

THERMISCH VERBINDEN VAN ONGELIJKSOORTIGE PLAATMATERIALEN

EUROPEES CORNET-PROJECT INNOJOIN

In het Europese Cornet-project 'InnoJoin' werd het thermisch verbinden van ongelijksoortige plaatmaterialen bestudeerd. Recent zijn er ontwikkelingen gebeurd voor een aantal lasprocessen, die het mogelijk maken om ongelijksoortige metaalcombinaties te lassen. Dit project omvatte een brede waaier van lastechnologieën, aangeleverd door het consortium Belgisch Instituut voor Lastechniek (BIL, België), KU Leuven – De Nayer (KUL, België), Centre d'Etudes Wallon d'Assemblage et du Contrôle des Matériaux (CEWAC, België), Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt (SLV Hülle, Duitsland) en Laboratorium für Werkstoff- und Füge-technik (LWF, Universiteit Paderborn, Duitsland), evenals een brede waaier van materialen, zodat er innovatieve oplossingen voor industriële toepassingen verwacht werden. De partners hadden ook hun specifieke kennis en ervaring aangewend betreffende destructieve en niet-destructieve beproevingsmethoden, voor het genereren van vergelijkbare, relevante en correcte resultaten.

Koen Faes en Irene Kwee, Belgisch Instituut voor Lastechniek

TOEGEPAST ONDERZOEK

In het kader van dit project onderzocht het BIL de toepasbaarheid van wrijvingspuntlassen (frictionspotlassen) en het elektromagnetisch pulslasproces voor het verbinden van ongelijksoortige metalen. Het project heeft inzicht verschaft in deze nieuwe verbindingstechnologieën voor het verbinden van ongelijksoortige materialen en heeft bedrijven in staat gesteld om de geschikte verbindingstechnologie voor hun product te identificeren. De verbindingstechnologieën werden objectief onderzocht, zodat de deelnemende bedrijven een onderbouwde keuze konden maken over het al dan niet implementeren van een heterogene materiaalverbinding, op basis van toegepast onderzoek. Tijdens het project werden er ook een aantal representatieve cases uitgewerkt, gebaseerd op de inbreng van de deelnemende bedrijven.

NIEUWE PROCESSEN

Dit artikel heeft als bedoeling een overzicht te

geven van een aantal van deze processen voor het verbinden van plaatmaterialen. Hopelijk kan dit de lezer stof tot nadenken geven voor een innovatief materiaalgebruik of een 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.

De verschillende verbindingstechnologieën werden ingedeeld in vier hoofdgroepen: het weerstandlassen, het wrijvingslassen, het booglassen en het druklassen.

Groep 1: weerstandlassen

Binnen het weerstandlassen onderscheidt men twee varianten: het weerstandlassen met processtape en het weerstandelementlassen. Bij een nieuw soort puntlastangen wordt er gewerkt met een processtape ('resistance spot welding with process tape'), die geplaatst wordt tussen de elektroden en de te lassen platen (zie **figuur 1**). Deze tape laat toe de contactweerstand en de warmteontwikkeling te beïnvloeden, waardoor het mogelijk wordt om materialen met verschil-

lende diktes en zelfs ongelijksoortige materialen te lassen. Deze tape verschuift na iedere las een stukje verder over de elektroden. Dit beschermt de elektroden en het werkstuk, en voorkomt elektrodeslijtage. Hiermee is men erin geslaagd enkele van de belangrijkste problemen bij het conventioneel puntlassen op te lossen. Verdere voordelen van het proces zijn de absoluut reproduceerbare puntlassen en een opmerkelijk grotere inzetbaarheid van het nieuwe puntlasproces in vergelijking met het conventionele puntlasproces.

Een andere weerstandlastechniek, het zogenaamde weerstandelementlassen ('resistance element welding'), maakt gebruik van een toevoegmateriaal, de lasniet genaamd (zie **figuur 2**). Bij het lassen van aluminium aan staal wordt de stalen lasniet geplaatst in een perforatie in de aluminium plaat. De lasniet wordt gelast aan de stalen plaat, die onder de aluminium plaat gepositioneerd wordt.

Groep 2: wrijvingslassen

De groep wrijvingslassen omvat het wrijvingssele-



Fig. 1: weerstandlassen met processtape (bron: Fronius International, Duitsland) [9]

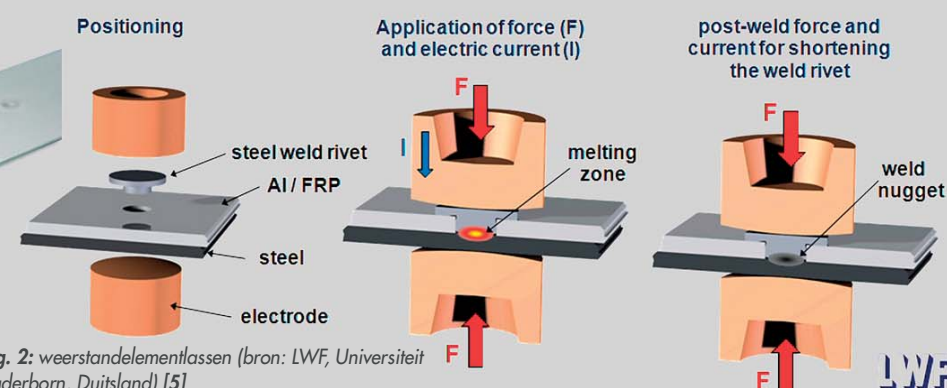


Fig. 2: weerstandelementlassen (bron: LWF, Universiteit Paderborn, Duitsland) [5]

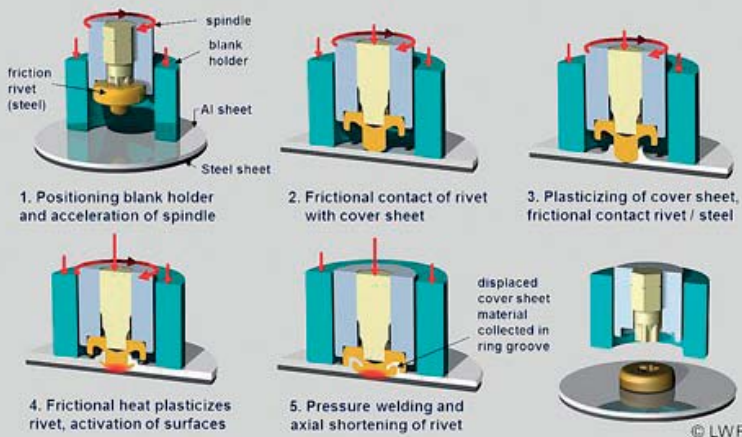


Fig. 3: wrijvingselementlassen (bron: LWF, Universiteit Paderborn, Duitsland) [5]

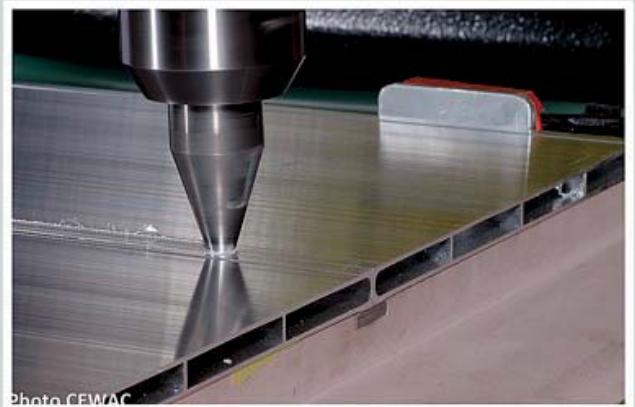


Fig. 5: wrijvingsroerlassen (bron: CEWAC, België) [3]

mentlassen, het wrijvingspuntlassen en het wrijvingsroerlassen. Bij het zogenaamde wrijvings-elementlassen ('friction element welding') wordt een hulpwerkstukje uit bijvoorbeeld staal aangewend. Dit hulpwerkstuk wordt gelast via wrijving aan een andere plaat, door een perforatie aangebracht in de topplaat (zie **figuur 3**). Diverse materiaalcombinaties zijn mogelijk, aangezien het wrijvingslasproces toelaat om een brede waaier van ongelijksoortige materialen te verbinden. Bij het wrijvingspuntlassen ('refill friction stir spot welding') worden een pin en een huls (sleeve) geroteerd (**figuur 4**). De huls maakt het materiaal plastisch en komt terecht in de ruimte binnen in 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 te creëren. Volgens sommige bronnen zou het zelfs mogelijk zijn om composieten en non-ferromaterialen te verbinden.

Bij het wrijvingsroerlassen ('friction stir welding') wordt een roterend gereedschap, bestaande uit een pin en een schouder, tussen de twee te lassen platen geduwd (zie **figuur 5**). Door de uitgeoefende druk dringt de pin tot de schouder in het materiaal.

De wrijvingswarmte die daarbij ontstaat, brengt het materiaal in een plastische toestand, zonder dat het smelt. Wanneer het gereedschap voortbewogen wordt, wordt er materiaal van de voorzijde naar de achterzijde van het gereedschap gedwongen, waarbij de verbinding op elk moment in vaste toestand gevormd wordt. Veelal zijn de gereedschappen voorzien van een soort schroefdraad die het materiaal van boven naar onder stuwt. Met dit proces is het mogelijk om zowel lijnvormige als puntlasverbindingen te creëren. In tegenstelling tot het frictionspotlassen blijft er echter wel een holte achter op het einde van de las. Verder treedt bij het wrijvingsroer-

lassen geen smelten van de materialen op, zodat de vorming van veelal nefaste intermetallische fasen binnen de perken kan blijven. Daar waar het rotationele wrijvingslassen beperkt is door het feit dat minstens een van de stukken rotatiesymmetrisch moet zijn, laat wrijvingsroerlassen het stomp- en overlappen van platen en profielen toe.

Groep 3: booglassen

De groep booglassen omvat twee varianten, namelijk het laserlassen en het boogelementlassen met een hulpverbindingsstuk. Het laserlassen ('laser welding') heeft ten opzichte van de conventionele booglasprocessen een aantal voordelen. Zo is het lasproces veel sneller en wordt er beduidend minder warmte in het basismateriaal gebracht. Dit levert een zeer smalle las op met een relatief diepe penetratie, tot diverse millimeters diep en met weinig vervorming.

Sommige ongelijksoortige materialen kunnen vaak zonder toevoegmateriaal direct gelaserd worden. Een aantal laserlasprocessen laten een heel gecontroleerde warmte-inbreng toe, hetgeen zeker bij dun plaatmateriaal bijkomende mogelijkheden biedt. Tijdens het boogelementlassen ('arc element welding') wordt een kort hulpverbindingsstuk (het zogenaamde element) gebruikt (zie **figuur 6**). Er is geen direct contact tussen de bovenste plaat en de onderste plaat, maar het hulpstuk garandeert het vastzetten van de bovenste plaat op de onderste plaat in een verbinding die voornamelijk gebaseerd is op vorm en gedeeltelijk gebaseerd is op interferentie. Hierdoor wordt een lasverbinding gecreëerd tussen het hulpstuk en de onderste plaat. Bestaande varianten van deze verbindingstechnologie zijn stiftlassen en de procesvarianten met een condensatorontlading. In dat opzicht maakt het hulpverbindingsstuk deel uit van het onderzoek dat werd ontwikkeld.

Groep 4: druklasprocessen

Elektromagnetisch pulslassen ('electromagnetic pulse welding') behoort tot de groep van de druklasprocessen (zie **figuur 7**). Bij deze lasprocessen kan een metaalbinding verwezenlijkt worden tussen twee oppervlakken door ze tegen elkaar te drukken. Magnetisch pulslassen is een druklasproces waarbij de vervorming en de impact gebeuren aan een zeer hoge snelheid, net zoals bij het explosielassen. De explosieve kracht wordt echter gegenereerd op een veilige manier, namelijk via een inductiespoel. Dit procedé bezit de mogelijkheid om verbindingen te realiseren tussen sterk verschillende metalen en legeringen, die met de conventionele smeltlasprocedures moeilijk te verbinden zijn.

ONDERZOCHE MATERIAALCOMBINATIES

De materiaalcombinaties werden geselecteerd door middel van het bestuderen van de verschillende marktsegmenten. Hieruit werden er representatieve combinaties gekozen uit de automobielsector, koelingstoepassingen, de elektronica, de voeding, de tankbouw en de geveltechniek.

Materiaalcombinatie 1: aluminium & staal

- aluminium: EN-AW 5182 (AlMg_{4,5}Mn_{0,4}) – plaatdikte: 2,0 mm;
- staal: MS-WV1200+ ZE50/50 (HDT1200M) – plaatdikte: 1,5 mm.

Materiaalcombinatie 2: non-ferrolegering & non-ferrolegering

- aluminium: EN-AW 1050 (H14/24) – plaatdikte: 1,0 mm;
- koper: Cu-ETP (R240) – plaatdikte: 1,0 mm.

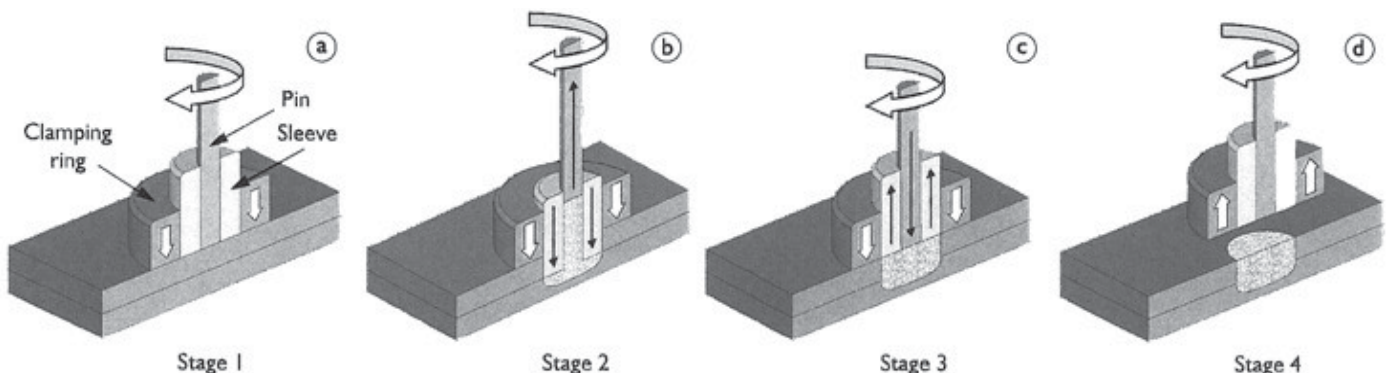
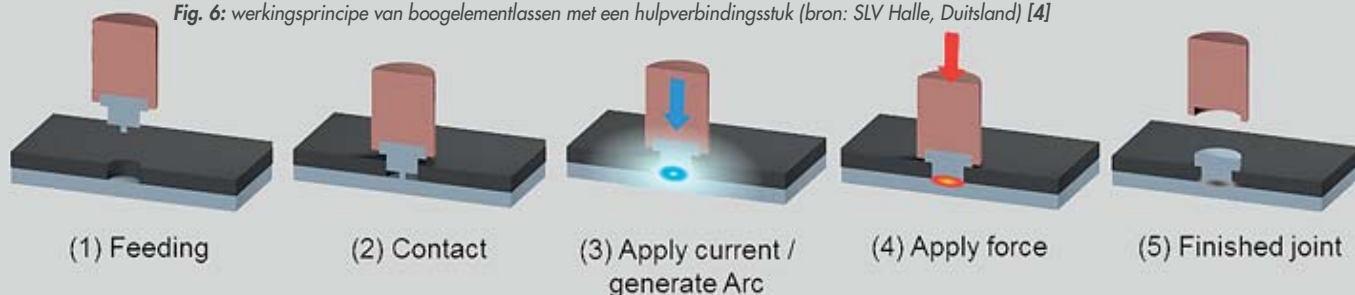


Fig. 4: wrijvingspuntlassen (bron: Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Duitsland) [6]

Fig. 6: werkingsprincipe van boogelementlassen met een hulpverbindingsstuk (bron: SLV Halle, Duitsland) [4]



Materiaalcombinatie 3: hoogsterkstaal & roestvast staal

- hoogsterkstaal: HCT780X+ZE50/50 – plaatdikte: 1,5 mm;
- roestvast staal: H800 (1.4378) – plaatdikte: 1,5 mm.

HAALBAARHEIDSTUDIE

De volgende tabel presenteert de resultaten van de haalbaarheidsstudie van de verschillende verbindingstechnologieën voor de beoogde materiaalcombinaties. Zoals opgemerkt kan worden in dit overzicht, waren niet alle processen geschikt voor het lassen van alle materiaalcombinaties. De resultaten zullen verder besproken worden in de volgende secties.

CRITERIA VAN DE VERBINDINGSTECHNOLOGIEËN

Gebaseerd op de experimentele onderzoeken en de laskarakterisatie, werd een vergelijking gemaakt van de verschillende verbindingstechnologieën, gebaseerd op de benchmarkcriteria, gedefinieerd door het consortium. Daarnaast werden er criteria opgesteld waarbij een vergelijking werd gemaakt tussen de onderzochte lastechnieken en mechanische verbindingstechnieken.

Benchmarkcriteria

De volgende benchmarkcriteria werden gebruikt om de prestatie van de lassen voor elke verbindingstechnologie te evalueren:

- quasistatische afschuifsterkte;

- quasistatische dwarse treksterkte;
 - afschuifsterkte onder hoge vervormingssnelheden;
 - vermoeiingsgrens;
 - corrosieweerstand: visuele kwalificatie en quasistatische afschuifsterkte na corrosietesten.
- De volgende conclusies werden getrokken, gebaseerd op de benchmarkcriteria.

Materiaalcombinatie 1: EN-AW 5182 (plaatdikte: 2,0 mm) & MS-W1200+ZE50/50 (plaatdikte: 1,5 mm)

- Wrijvingselementlassen was de beste verbindingstechnologie, aangezien de beste mechanische eigenschappen werden behaald (op het vlak van quasistatische afschuifsterkte, afschuifsterkte onder hoge vervormingssnelheden en quasistatische dwarse treksterkte). Bovendien bood dit proces de hoogste corrosieweerstand, aangezien de hoogste afschuifsterkte na afloop van de corrosietesten en de laagste gevoeligheid voor corrosie werd vastgesteld. Een metallografische dwarsdoorsnede van een lasverbinding via wrijvingselementlassen wordt geïllustreerd in **figuur 8**.
- Wrijvingspuntlassen resulteerde in verbindingen met de laagste kwaliteit, in het bijzonder betreffende de corrosieweerstand. Een voorbeeld van een lasverbinding via wrijvingspuntlassen en de bijbehorende metallografische dwarsdoorsnede wordt getoond in **figuur 9** en **figuur 10**.
- Weerstandpuntlassen met procestape, weerstandelementlassen en boogelementlassen werden beschouwd als 'gemiddelde' verbindingstechnologieën.

Materiaalcombinatie 2: EN-AW 1050 (plaatdikte: 1,0 mm) & Cu-ETP (plaatdikte: 1,0 mm)

- Elektromagnetisch pulslassen was de beste verbindingstechnologie, aangezien lassen met de hoogste mechanische eigenschappen werden behaald (op het vlak van quasistatische afschuifsterkte, afschuifsterkte onder hoge vervormingssnelheden en quasi-statische dwarse treksterkte). Bovendien bood dit proces de hoogste corrosieweerstand, aangezien de hoogste afschuifsterkte na corrosietesten en de laagste gevoeligheid voor corrosie werd behaald.
- **Figuur 11** toont een metallografische dwarsdoorsnede van een lasverbinding tussen een aluminium en een koperen plaat, via de elektromagnetische pulstechnologie.
- Boogelementlassen resulteerde in verbindingen met de laagste kwaliteit, zowel op het vlak van de behaalde mechanische eigenschappen als de corrosieweerstand.
- Weerstandpuntlassen met procestape, weerstandelementlassen, wrijvingslassen, wrijvingspuntlassen en wrijvingselementlassen werden beschouwd als 'gemiddelde' verbindingstechnologieën. Een voorbeeld van een metallografische

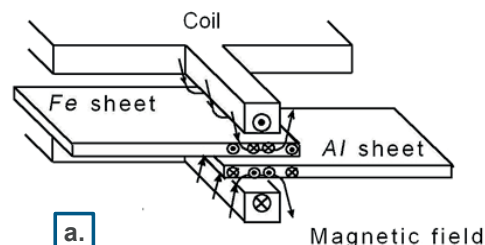


Fig. 7a en 7b: magnetisch pulslassen van plaatmateriaal (bron: [7] & PST products, Duitsland [8])

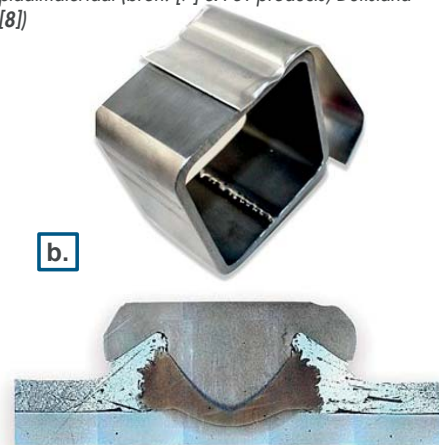


Fig. 8: metallografische dwarsdoorsnede van een lasverbinding tussen een aluminium legering en staal via wrijvingselementlassen (bron: EJOT EJOWELD® [10])

	MATERIAALCOMBINATIE 1: ALUMINIUM & STAAL EN-AW5182 (2,0 MM) + MS-W1200 (1,5 MM)	MATERIAALCOMBINATIE 2: NON-FERRO & NON-FERRO EN-AW 1050 (1,0 MM) + CU-ETP (1,0)	MATERIAALCOMBINATIE 3 HOOGSTERKTE- & ROESTVAST STAAL HCT800X (1,5 MM) + H800 + X(1,5 MM)
WEERSTANDSLASSEN MET PROCESTAPE (KUL)	Geschild	Geschild	Geschild
WEERSTANDELEMENTLASSEN (LWF)	Geschild	Geschild	Geschild
WRIJVINGSELEMENTLASSEN (LWF)	Geschild	Geschild	Ongeschild
WRIJVINGSPUNTSLASSEN (BIL)	Geschild	Geschild	Ongeschild
WRIJVINGROERLASSEN (CEWAC)	Ongeschild	Geschild	Ongeschild
LASER LASSEN (CEWAC)	Ongeschild	Ongeschild	Ongeschild
BOOGLEMENTLASSEN (SLV)	Geschild	Geschild	Geschild
ELEKTROMAGNETISCH PULSLASSEN	Ongeschild	Geschild	Ongeschild

Tabel 1: overzicht van de resultaten van de haalbaarheidsstudie, per materiaalcombinatie en per verbindingstechniek

Fig. 9: lasverbinding tussen een aluminium (EN AW-6082) en gegalvaniseerde stalen (MS-W1200+ZE50/50) plaat via wrijvingspuntlassen (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek) [1]

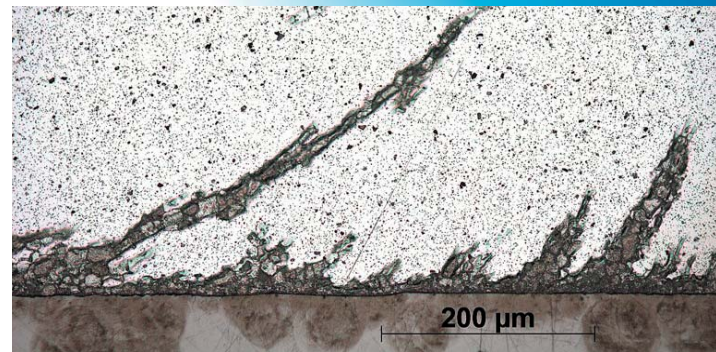


Fig. 10: metallografische dwarsdoorsnede van fig. 9: lasverbinding tussen een aluminium (EN AW-6082) en gegalvaniseerde stalen (MS-W1200+ZE50/50) plaat via wrijvingspuntlassen (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek) [1]

sche dwarsdoorsnede van een lasverbinding tussen een koperen en een aluminium plaat, via de weerstand-elementlassen, wordt geïllustreerd in **figuur 12**.

Materiaalcombinatie 3: HCT600X (plaatdikte: 1,5 mm) & H800+ X (plaatdikte: 1,5 mm)

- Weerstandpuntlassen met processtape was de beste verbindingstechnologie, aangezien lassen met de hoogste mechanische eigenschappen werden behaald (op het vlak van quasistatische afschuifsterkte, afschuifsterkte onder hoge vervormingssnelheden, quasistatische dwarse treksterkte en vermoeiing). **Figuur 13** toont een metallografische dwarsdoorsnede van een lasverbinding tussen een hoogsterktestaal en een roestvaststalen plaat, via weerstandpuntlassen met processtape. Dit proces veroorzaakt echter een hogere gevoeligheid voor corrosie, in vergelijking met boogelementlassen.
- Boogelementlassen resulteerde in verbindingen met de laagste mechanische eigenschappen, maar tegelijkertijd vertoonden deze verbindingen ook de minste gevoeligheid voor corrosie.
- Alhoewel laserlassen een significant hogere quasistatische afschuifsterkte vertoonden in vergelijking met de andere verbindingstechnologieën, was dit proces niet toepasbaar voor deze materiaalcombinatie, aangezien er stollingsscheuren aanwezig waren. Daarom werd dit proces niet in overweging genomen bij het opstellen van de benchmark.

SAMENVATTING

Het INNOJOIN project heeft nieuwe gelegenheden gecreëerd voor het vervaardigen van hybride componenten, door middel van het valideren van de voorgestelde technologieën die voorhanden zijn om ongelijksoortige plaatmetalen te verbinden.

Acht lasverbindingstechnieken werden geselecteerd en onderverdeeld in vier verschillende hoofdgroepen:

- **weerstandlassen:** weerstandelementlassen met processtape en weerstandelementlassen;
 - **wrijvingslassen:** wrijvingselementlassen, wrijvingspuntlassen en wrijvingsroerlassen;
 - **booglassen:** laserlassen en boogelementlassen met een hulpverbindingssstuk;
 - **drukprocessen:** elektromagnetisch pulslaslassen.
- De voorgestelde processen werden bestudeerd op een gestructureerde manier voor elk van de drie industrieel relevante materiaalcombinaties. Voor elk verbindingproces en materiaalcombinatie werden de passende randvoorwaarden, de procesparameters en de eva-

luatie van de voor- en nadelen bestudeerd. Dit werd gedaan met behulp van zowel destructieve als niet-destructieve proeven en corrosie-analyse.

Bovendien werden de verbindingprocessen verder ontwikkeld om zo het proces af te stemmen op de geselecteerde materiaalcombinaties. Systematische en betrouwbare kennis werd gegenereerd aangaande de toepasbaarheid van deze veelbelovende nieuwe verbindingprocessen voor industriële materiaalcombinaties en toepassingen.

Dit liet toe om de verschillende verbindingprocessen te vergelijken en een finale ranking op te stellen voor elke materiaalcombinatie, gebaseerd op de benchmarkcriteria die opgesteld werden door het consortium.

Een samenvatting van de belangrijkste resultaten uit het INNOJOIN project vindt u in de volgende link:

http://www.bil-ibs.be/sites/default/files/INNOJOIN/innjoin_-_summary.pdf

Indien u interesse heeft in dit onderzoek, kunt u contact opnemen met het Belgisch Instituut voor Lastechniek:

Contact: Koen Faes
09/292.14.00
Koen.Faes@bil-ibs.be

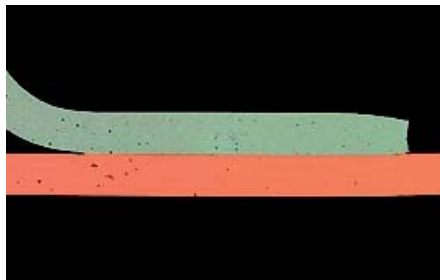


Fig. 11: metallografische dwarsdoorsnede van een elektromagnetische pulslasverbinding tussen een aluminium (EN-AW 1050) en koperen (Cu-ETP) plaat (bron: Belgisch Instituut voor Lastechniek) [1]

REFERENTIES

- [1] Belgisch Instituut voor Lastechniek, België. <http://www.bil-ibs.be/onderzoek>
- [2] KU Leuven, campus De Nayer. <https://iiv.kuleuven.be/onderzoek/op/research/welding>
- [3] CEWAC, België. Online beschikbaar: <http://www.cewac.be>
- [4] Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt (SLV) Halle, Duitsland. Online beschikbaar: <https://www.slv-halle.de>
- [5] Laboratorium für Werkstoff- und Fügetechnik (LWF), Universiteit Paderborn, Duitsland. <https://mb.uni-paderborn.de/lyf>
- [6] Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Duitsland. <https://www.hzg.de/index.php.de>
- [7] Aizawa T., Kashani M. en Okagawa K. Application of magnetic pulse welding for aluminium alloys and SPCC steel sheet joints. In: Welding Research, Welding Journal. Mei 2007 (86) 119-124
- [8] PST Products, Duitsland. <http://www.pstproducts.com>
- [9] Fronius International, Duitsland. https://www.fronius.com/cps/rde/xchg/SID-E0963B62-9018FE93/fronius_international/_hs.xsl/1001_ENG_HTML.htm
- [10] EJOT EJOWELD, Verenigd Koninkrijk. <http://www.ejot.co.uk>

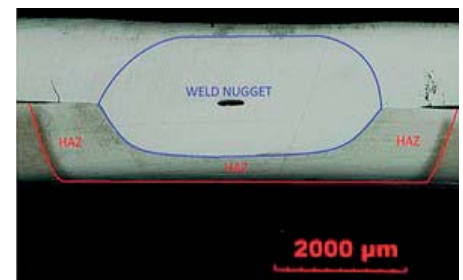


Fig. 13: metallografische dwarsdoorsnede van een lasverbinding tussen een hoogsterktestaal en een roestvaststalen plaat, via weerstandlassen met processtape (bron: KU Leuven, campus De Nayer, België) [2]

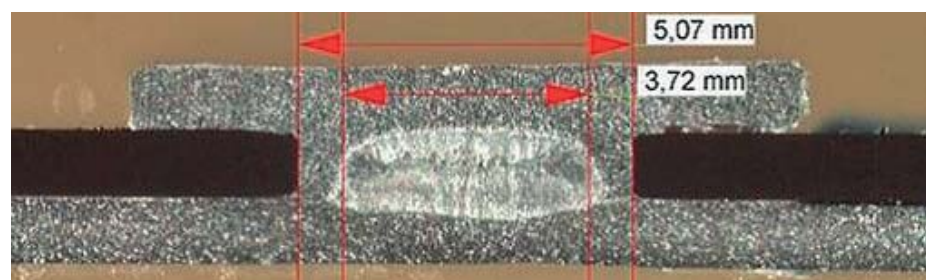


Fig. 12: weerstandelementlassen tussen een koperen en aluminium plaat (bron: LWF, Universiteit Paderborn, Duitsland) [5]