

Innovatieve verbindingstechnieken voor het verbinden van ongelijksoortige plaatmaterialen

Verskillende onderzoeksprojecten bij het Belgisch Instituut voor Lastechniek richten zich op het ontwikkelen van innovatieve verbindingstechnieken voor het verbinden van ongelijksoortige materialen. Eén van die projecten is het INNOJOIN project. Dit artikel spitst zich toe op het deelonderzoek naar het verbinden van aluminium aan staal door middel van elektromagnetisch pulslassen en wrijvingspuntlassen.

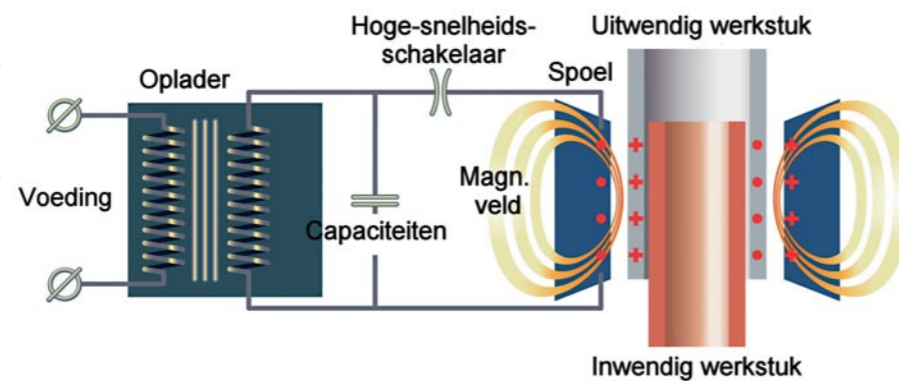
door Irene Kwee en Koen Faes (Belgisch Instituut voor Lastechniek)

De trend in de markt om almaar lichtere en minstens even sterke constructies of producten te realiseren blijft zich voortzetten. Voor steeds meer onderdelen wordt overgegaan van het klassieke laag-koolstofstaal naar hogesterkte-staalsoorten of non-ferrolegeringen. Het combineren van klassieke materialen (constructiestaal, aluminium) met andere klassieke (roestvast staal) of zelfs nieuwe materialen (composieten, hogesterktestalen) leidt tot uitdagingen op het gebied van de verbindingstechnologie voor het verbinden van ongelijksoortige materialen. Het Europese Cornet-project INNOJOIN bestudeert het thermisch verbinden van plaatmaterialen met behulp van een brede waaier aan innovatieve verbindingstechnieken, namelijk elektromagnetisch pulslassen, wrijvingspuntlassen, weerstand-elementlassen, weerstandlassen met procestape en wrijvingselementlassen. Deze technieken worden gebruikt om een aantal representatieve industriële ongelijksoortige materiaalcombinaties te verbinden. De doelstelling van INNOJOIN is het onderzoeken van de mogelijkheden die deze nieuwe technieken te bieden hebben en de te behalen laseigenschappen. In het kader van dit project onderzoekt het BIL de toepasbaarheid van het elektromagnetisch pulslassen en het wrijvingspuntlassen voor het verbinden van aluminium aan staal.

Elektromagnetisch pulslassen

Elektromagnetisch pulslassen behoort tot de groep van

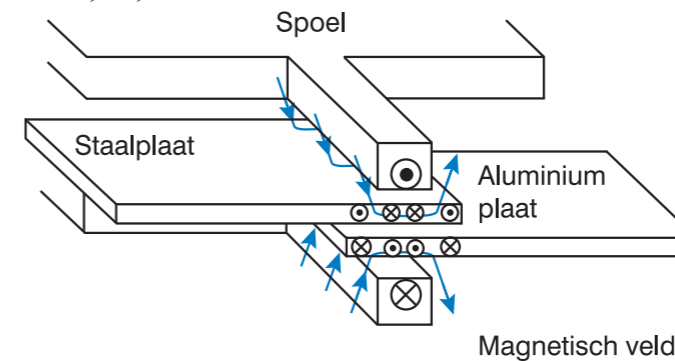
Magnetisch pullassysteem



Figuur 1 Elektromagnetisch pulslassen van buisvormige stukken

druklasprocessen, waarbij een metaalbinding verwezenlijkt wordt tussen twee oppervlakken door ze tegen elkaar te drukken. De vervorming gebeurt met een zeer hoge snelheid, zoals bij het explosielassen. De explosieve kracht wordt echter gegenereerd op een veilige manier, namelijk via een inductiespoel. De magnetische drukkrachten worden opgewekt door het ontladen van een grote hoeveelheid elektrische energie in een zeer korte tijdspanne, de zogenaamde puls. Het is een 'solid-state' lasproces, wat betekent dat de materialen niet tot smelten gebracht worden tijdens de lascyclus. Aangezien het elektromagnetisch pulslassen géén gebruik maakt van warmte om een verbinding tot stand te brengen, biedt deze techniek belangrijke voordelen ten opzichte van conventionele lastechnieken: er ontstaat geen warmte-beïnvloede zone en het materiaal verliest zijn eigenschappen niet. Hiermee kunnen verbindingen worden gerealiseerd tussen metalen

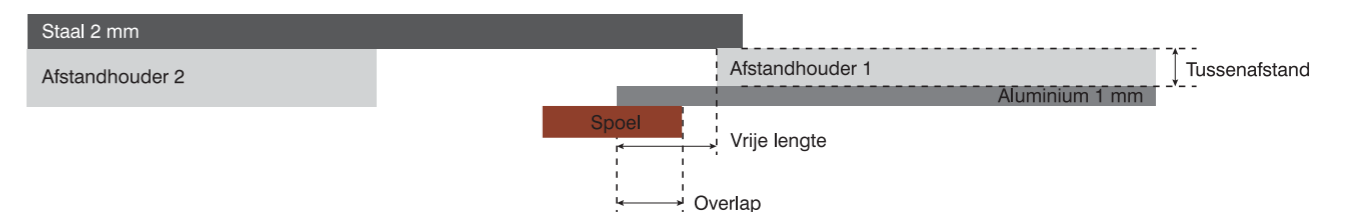
en legeringen met onderling sterk verschillende smeltpunten, zoals een verbinding tussen aluminium en staal. Het elektromagnetisch pulslassen is geschikt voor het lassen van zowel buisvormig materiaal (figuur 1) als plaatvormig materiaal (figuur 2). Dit laatste is relatief onbekend terrein, waar nog veel innovatieve ontwikkelingen mogelijk zijn.



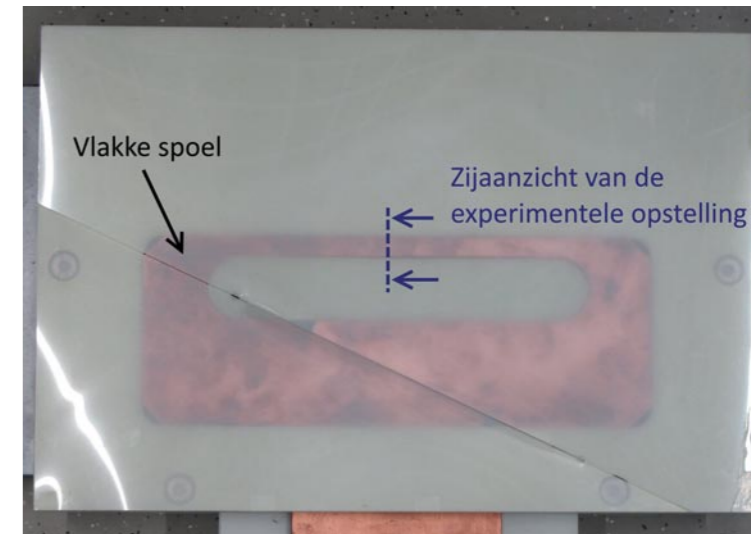
Figuur 2 Elektromagnetisch pulslassen van plaatvormige stukken. Bron: Application of magnetic pulse welding for aluminium alloys and SPCC steel sheet joints (T. Aizawa et al.)

Plaatvormige stukken

Voor het lassen van plaatvormige stukken wordt een vlakke spoel gebruikt (figuur 3). Figuur 4 illustreert het zijaanzicht van de experimentele opstelling voor het lassen van aluminium aan staal. Wanneer een stroom door de spoel loopt, ontstaat een elektromagnetische kracht die het gedeelte van de aluminiumplaat overlappend met de spoel, met grote impact tegen de staalplaat drukt. De twee platen worden gescheiden door middel van zogenaamde 'spacers'. De spacers zorgen voor een zekere afstand tussen beide platen. Deze tussenafstand, samen met de vrije lengte (zie figuur 4), bepalen de hoek en snelheid waarmee de aluminiumplaat tegen de staalplaat wordt gedrukt.



Figuur 4 Zijaanzicht van de experimentele opstelling voor het elektromagnetisch pulslassen van een aluminiumplaat aan een staalplaat. Bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek

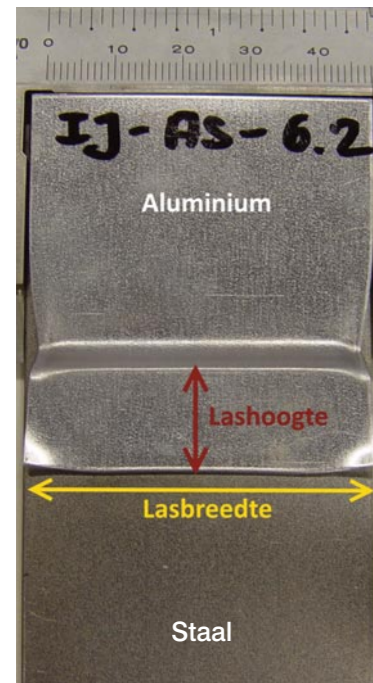


Figuur 3 Vlakke spoel voor het elektromagnetisch pulslassen van plaatvormige stukken. Bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek

De impacthoek en -snelheid bepalen op hun beurt de kwaliteit van de lasverbinding.

Elektromagnetische pulslasverbinding

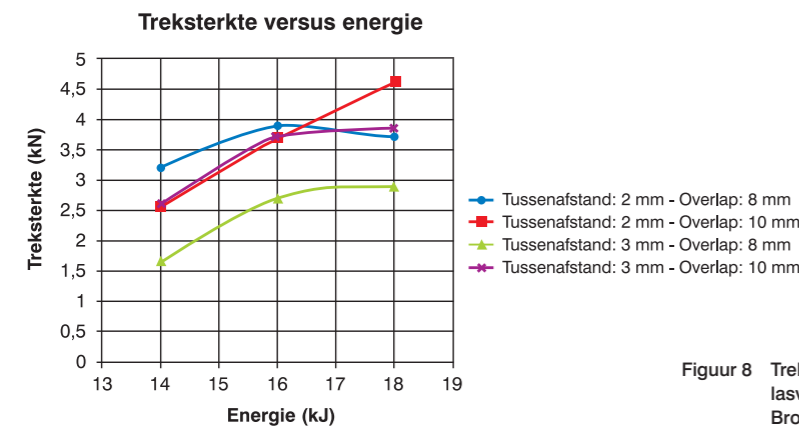
Het verbinden van aluminium (EN AW 1050-H14, plaatdikte 1 mm) aan staal (S235JR, plaatdikte 2 mm) met behulp van het elektromagnetisch pulslasproces werd onderzocht. Verschillende reeksen experimenten werden uitgevoerd, waarbij drie parameters werden gevarieerd: het energieniveau, de tussenafstand tussen de te lassen platen en de overlap tussen de spoel en de aluminiumplaat (figuur 4). De aluminium-staal-lasverbindingen werden visueel onderzocht, vervolgens metallografisch geanalyseerd en tot slot werd de treksterkte bepaald via afschuiftrekproeven. Afhankelijk van de geselecteerde lascondities



Figuur 5 Typische lasverbinding tussen een aluminium- en een staalplaat met behulp van elektromagnetisch pulslasen. Bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek

werd een laszone met een bepaalde lasbreedte en -hoogte verkregen (figuur 5).

Een typische metallografische geëtste doorsnede van een aluminium-staal-lasverbinding in het centrum van de laszone is te zien in figuur 6. Een detailopname van deze doorsnede toont een intermetallische laag met een dikte van ongeveer 20 µm (figuur 7). De aanwezigheid van deze laag kan verklaard worden door mechanische vermenging en intense plastische vervorming van de twee materialen, maar ook door lokale smeltfenomenen en opeenvolgende stolling op submicron-schaal. Wanneer niet-optimale lasparameters gebruikt worden, kunnen porositeiten en scheurtjes ontstaan in de intermetallische laag van de las. De porositeiten zijn het gevolg van lokale smeltfenomenen aan de lasinterface. Transversale scheurtjes ontstaan door afschuifspanningen, die onder andere gegenereerd worden door verschil in de thermische expansiecoëfficiënt van aluminium en staal. Wanneer deze afschuifspanning

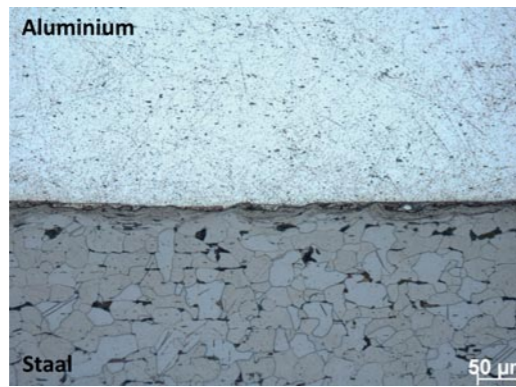


Figuur 8 Treksterkte versus energieniveau voor aluminium-staal-lasverbindingen met elektromagnetisch pulslasen. Bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek

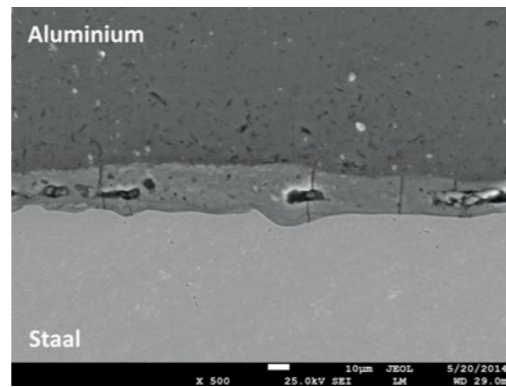
gen de sterkte van de intermetallische laag overschrijden, kunnen transversale microscheuren optreden. De verbindingen werden beproefd via afschuiftrekproeven. Figuur 8 toont de maximale treksterkte in functie van het energieniveau voor verschillende niveaus van tussenafstand en overlap. Over het algemeen neemt de treksterkte toe naarmate het energieniveau stijgt. De hoogste treksterkte (4,6 kN) werd behaald bij een energieniveau van 18 kJ, een overlap van 10 mm en een tussenafstand van 2 mm, aangezien bij deze lascondities de grootste laszone verkregen werd.

Wrijvingspuntlassen

Naast het onderzoek naar lasverbindingen met behulp van elektromagnetisch pulslasen onderzocht het BIL de mogelijkheden van wrijvingspuntlassen voor het verbinden van aluminium- aan staalplaten. Wrijvingspuntlassen is een nieuw solid-state lasproces, dat gebruikt kan worden voor overlapverbindingen tussen gelijksoortige en ongelijksoortige materialen. Het proces maakt gebruik van wrijvingswarmte en mechanische vervorming om een verbinding te realiseren. Het resultaat is een puntlasverbinding, zonder materiaalverlies of eindkrater. Een ander voordeel van het proces is de korte lastijd. Het is bovendien een milieuvriendelijk proces: er worden geen toe-



Figuur 6 Metallografisch geëtste doorsnede van een aluminium-staal-lasverbinding. Bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek

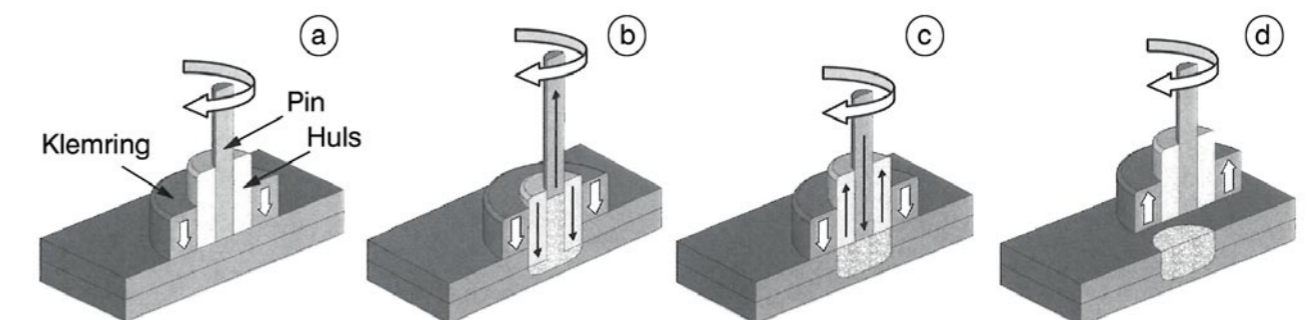


Figuur 7 Metallografisch geëtste doorsnede van een aluminium-staal-lasverbinding. Bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek



Figuur 9 Wrijvingspuntlastoestel bij het Belgisch Instituut voor Lastechniek

voegmaterialen of beschermgassen gebruikt en er komt geen lasrook, IR- of UV-straling vrij tijdens de lascyclus. Figuur 10 toont het principe van wrijvingspuntlassen. Eerst worden een pin en een huls (sleeve) geroteerd. De huls maakt het materiaal plastisch, en dit komt terecht in de ruimte binnenin de huls. De pin beweegt hierdoor naar boven. Bij een voldoende penetratiediepte wordt de roterende huls teruggetrokken en duwt de pin het plastische materiaal in de laszone om de verbinding tot stand te brengen. Het onderzoek richtte zich op het verbinden van aluminium (EN-AW 5182, plaatdikte 2 mm) aan gegalvaniseerd staal (MS-W1200 ZE50/50, plaatdikte 1,5 mm) met behulp van wrijvingspuntlassen. Hierbij werden drie



Figuur 10 Schematische weergave van het wrijvingspuntlasproces. Bron: Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Duitsland

parameters gevarieerd, namelijk de rotatiesnelheid, de indringdiepte en de lastijd. Ook in dit onderzoek werden de gerealiseerde aluminium-staal-lasverbindingen visueel onderzocht, vervolgens metallografisch geanalyseerd en onderworpen aan een test om de treksterkte te bepalen.

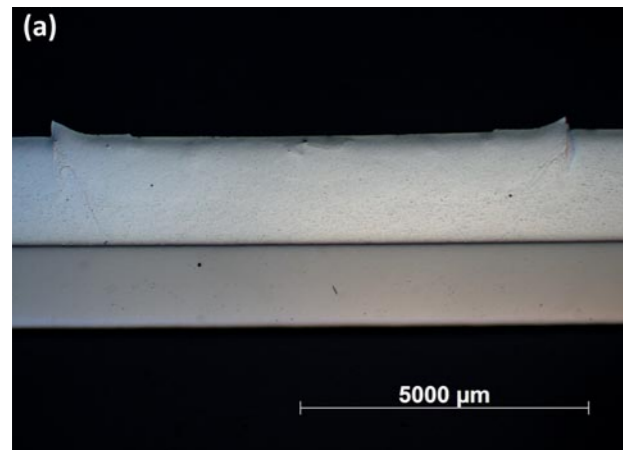
Microstructuren in wrijvingspuntlas

Een wrijvingspuntlas bestaat uit drie zones met verschillende microstructuren: de warmte-beïnvloede zone, de thermo-mechanisch beïnvloede zone en de laslens. De belangrijkste lasfouten zijn een onvolledige vulling van de las, porositeiten, bindingsfouten en een ringvormige groef aan het bovenoppervlak van de las.

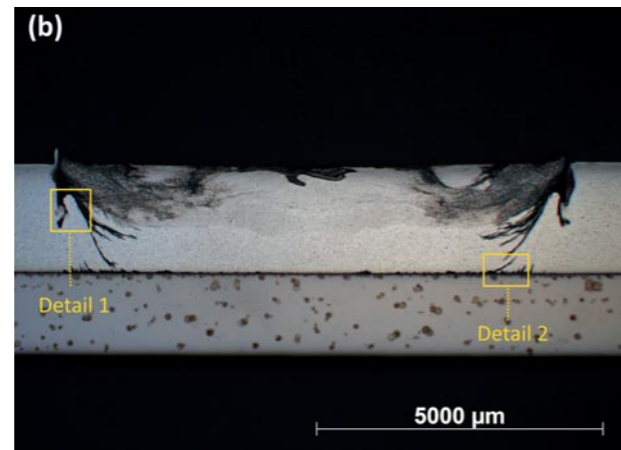
De metallografische doorsnede van een typische wrijvingspuntlas is te zien in figuur 11. Deze las bezit het grootste bindingsoppervlak tussen het aluminium en het staal en tevens de hoogste trekkracht (9,5 kN). De microstructuur vertoont een vergrote korrelstructuur in het bovenste en middelste gedeelte van de laslens (figuur 11c) en aan het scheidingsvlak tussen de twee platen (figuur 11d). De korrelgrootte neemt toe naarmate meer warmte gegenereerd wordt tijdens de lascyclus door een verhoging van de lastijd, indringdiepte of rotatiesnelheid.

Element mapping van Fe, Al en Zn toonde aan dat er sprake was van een verlaagde aluminiumconcentratie en een verhoogde zinkconcentratie in de microstructuren van figuur 11c en 11d. De aanwezigheid van zink in het aluminium is mogelijk te verklaren door de diffusie van zink dat afkomstig is uit de deklaag van het staal. Deze zinkdiffusie aan het scheidingsvlak wordt geïnitieerd door de materiaalstromingen die ontstaan door de beweging van de huls en pin. Verder vond zinkdiffusie plaats in zones naast de laslens, vooral in het scheidingsoppervlak onder de klemring. Dit is het gevolg van de hoge druk, uitgeoefend door de klemring en de warmte, gegenereerd in de laslens. Hieruit kan geconcludeerd worden dat het bindingsoppervlak tussen de twee platen gevormd wordt tussen het Al en de Zn deklaag van het staal. Een sterkere diffusie van Zn in het Al kan ook resulteren in een groter bindingsoppervlak en een verhoogde treksterkte.

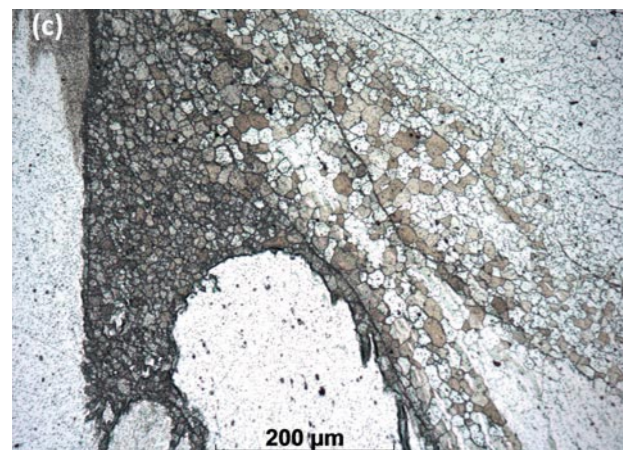
Figuur 11 Typische doorsnede van een wrijvingspuntlas van aluminium aan staal



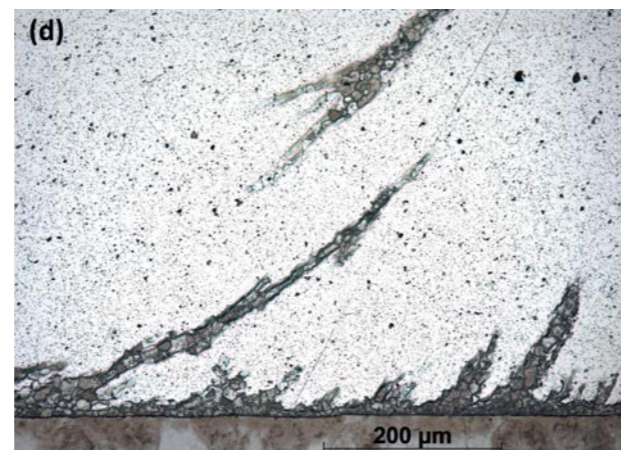
(a) Ongeëtste metallografische doorsnede



(b) Geëtste metallografische doorsnede



(c) Detail 1 van (b): linker gedeelte van de laslens



(d) Detail 2 van (b): scheidingsvlak tussen aluminium en staal

Conclusie

Recente ontwikkelingen in de verbindingstechnologie bieden nieuwe mogelijkheden voor het realiseren van kwaliteitsvolle ongelijksoortige verbindingen.

Aluminium-staal-lasverbindingen vinden hun toepassingen o.a. in de transportsector en de machinebouw, waar lichtere en performante onderdelen een competitief voordeel opleveren. De keuze van de meest geschikte techniek is afhankelijk van de toepassing, seriegrootte en aard van de verbinding (puntlas, overlap, of stomplas).

Momenteel is er weinig objectieve kennis beschikbaar omtrent de technische haalbaarheid van het gebruik van elektromagnetisch pulslas en wrijvingspuntlassen voor bepaalde materiaalcombinaties of producten, noch over de eventuele verhoging van de productiviteit of over de te behalen laskwaliteit, en dus over het economisch voordeel dat de inzet van deze innovatieve processen voor de industrie kan betekenen.

Het INNOJOIN onderzoeksproject verschaft inzicht in deze moderne verbindingstechnologieën voor het verbinden van ongelijksoortige materialen en stelt bedrijven in

staat de geschikte verbindingstechnologie voor hun product te identificeren. Op basis van toegepast onderzoek worden de verbindingstechnologieën objectief onderzocht, zodat men een onderbouwde keuze kan maken over het al dan niet implementeren van een heterogene materiaalverbinding.

Personalia

De auteurs, ir. Irene Kwee en dr. ir. Koen Faes, zijn beiden werkzaam als onderzoeker bij het Belgisch Instituut voor Lastechniek. Zij zijn bij het BIL aanspreekpunt voor het INNOJOIN-project.

Het INNOJOIN consortium bestaat naast het BIL (Zwijnaarde, België) uit: KU Leuven Campus De Nayer (Sint-Katelijne-Waver, België), CEWAC (Ougrée, België), SLV (Halle, Duitsland) en LWF (Paderborn, Duitsland). Het project wordt uitgevoerd met steun van het IWT (Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie).