van de lasdraad. Door de koppeling van het stroom- en spanningsverloop aan de draadaanvoer laat dit proces lassen met zeer geringe warmte-inbreng toe.

Na contact met het werkstuk wordt de lasdraad een klein stukje teruggetrokken.

Door beperking van de lasstroom kan de materiaaloverdracht zonder spatten gerealiseerd worden.

De elektrische boog zal als gevolg van de opgelopen temperatuur en na het verhogen van de spanning automatisch weer ontsteken.

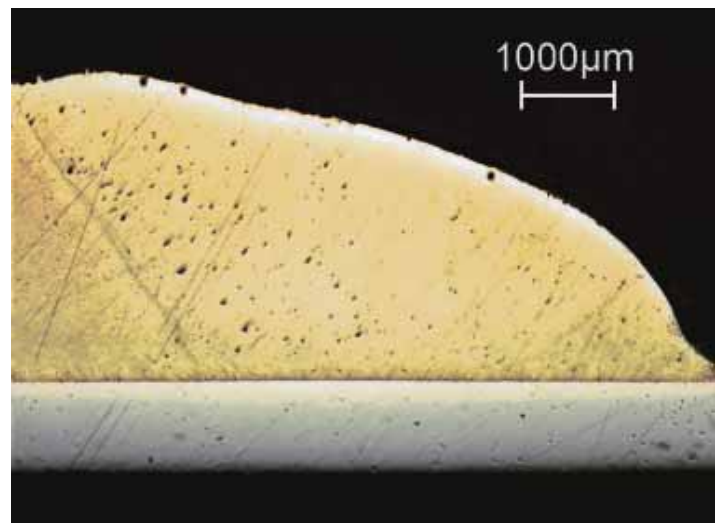
Na de materiaaloverdracht wordt de draad terug aangevoerd en de stroomsterkte verhoogd, zodat daarna de volgende materiaaloverdracht kan gebeuren.

Het blijkt dat met dit proces aluminium en staal op succesvolle manier kunnen verbonden worden (**zie figuur 3**). Door de lage warmte-inbreng kan de vorming van een intermetallische laag sterk ingeperkt worden.

De dwarsdoorsnede in **figuur 3** laat ook duidelijk zien dat het aluminium (boven) aan het staal (onder) gebraseerd wordt.

Tot dusver spitste het meeste onderzoek zich toe op het verbinden van aluminium aan gegalvaniseerd staal, daar de zinklaag de bevochtiging door

Figuur 3: Overlapverbinding gerealiseerd met het CMT proces tussen een aluminium bovenplaat en een stalen onderplaat. In de figuur rechts kan gezien worden dat het aluminium in feite aan het staal gebraseerd wordt. Bron: Fronius.



het gesmolten aluminium verbetert. De ColdArc technologie van EWM betreft eveneens een variant van het kortsluitbooglassen. Bij dit proces wordt de lasdraad niet teruggetrokken om materiaaloverdracht te laten plaatsvinden (zoals wel het geval is bij CMT).

De eveneens zeer geringe warmte-inbreng van het proces wordt gerealiseerd door modificatie van het stroomverloop met een nieuw type hoog-dynamische invertorschakeling, gecombineerd met een snelle, digitale procescontrole. Ook deze techniek laat toe om aluminium aan staal te lassen. ColdArc kan zowel manueel als geautomatiseerd worden toegepast.

CMT is vooral geschikt voor automatisatie en robotisatie, maar zou (binnenkort) ook manueel mogelijk zijn. Het vermelden waard is nog dat de CMT- en ColdArc-lasprocessen, toegepast op staal en roestvast staal, zullen bestudeerd worden binnen het BIL-OCAS collectieve onderzoeksproject INNOLAS. Dit project, gesubsidieerd door IWV-Vlaanderen, is inmiddels gestart en loopt nog tot april 2009.

Laserverbindingstechnieken

Een laser laat lassen toe met heel lage warmte-inbreng, doordat alle energie wordt gebundeld in een fijne spot. Hoge lassnelheden kunnen bereikt worden. Er bestaan verschillende mogelijkheden waarop met de laser kwaliteitsvolle verbindingen tussen aluminium en staal kunnen gerealiseerd worden.

Bij de meeste laserlasprocessen wordt het aluminium gesmolten (al dan niet met gebruik van toevoegmateriaal) en het staal bevochtigd door de gevormde aluminiumsmelt.

Cruciale factoren hierbij zijn de positionering van de laserstraal, alsook de inklemparaatuur. Laserlasprocessen hebben het voordeel van een hogere lassnelheid ten opzichte van bijvoorbeeld CMT en ColdArc, maar aan de andere kant zijn de toleranties zeer belangrijk: de open stand moet zo klein mogelijk zijn.

Om het probleem van deze lagere flexibiliteit op te lossen worden door het onderzoeksinstituut BIAS in Duitsland twee hybride laserlasprocessen (Hybrid Laser Welding, HLW) ontwikkeld

specifiek voor het verbinden van aluminium en staal. Dit met behoud van de productiviteit van het laserlassen, namelijk hybride laser-MIG en hybride laser-plasma. Met hybride laser-MIG kan 2 mm aluminium stompgeplast worden aan staal met een lassnelheid tot 4 m/min! Daarenboven laat dit proces toe om tot 1 mm open stand te overbruggen, waardoor duidelijk lagere eisen kunnen gesteld worden aan de lasnaadvoorbereiding. Naast de productie van tailor welded blanks – vlakke platen met verschillende dikte of uit verschillende materialen die gelast worden vóór het dieptrekken - voor de

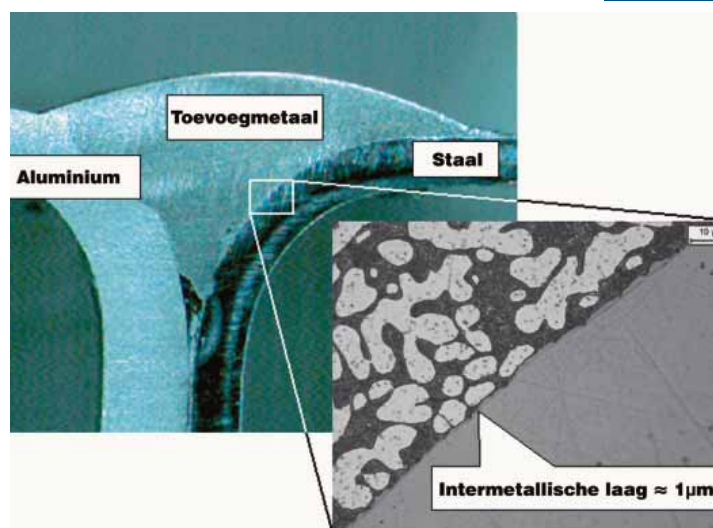
automobilindustrie ziet BIAS qua toepassingen onder andere ook mogelijkheden voor de scheepsbouw. Het BIL heeft binnen de door IWV gesubsidieerde collectieve onderzoeksprojecten ALUWELD (begin 2006 beëindigd) en HYLAS (nog lopend tot begin 2008) reeds omvangrijke ervaring kunnen opdoen wat betreft HLW van respectievelijk aluminiumlegeringen en staalsoorten.

In België beschikken zowel VITO als OCAS over hybride laser-MIG/MAG apparatuur; daarenboven heeft VITO sinds kort ook hybride laser-plasma apparatuur in dienst genomen. Binnen dit hoofdstukje is tenslotte nog het "Fluxless Laser Brazing" het vermelden waard, dat recent ontwikkeld werd door Corus RD&T.

Bij dit proces wordt, net zoals bij CMT, met behulp van aluminium toevoegmateriaal de aluminiumzijde gesmolten, terwijl de staalkant gebraseerd wordt (zie figuur 4). De intermetallische laag aan de staalkant zou slechts een dikte hebben van de orde van 1 μm . Het voordeel dat deze techniek ten opzichte van het klassieke laserlassen is dat geen flux dient toegepast te worden, die een bron kan zijn voor latere corrosie. Dat geldt overigens ook voor de eerder genoemde hybride laserlasprocessen. Met het fluxloos laserbraseren richt Corus zich in het bijzonder tot de automobilindustrie.

Wrijvingslassen

Eenvoudig gesteld worden bij het conventioneel rotationeel wrijvingslassen twee werkstukken (waarvan minstens één met rotatiesymmetrische geometrie) tegen elkaar gedrukt.

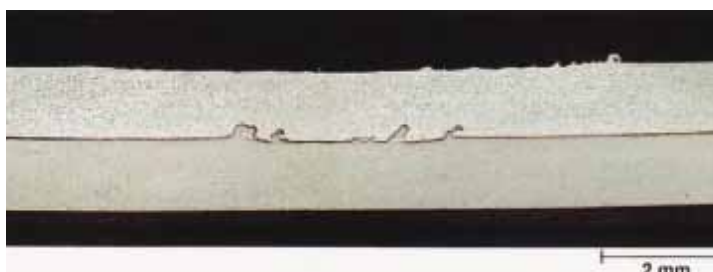


Figuur 4: Aluminium-staal verbinding gerealiseerd met "fluxless laser brazing". Bron: Corus



Figuur 5: Fotokopieermachine onderdeel, opgebouwd uit een aluminium schacht en roestvast stalen uiteinden, aan elkaar gelast met behulp van wrijvingslassen. Bron: Manufacturing Technology, Inc.

Figuur 6: Componenten voor röntgenapparatuur, bestaande uit een roestvast stalen ring en een aluminium bolkap, worden in overlap verbonden met FSW. Bron: RIFTEC



Eén van de werkstukken wordt geroteerd, zodat deze door wrijving opgewarmd worden tot een temperatuur onder het smeltpunt, gevolgd door het toepassen van een smeedkracht. Essentieel hierbij is de relatief lage temperatuur die het materiaal bereikt.

Specifiek bij aluminium-staal verbindingen houdt dit in dat de vorming van de intermetallische laag beperkt blijft in dikte, zodat aanvaardbare mechanische eigenschappen kunnen verkregen worden.

De bekendste toepassingen van aluminium-staal wrijvingslassen

zijn anode-ophangingen voor de productie van aluminium, fotokopieermachine onderdelen

(zie figuur 5),

cryogene drukvaten en kookgerei.

Op korte termijn zal het BIL intern opnieuw over een

wrijvingslasmachine beschikken. Naast het

rotationele wrijvingslassen bestaat ook het orbitaal en het lineair wrijvingslassen, waarbij geen van beide werkstukken nog een ronde sectie moet bezitten.

Friction stir welding

Bij de friction stir welding (FSW) techniek wordt, net zoals bij wrijvingslassen, het materiaal opgewarmd door wrijvingswarmte. In tegenstelling tot wrijvingslassen wordt bij FSW de wrijvingswarmte gecreëerd tussen een herbruikbaar roterend gereedschap (de "tool") en het oppervlak van de te verbinden werkstukdelen.

Het gedeelte van de tool dat in het materiaal gedrukt wordt (de "pin") zorgt daarenboven voor een mechanische vermenging van de te lassen werkstukken.

Ook bij FSW treedt normaal gesproken geen smelten op, zodat de vorming van intermetallische fasen binnen de perken kan blijven.

Daar waar het klassieke wrijvingslassen beperkt is door het feit dat minstens één van de stukken rotatiesymmetrisch moet zijn, laat FSW het stomp- en overlappen van platen en profielen toe.

Een voorbeeld van een commerciële toepassing van het FSW van aluminium aan roestvast staal (in overlap) wordt getoond in **figuur 6**.

Ook puntlassen is mogelijk met FSW. Deze techniek wordt reeds op industriële schaal ingezet bij Mazda.

Voor het puntlassen van aluminium claimt Mazda een

40% lagere investeringskost in vergelijking met weerstandlassen (het is niet duidelijk of de licentiekosten van FSW hierin werden opgenomen) en daarenboven een verlaging in energieconsumptie bij het lassen van 99%!

Figuur 7 toont het allereerste voorbeeld van een commerciële toepassing van een aluminium-staal verbinding met behulp van FSW.

De zinklaag op het staal heeft, naast beperking van galvanische corrosie, ook een positieve invloed wat betreft de intermetallische fasen.

DE KEUZE VAN DE MEEST GESCHIKTE TECHNIEK IS AFHANKELIJK VAN DE TOEPASSING EN SERIEGROOTTE EN DE AARD VAN DE VERBINDING (PUNTLAS, OVERLAP OF STOMPLAS)

Wereldwijd wordt onderzoek verricht naar FSW van aluminium en staal, wegens de hoge interesse vanuit de automobiellindustrie.

Een belangrijk onderwerp hierbij is de keuze en ontwikkeling van het toolmateriaal.

In België bezit CEWAC FSW apparatuur die in staat

is om staal aan aluminium te verbinden.

Het BIL werkt momenteel samen met o.a. CEWAC in het door de Federale Overheidsdienst Wetenschapsbeleid gesubsidieerde project CASSTIR, dat handelt over FSW van aluminiumlegeringen.

Magnetisch pullassen

In tegenstelling tot de eerder besproken technieken, met uitzondering van explosielassen in de inleiding, maakt het magnetisch pullassen (MPW) geen gebruik van warmte om een verbinding tot stand te brengen. Bij MPW wordt een spoel over de te lassen werkstukken geplaatst, zonder ermee contact te maken.

Tijdens de lascyclus wordt een zeer grote hoeveelheid elektrische energie vrijgegeven in zeer korte tijd.

Deze hoge energiestroom loopt door een spoel en deze stroomontlading induceert wervelstromen in het uitwendige werkstuk.

De magnetische velden geïnduceerd door beide stromen stoten elkaar af, zodat een kracht ontwikkeld wordt die het uitwendige werkstuk met grote snelheid (> 1000 km/u) verplaatst in de richting van het inwendige werkstuk. Dit resulteert in blijvende vervorming, zonder terugvering. Het proces is in het bijzonder geschikt om buisvormige producten in overlap te verbinden. Ook aluminium aan staal lassen behoort tot de mogelijkheden van dit proces.

Figuur 8 toont een voorbeeld



Figuur 7: Mazda MX-5 (boven), de eerste commerciële toepassing van friction stir spot welding (FSSW) tussen aluminium en gegalvaniseerd staal. Het kofferdeksel (onder) wordt met FSSW verbonden met boutverankeringen (linker- en rechterbovenhoek). Bron: Mazda



Figuur 8: Aandrijf-as, opgebouwd uit een aluminium buis, met magnetisch pullassen verbonden aan stalen verbindingstukken. Bron: Pulsar

van een mogelijke toepassing; door gebruik te maken van een aluminium schacht kon een gewichtsbesparing van 1 kg per meter gerealiseerd worden. Het BIL zal een projectvoorstel voor Collectief Onderzoek indienen bij IWT-Vlaanderen voor de biënnale 2008-2009. Het onderzoek zal natuurlijk niet beperkt blijven tot aluminium aan staal; talloze andere combinaties zijn denkbaar (staal-staal, aluminium-aluminium, aluminium-koper...). Bedrijven die geïnteresseerd zijn om de mogelijkheden van de MPW techniek op eigen producten te leren kennen, kunnen deelnemen aan dit onderzoeksproject, kunnen steeds vrijblijvend contact opnemen met het BIL..

CONCLUSIE

Uit het voorgaande mag duidelijk worden dat ontwikkelingen in het lasgebieden mogelijkheden bieden voor de realisatie van kwaliteitsvolle staal-aluminium verbindingen.

De keuze van de meest geschikte techniek is afhankelijk van de toepassing en seriegrootte en de aard van de verbinding (puntlas, overlap of stomplas).

Bedrijven die interesse hebben in één of meerdere technieken kunnen steeds vrijblijvend contact opnemen met het BIL.

Verschillende samenwerkingsvormen zijn mogelijk.

Contactpersonen zijn Ir. Wim Van Haver en Ir. Koen Faes, EWE. □