

# Project “HYBRISONIC” :

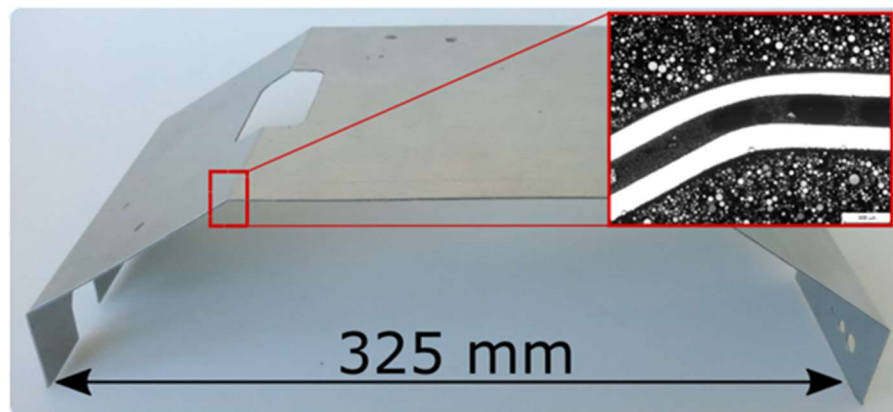
## Ultrasonic supported processing of hybrid materials

### Technisch jaarverslag

#### Beschrijving van de uitgevoerde activiteiten

In het HYBRISONIC project wordt een onderzoek uitgevoerd omtrent het thermisch verbinden van sandwichpanelen, vaak ook metaal-kunststof-composieten (MPCs) genoemd (zie Figuur 1). De beschouwde materialen zijn opgebouwd uit 2 metaalplaten (de zgn. “skins”) met daartussen een dunne laag polypropyleen (PP), gebruikt voor de productie van reclameborden, bouwpanelen, motorafschermingen, etc. Wanneer omwille van de sterkte van de verbinding, esthetische of andere redenen mechanische verbindingstechnieken niet gebruikt kunnen worden, zijn thermische verbindingprocessen een interessant alternatief.

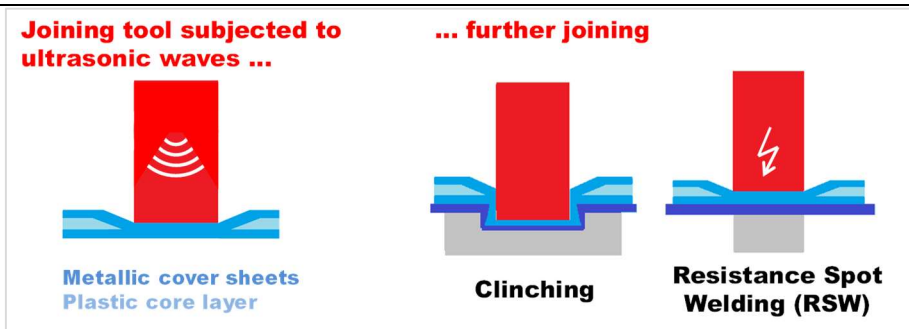
Echter is het gebruik van deze processen een uitdaging voor het verkrijgen van hoogkwalitatieve verbindingen. De plastic tussenlaag is uitermate gevoelig voor thermische degradatie, waardoor de conventionele smeltlasprocessen nauwelijks toepasbaar zijn.



*Figuur 1: Hylite MPC*

**Nieuwe hybride verbindingstechnieken** worden hiervoor ontwikkeld en uitgetest op verschillende materialen. In het project zal de focus liggen op 4 verbindingstechnieken; meer bepaald clinchen, riveteren, weerstandlassen en wrijvingspuntlassen. Om ervoor te zorgen dat de sandwichplaten kunnen verbonden worden met deze technieken moet de plastic kern lokaal gesmolten en weggedrukt worden. Twee concepten voor het wegdrukken van de plastic kern worden onderzocht.

- Het eerste concept is het ontwikkelen van een hybride verbindingstechniek, meer bepaald een combinatie van ultrasoon lassen en clinchen of weerstandlassen (Figuur 2). Voor dit concept werd een sonotrode voor het genereren van de ultrasone trillingen geïntegreerd in de verbindingstools. Door de ultrasone trillingen wordt de plastic kern van de sandwichplaat weggedrukt zodat de platen verbonden kunnen worden als monolithische materialen.
- Een tweede aanpak maakt ook gebruik van ultrasone trillingen om de plastic kern te verplaatsen, maar als voorafgaandelijke stap (sonotrode geïntegreerd in een vervormingstool; Figuur 3). Nadien worden de behandelde platen verbonden met zelfpensend riveteren of wrijvingspuntlassen.



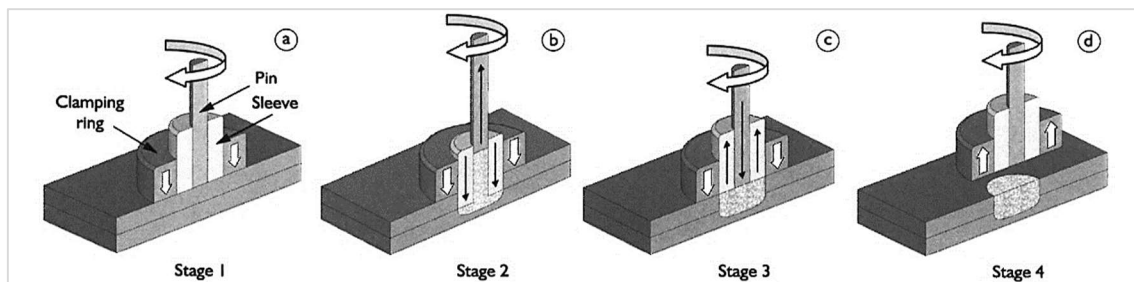
Figuur 2: Concept 1



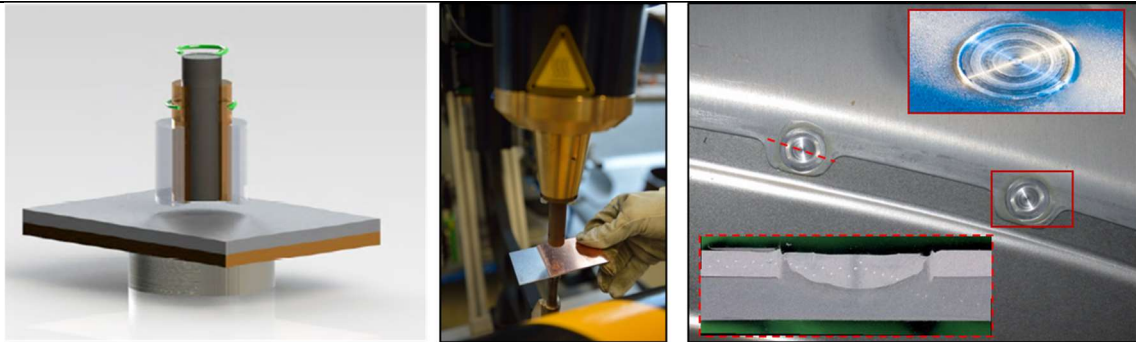
Figuur 3: Concept 2

De taken van het Belgisch Instituut voor Lastechniek waren gericht op het onderzoek naar het wrijvingspuntlassen, volgens het 2<sup>de</sup> concept hierboven uitgelegd.

**Wrijvingsroerlassen** (refill friction stir spot welding; RFSSW) is geschikt voor het thermisch verbinden van aluminiumlegeringen, in het bijzonder voor het lassen van de geavanceerde of moeilijk lasbare legeringen. Deze vrij nieuwe aanpak resulteert in puntlasverbindingen met aanzienlijk minder materiaalverlies en een merkbaar vlakker oppervlak in tegenstelling tot het traditionele wrijvingsroerlassen. De verbinding wordt verwezenlijkt door de combinatie van wrijvingswarmte en plastische vervorming, die beiden bijdragen tot de plasticering van de materialen. Het lasprocédé bestaat uit 4 opeenvolgende stadia zoals getoond in de onderstaande figuur.



Figuur 4: Schematische voorstelling van het RFSSW-proces



Figuur 5 : Wrijvingspuntlassen

## **WERKPROGRAMMA**

Ten opzichte van het oorspronkelijke werkprogramma werden heel wat meer onderzoekstaken uitgevoerd door het BIL. Dit wordt verduidelijkt in het overzicht hieronder.

### **WP1 - Materiaalselectie en karakterisering van basismaterialen**

De taken van dit werkpakket werden uitgevoerd zoals gepland. Het BL heeft zich geconcentreerd op de volgende taken :

- Taak 1.1 : Selectie van materialen
- Taak 1.2 : Karakterisering van de metalen materialen

De selectie van de te onderzoeken materialen (MPCs en conventionele materialen) werd uitgevoerd op basis van :

- een review van de state-of-the-art wat betreft de beschikbare materialen,
- interactie met fabrikanten,
- interactie met de gebruikersgroep.

### **WP2 - Onderzoek van het polymeer verwarmings- en verdringingsproces**

De voorziene taken waren de verantwoordelijkheid van de Duitse partners in het project :

- Taak 2.1 : FE-modellering van het ultrasoon verwarmings- en verdringingsproces
- Taak 2.2 : Experimenteel onderzoek van het ultrasoon verwarmings- en verdringingsproces
- Taak 2.3 : Validatie en verificatie van de FE-modellen
- Taak 2.4 : Bepaling van procesparameters van het ultrasoon polymeer verwarmings- en verdringingsproces

Het BIL had geen activiteiten in dit werkpakket, doch heeft echter zelf een aantal technieken onderzocht voor het verplaatsen van de plastic polypropyleen (PP) kern van de MPC materialen.

#### **A. Verplaatsing van de PP kern via de RFSSW tool**

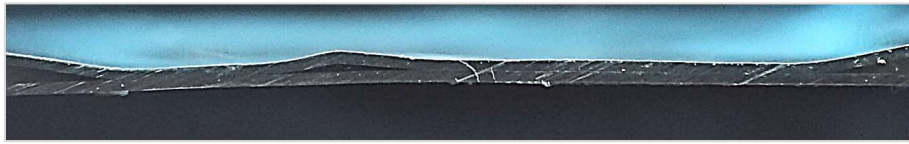
Het doel van deze experimenten was het onderzoeken van de mogelijkheden om de PP-kern van de MPC materialen te verplaatsen door de wrijvingswarmte gegenereerd door de RFSSW tool, op basis van de wrijvingsweerstand die de RFSSW-gereedschap ondervindt tijdens zijn beweging.

Bovenop het MPC materiaal werd een aluminium plaat gemonteerd (EN AW-6082-T6; dikte : 1,5 mm). De RFSSW tool wordt in deze aluminium plaat gedrukt, waardoor lokaal warmte gegenereerd wordt die de PP-kern doet smelten. Door de kracht uitgeoefend op de RFSSW tool wordt de gesmolten PP-kern lokaal weggedrukt.

Voor het genereren van wrijvingswarmte via de RFSSW tool werden verschillende concepten bestudeerd, afhankelijk van het gedeelte van de tool die eerst in de aluminium plaat wordt gedrukt; de stift of de huls.

Het gebruik van de stift plunge methode (pin plunge) leidde tot het perforeren van beide werkstukken. Daarom werd onderzocht of de huls plunge methode (sleeve plunge) betere resultaten opleverde. Combinaties van beide methodes werden eveneens onderzocht, nl. het gebruik van meerdere plunge-cycli (bijv. pin-sleeve plunge). Hierbij werd vastgesteld dat de warmte-inbreng te sterk verhoogde, wat leidde tot het effectief aan elkaar lassen van beiden materialen, waardoor de MPC niet meer kon gebruikt worden in een later stadium van dit onderzoek.

Het meest acceptabele resultaat werd verkregen door gebruik van de sleeve plunge variant, zie Figuur 6. De indringdiepte (plunge depth; PD) en de lastijd (joining time, JT) waren de meest doorslaggevende parameters.



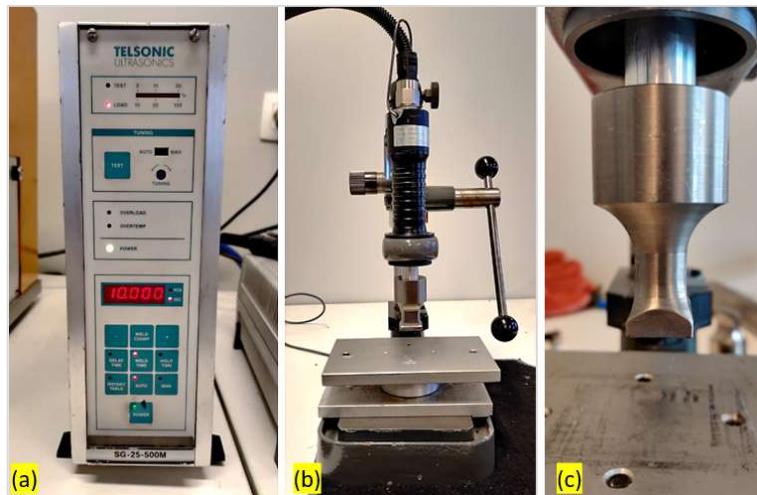
Figuur 6: MPC met lokaal verplaatste kern

### B. Verplaatsing van de PP kern door ultrasonische vibraties

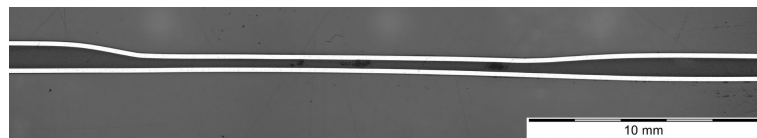
De aanpak is gebaseerd op het lokaal introduceren van ultrasonische energie in de MPCs via een sonotrode. De sonotrode genereert ultrasonische vibraties, in een richting loodrecht op het plaatoppervlak. Hierdoor wordt wrijvingswarmte opgewekt waardoor de PP kern lokaal smelt. Deze smeltfase wordt gevolgd door het verhogen van de klemkracht om het geplastificeerde polymeer uit de toekomstige laszone weg te drukken.

Er werd gebruik gemaakt van een rechthoekige, 36kHz sonotrode, gemonteerd op een handbediende pers waar de kracht manueel wordt gegenereerd en afgeregeld. Echter is het gebruik van een niet-afgerond sonotrode-oppervlak niet optimaal, aangezien scheuren zich kunnen vormen in het vervormde oppervlak.

Uit de experimenten volgde dat het quasi onmogelijk was om een volledige verplaatsing van de polymeer kern te bekomen. Ook was het resultaat niet geheel herhaalbaar; de restdikte van de bewerkte samples varieerde. In sommige gevallen was het zelfs noodzakelijk de plaat tweemaal te bewerken. Eén van de redenen was de coating op de MPC materialen, daar zijn lage wrijvingscoëfficiënt de warmte-ontwikkeling belemmert. Verder werd ook duidelijk dat eens de sonotrode warmer werd, de voorbehandeling sneller verliep. Nadat deze verplaatsingscyclus werd uitgevoerd, bedroeg de resterende dikte van de MPC ongeveer  $\pm 0,6$  mm.



Figuur 7: Gebruikte opstelling : (a) TelSonic UHG-50 US-lasapparatuur; (b) handmatig bediend pistool; (c) rechthoekige sonotrode



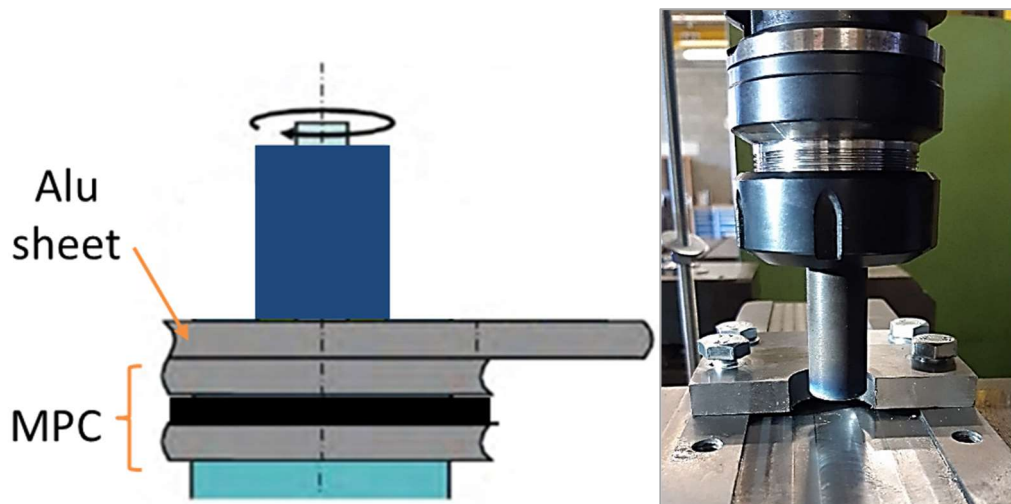
Figuur 8: Hylite MPC, met ultrasoon verplaatste polymeer kern

### C. Verplaatsing van de PP kern door wrijvingswarmte

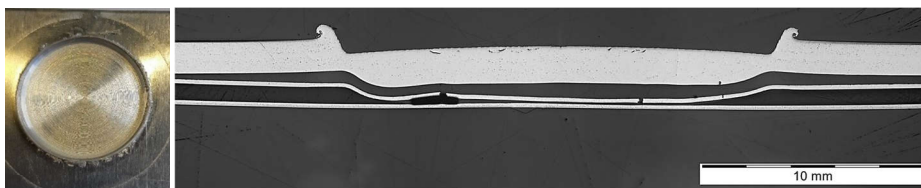
In dit geval wordt de wrijvingswarmte gegenereerd door een cilindrische tool (met een diameter van 20 mm) met afgeronde randen en gemaakt uit gehard staal (42CrMo4), gemonteerd op een freesmachine. Bovenop het MPC materiaal werd opnieuw een aluminium plaat gemonteerd (EN AW-6082-T6; dikte : 1,5 mm). De tool wordt al roterend in deze aluminium plaat gedrukt, waardoor wrijvingswarmte ontwikkeld wordt. Dit zorgt ervoor dat de PP kern lokaal gesmolten wordt. Door de kracht uitgeoefend op de tool wordt dit gesmolten materiaal weggedrukt uit de toekomstige laszone.

De procesparameters van belang voor de bewerking zijn de rotatiesnelheid, de axiale verplaatsingsnelheid van het gereedschap en de tijdsduur van deze axiale verplaatsing, elk binnen bepaalde grenzen om (onnodige) vervorming van de werkstukken te voorkomen.

De experimenten toonden aan dat, eens de rotatiesnelheid werd verhoogd, er groeven en/of scheuren werden waargenomen in de wrijvingszone van de aluminiumplaat. Rekening houdend met de eigenschappen van het Hylite materiaal, werd de indringdiepte beperkt tot 0,6 mm, wat leidde tot acceptabele resultaten. Het verhogen van deze parameter resulteerde in een gescheurde skin van de MPC plaat, terwijl een te lage waarde resulteerde in een kern die onvoldoende verplaatst werd.



Figuur 9: Tool gemonteerd op een freesmachine, voor het genereren van wrijvingswarmte



Figuur 10: Hylite MPC, met verplaatste polymeer kern via wrijvingswarmte

### **WP3 - Ontwerp en ontwikkeling van het ultrasone proces**

De voorziene taken waren de verantwoordelijkheid van de Duitse partners in het project.

- Taak 3.1 : Analyse van de transmissie van de ultrasone golven in de polymeerlaag
- Taak 3.2 : Ontwikkeling van de energierichtingssensoren
- Taak 3.3 : Bepaling van de optimale ultrasone systeemp parameters

Het BIL had geen activiteiten in dit werkpakket, doch heeft echter zelf een aantal technieken onderzocht voor het verplaatsen van de plastic kern van de MPC materialen. In werkpakket 3 werd een geoptimaliseerde sonotrode ontworpen en vervaardigd voor het verplaatsen van de plastic kern via ultrasone trillingen.

Tijdens de voorbereidende proeven (zie WP2) werd de kern lokaal verplaatst door ultrasone trillingen, opgewekt door een rechthoekige sonotrode met scherpe randen gemonteerd op een handmatig bediend verplaatsingsapparaat. Tijdens deze experimenten werden variaties van de resterende dikte van de tussenliggende kunststoflaag waargenomen, wat op zijn beurt de verkregen laskwaliteit bij het verbinden van deze monsters beïnvloedde.

Om het verplaatsingsproces te optimaliseren, is de juiste apparatuur vereist. Daarom werd er een nieuwe sonotrode ontworpen. De twee belangrijkste factoren van belang voor het optimaliseren van het verplaatsen van de polymeer kern zijn de resonantiefrequentie en de vorm van het oppervlak van de sonotrode. Idealiter moet deze afgeronde hoeken hebben om scheuren van de buitenste Hylite metalen platen te voorkomen wanneer ze in de MPC-plaat worden gedrukt. Bovendien moet de resonantiefrequentie worden aangepast zodat de sonotrode kan worden gemonteerd op geschikte apparatuur die deze frequentie ondersteunt.

Met een geavanceerde US-machine werd een cyclus te geprogrammeerd en werden de parameters (aanlooptijd, amplitude, etc.) geoptimaliseerd om het gewenste resultaat te bekomen. Hierdoor werd de herhaalbaarheid van het proces gegarandeerd.



*Figuur 11: Sonotrode voor het verplaatsen van de polymeer kern*



*Figuur 12: Hylite MPC materiaal met verplaatste kern via ultrasone trillingen*

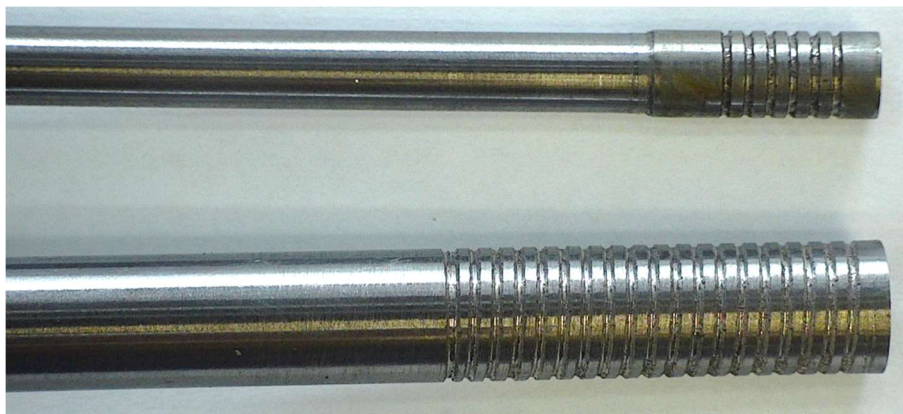
#### **WP4 - Tooling-technologieën voor ultrasoon ondersteunde verbindingprocessen**

De voorziene taken in dit werkpakket waren :

- Taak 4.1 : Ontwerp van tools voor clinchen en weerstandspuntlassen (RSW)
- Taak 4.2 : Ontwerp van tools voor clinchen en wrijvingsroerpuntlassen
- Taak 4.3 : Fabricage van de tools

Het BIL was actief voor taak 4.2 en 4.3.

Voor de RFSSW lasmachine werden verschillende tools ontworpen en vervaardigd, zoals initieel voorzien (zie Figuur 13).



*Figuur 13: RFSSW tool*

## WP5 - Experimenteel onderzoek

De taken voorzien in dit werkpakket betroffen :

- Taak 5.1 : Vervaardiging van referentieverbindingen
- Taak 5.2 : Onderzoek van ultrasoon ondersteund clinchen en weerstandspuntlassen
- Taak 5.3 : Onderzoek van ultrasoon ondersteund riveteren en wrijvingspuntlassen
- Taak 5.4 : Vergelijking tussen ultrasoon ondersteunde verbindingen en conventionele verbindingen

De uitgevoerde taken door het BIL kaderen in de taken 5.1, 5.2 en 5.3.

### Taak 5.1 : Vervaardiging van referentieverbindingen

Het hoofddoel van deze experimenten was het verwerven van de nodige inzichten over de verbindingsmethodes, meer bepaald :

- de haalbare afschuifsterkte (lap shear strength; LSS) bij het toepassen van zowel de thermische als mechanische verbindingstechnieken,
- het gedrag van de dunne aluminium skinplaten van de MPC tijdens de lascyclus,
- het gedrag van de kunststoffen tussenlaag onder invloed van wrijvingswarmte.

De volgende onderzoeken werden uitgevoerd :

- toepassing van conventionele (mechanische/thermische) verbindingstechnieken (bouten, lijmen),
- lokaal verplaatsen van de kunststof tussenlaag door wrijvingswarmte (RFSSW, oscillerende ultrasoon tool, of door een schouderloze, konische tool),
- lasproeven, gebruik makend van RFSSW of ultrasoon lassen (zowel met samples met verplaatste als met niet-verplaatste kunststof kern).

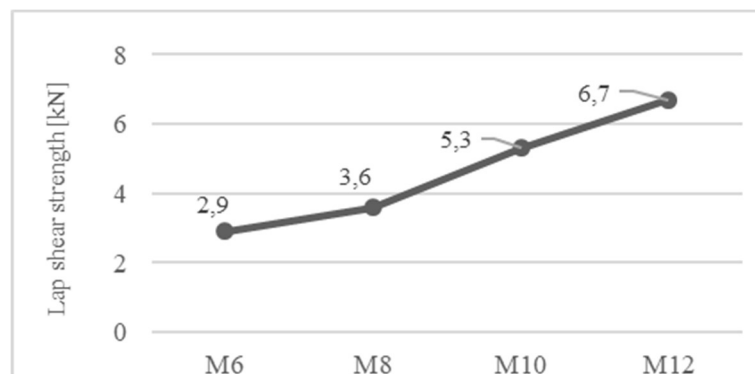
### Toepassing van conventionele verbindingstechnieken

Om de kwaliteit en sterkte van de verbindingen uitgevoerd met de nieuw ontwikkelde verbindingconcepten te beoordelen werden in een eerste fase verbindingen gerealiseerd met conventionele verbindingstechnieken. Dit onderzoek omvatte de volgende taken.

#### A. Boutverbindingen

Boutverbindingen zijn goed gekend in de meeste industriële sectoren en bestaan in talloze formaten. De metrische maten M6 t.e.m. M12 werden gekozen om MPC platen te verbinden met aluminium platen.

De behaalde sterkte wordt getoond in Figuur 14 en varieert van  $\pm 3,0$  kN voor de kleinere, tot  $\pm 7,0$  kN voor de grotere metrische maat.

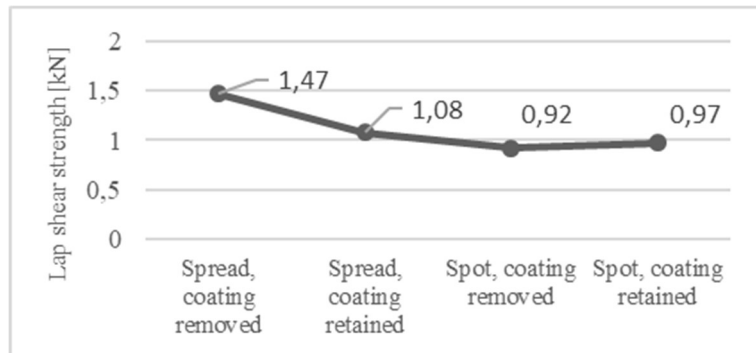


Figuur 14: Behaalde sterkte - boutverbindingen

#### B. Lijmverbindingen

Lijmverbindingen genieten de voorkeur boven mechanische verbindingen wanneer een hoge stijfheid gewenst is. In veel gevallen biedt het een alternatief voor het lassen. In totaal werden 4 configuraties onderzocht: het adhesief werd op 2 verschillende manieren aangebracht; puntsgewijs (refererend naar de (later) gebruikte lastechniek) of verdeeld

over het gehele overlappingsoppervlak. Deze experimenten werden uitgevoerd met MPCs met en zonder verwijderde coating. De resultaten van de trekproeven zijn weergegeven in Figuur 15.

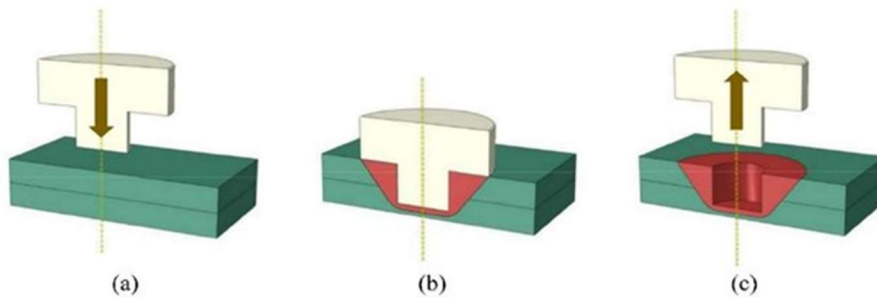


Figuur 15 : Behaalde sterkte - lijmverbindingen

Uit de grafiek blijkt dat er geen duidelijk verband is tussen de afschuifsterkte (LSS) en de gebruikte configuratie. Zelfs voor het beste resultaat ( $\pm 1,5$  kN) behaald met grotere lijmvlakken en met verwijderde coating, is de spreiding op de opgemeten sterkte ( $\pm 0,4$  kN) verhoudingsgewijs vrij groot, wat duidt op ongecontroleerde omstandigheden en wat het maken van onderlinge vergelijkingen bemoeilijkt. Verschillende factoren kunnen hieraan ten grondslag liggen, zoals de uithardings-temperatuur, -druk, of eventuele de aanwezigheid van oppervlaktevervuilingen.

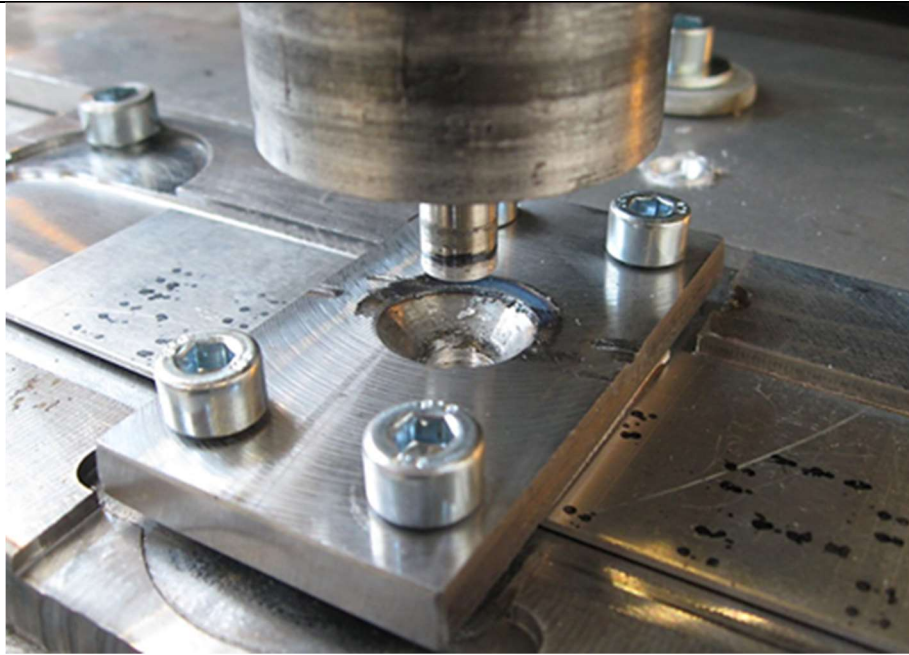
### C. Friction stir spot welding (FSSW)

Hoewel friction stir lassen niet altijd als conventionele lastechniek beschouwd wordt, werden toch verschillende experimenten uitgevoerd met gebruik van friction stir spot welding (de niet-refill variant; FSSW) voor het lassen van MPC platen aan conventionele aluminium platen. Hierbij kon een afschuifsterkte van  $\pm 1,50$  kN behaald worden. De gecreëerde metallurgische verbinding wordt gekenmerkt door de afwezigheid van porositeiten, scheuren of andere lasdefecten eigen aan FSSW, hoewel de verbinding sterk vervormd is, zoals weergegeven in Figuur 18.

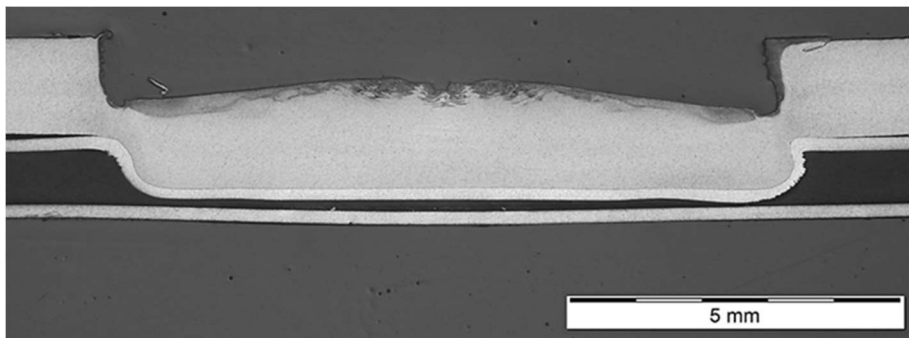


Figuur 16: Werkingsprincipe van friction stir spot welding

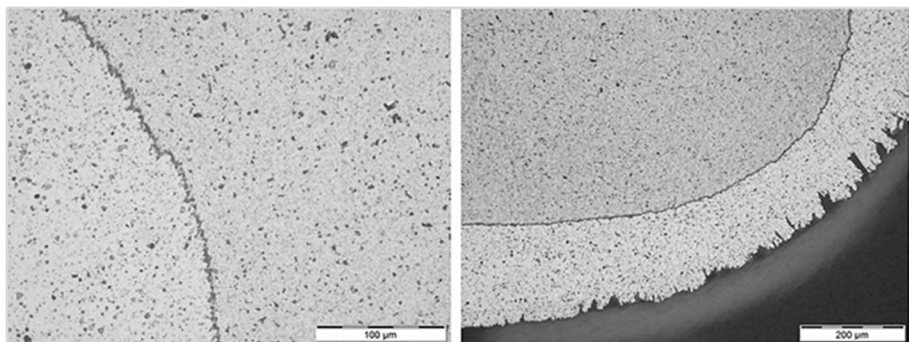




*Figuur 17: Machine gebruikt voor het friction stir spot lassen*



*Figuur 18: Doorsnede van een verbinding uitgevoerd met friction stir spot lassen*



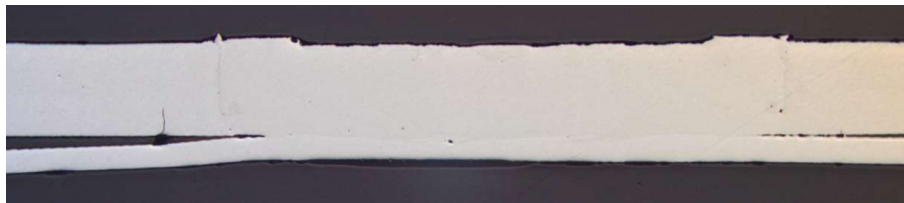
*Figuur 19: Details van Figuur 18*

Echter, de bovenplaat van de verbinding bleef niet altijd intact. In sommige gevallen werd deze zelfs geperforeerd, wat zeker de sterkte van de las op negatieve wijze beïnvloedt. De behaalde sterkte nam gemiddeld met  $\pm 0.50$  kN af. Verder lijkt het erop dat de polypropyleen tussenlaag van de MPC niet geheel gesmolten is. Een reden hiervoor kan de thermische stabiliteit zijn die de polyester coating de Hylite MPC biedt, waardoor de warmteoverdracht doorheen de verschillende werkstuklagen wordt bemoeilijkt.

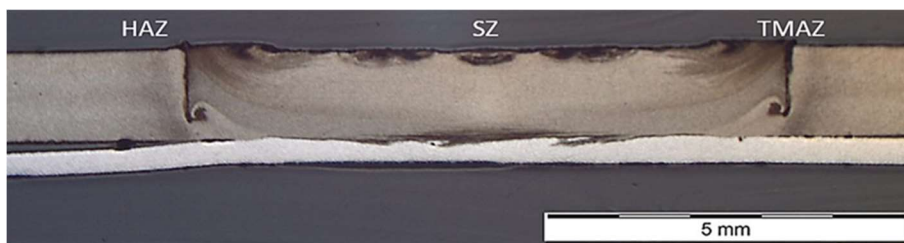
#### **D. Lasbaarheid van dik aan dun (RFSSW)**

Het doel van deze experimenten was om na te gaan of het al dan niet mogelijk was om dikke (EN AW-6082, 1.5mm) aan dunne (EN AW-5182, 0.3 mm) materialen te lassen via RFSSW, waarbij de dikte van deze laatste werd gekozen gelijk aan de dikte van de skins van de MPCs.

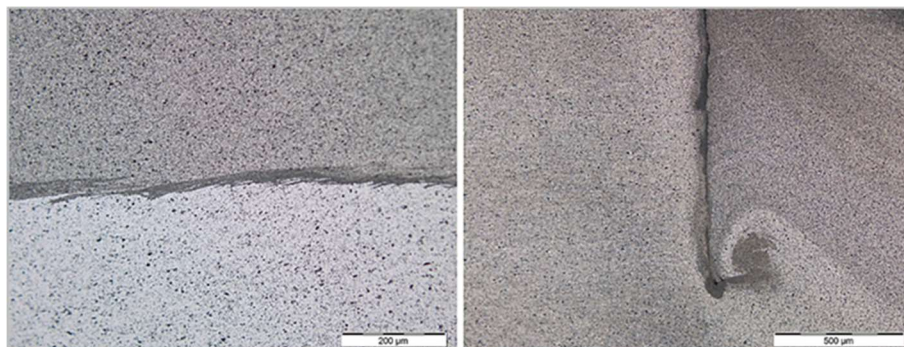
Uit het onderzoek bleek dat kwalitatieve verbindingen konden gerealiseerd worden. De typische sterkte van dergelijke verbindingen bedroeg  $\pm 2,0$  kN. Een typisch voorbeeld van een doorsnede wordt getoond in Figuur 20.



Figuur 20 : RFSSW toegepast voor het lassen van dunne aan dikke materialen



Figuur 21: RFSSW toegepast voor het lassen van dunne aan dikke materialen



Figuur 22: Detail van Figuur 21

#### **Taak 5.2 : Onderzoek van ultrasoon ondersteund clinchen en weerstandspuntlassen**

Geen taken voor het BIL.

#### **Taak 5.3 : Onderzoek van ultrasoon ondersteund riveteren en wrijvingspuntlassen**

De taak van het BIL was gericht op het gebruik van het wrijvingspuntlassen voor het verbinden van MPC platen met conventionele aluminium platen.

Naast het voorziene onderzoek met dit proces, werden er eveneens lastesten uitgevoerd met ultrasoon lassen.

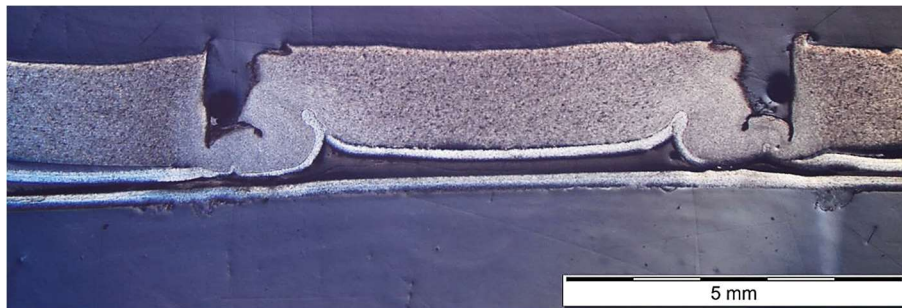
#### **Experimenten met MPC platen met US-verplaatste kern**

Eerder werd bevestigd dat de aangebrachte polyester coating op de MPC platen een belemmering is voor het gebruik van thermische verbindingprocessen. Daarom werd een mechanische verwijderingsmethode gezocht en toegepast. Het is echter mogelijk dat deze ook de metallische EN-AW5182-skins van de MPC platen kunnen verdunnen (deze hebben nl. een dikte van 0,2 mm).

Lasproeven werden uitgevoerd met het RFSSW proces, voor het verbinden van conventionele aluminium platen met de MPC platen met lokaal verplaatste polymeer kern. Hierbij werden 2 methodes gebruikt, nl. de huls- en de pinmethode, gebaseerd op het onderdeel van de tool dat gebruikt wordt om de materialen te plastificeren.

#### **A. RFSSW met de huls-methode (sleeve plunge)**

Een typische doorsnede wordt getoond in Figuur 23. De invloed van het resterende gesmolten polypropyleen in de laszone wordt prominenter wanneer de indringdiepte (plunge depth) of de lastijd verhoogd wordt. Het lijkt erop dat het overgebleven kunststof bij de verhoogde lastemperatuur (tot 400°C) niet smelt maar verbrandt, zeer brokkelig wordt en zich in het RFSSW-gereedschap ophoopt. Deze stoffen mengen zich met het geplastificeerde aluminium en worden daardoor onderdeel van de laslens, visueel waarneembaar als een zwart gekleurde groef zoals afgebeeld in Figuur 23. Aangezien polypropyleen zich niet aan metalen hecht, zal dit fenomeen de mechanische eigenschappen negatief beïnvloeden.



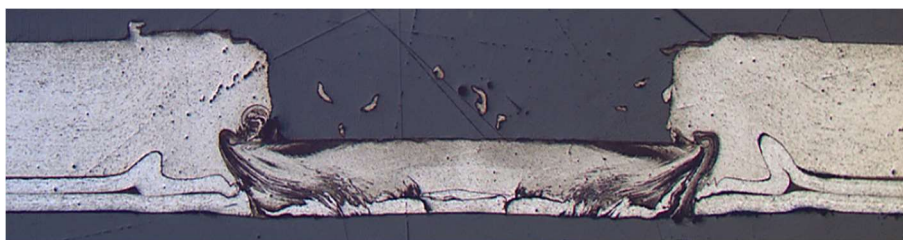
*Figuur 23: Typische doorsnede bij gebruik van de hulsmethode*

Verder zijn door middel van metallografisch onderzoek de typische lasfouten bepaald; holtes, significante zwakke onderlinge verbindingen (geen bonding ligament zone) en hooking defecten.

#### **B. RFSSW met de pin-methode (pin plunge)**

De pin-methode (pin plunge) werd onderzocht om de laskwaliteit bij gebruik van de hulsmethode (sleeve plunge) te verbeteren. Er wordt verwacht dat de pin van de tool in staat is meer wrijvingswarmte te genereren door zijn groter contactoppervlak, wat noodzakelijk is om het resterende kunststof tot smelten te brengen.

De doorsnede wordt gekenmerkt door een onvolledig vulpatroon, meerdere grote plastische vervormingsdefecten (hooking), slecht gemixte zones en een goede binding onder de stir zone (SZ). Ondanks dat het uiterlijk van de las niet optimaal is, werd trektesten uitgevoerd, wat een resultaat van  $\pm 1,0$  kN (afschuifsterkte) opleverde.



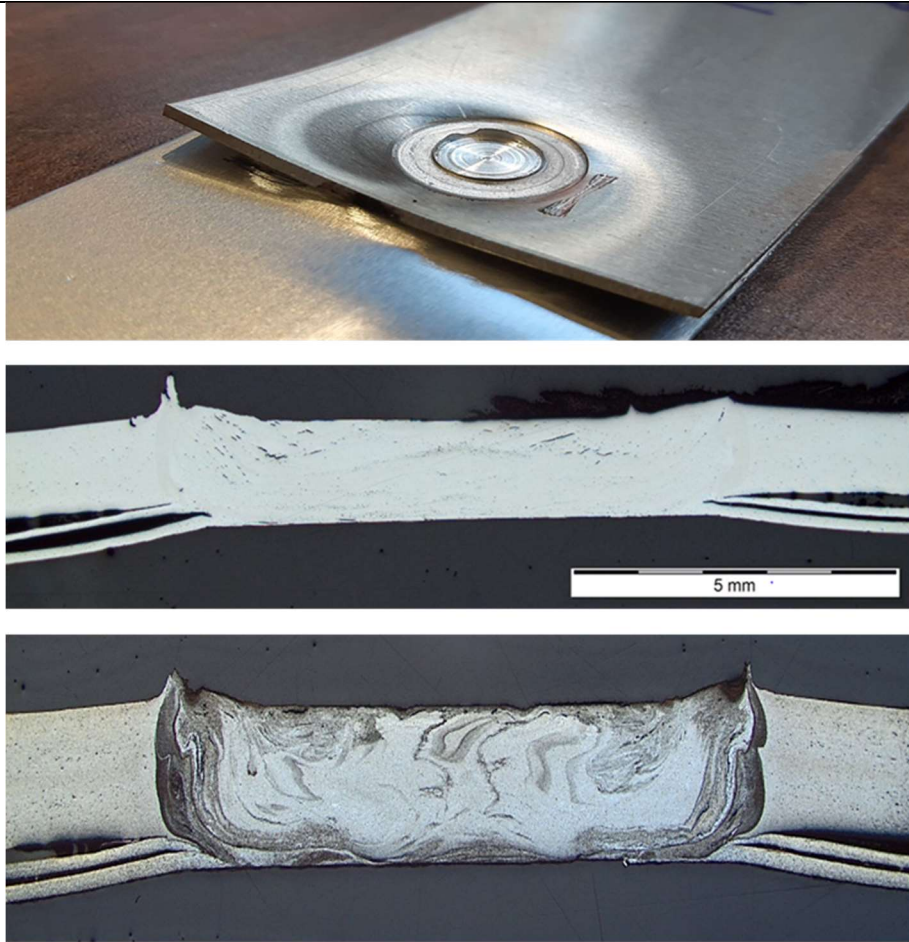
*Figuur 24: Typische doorsnede bij gebruik van de stiftmethode*

### **Lasproeven met MPC platen met niet-verplaatste plastic kern**

Lasproeven werden uitgevoerd met het RFSSW en het ultrasoon lasproces voor het verbinden van MPC materialen met conventionele aluminium platen.

#### **A. Wrijvingspuntlassen (RFSSW)**

Voor deze experimenten werden zowel het (gericht) verplaatsen van de plastic kern als het uitvoeren van de las gerealiseerd door de RFSSW-apparatuur, door het geleidelijk verhogen van de indringdiepte van de pin. Om vervolgens te verzekeren dat er geen kunststof meer in de buurt van de laszone is, dringt de huls (terwijl de pin wordt teruggetrokken) over dezelfde diepte doorheen de nog steeds (lokaal) geplastificeerde materialen. Een typisch bekomen doorsnede wordt afgebeeld in Figuur 25.

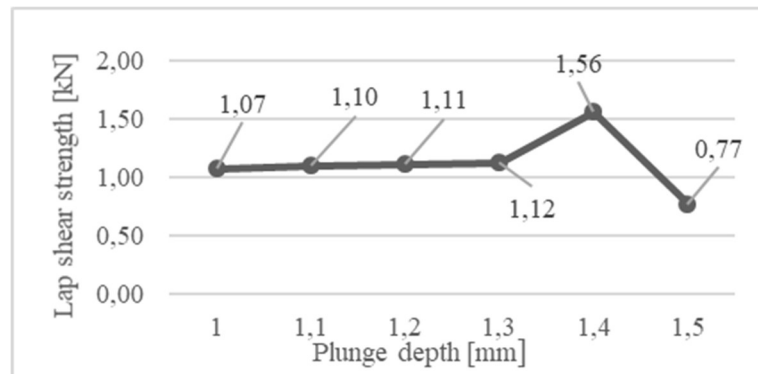


Figuur 25: Typische doorsnede, RFSSW toegepast op MPC met niet-verplaatste kern

Vervolgens werd de invloed van het toerental en de indringdiepte op de lassterkte onderzocht.

Invloed van de indringdiepte (plunge depth; PD)

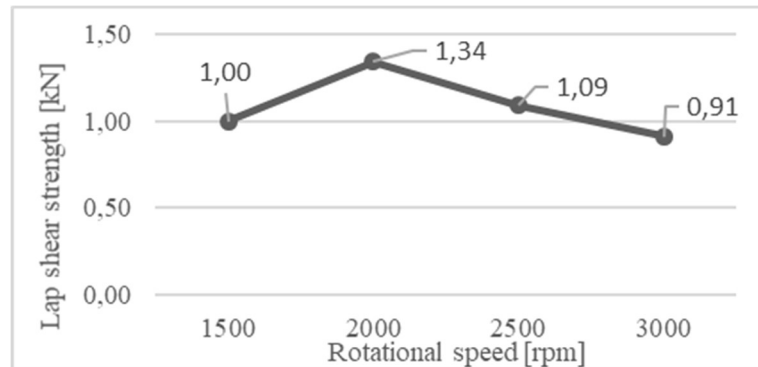
De afschuifsterkte (LSS) in functie van de PD (bij een toerental van 3000 rpm) is weergegeven in Figuur 26, waaruit blijkt dat de verkregen sterkte ongeveer gelijk is wanneer de instelling varieert tussen 1,0 tot 1,3 mm, en een maximum bereikt wordt wanneer een indringdiepte van 1,4 mm wordt ingesteld, wat gemiddeld neerkomt op  $\pm 1,56$  kN. Echter, wanneer de indringdiepte gelijk is aan de dikte van de bovenste verbindingspartner (1,5 mm), vermindert de LSS drastisch. De reden hiervoor kan zijn dat het gebruik van een te hoge indringdiepte het lasgebied en de warmte-inbreng vergroot, wat resulteert in een hogere opmenging van beide verbindingpartners.



Figuur 26: Invloed van de indringdiepte op de afschuifsterkte

### Invloed van de rotatiesnelheid (RS)

De verkregen afschuifsterkte in functie van de rotatiesnelheid bij een indringdiepte van de RFSSW-tool gelijk aan 1,3 mm wordt weergegeven in Figuur 27. Bij 2000 rpm werd de hoogste LSS van  $\pm 1,34$  kN bereikt. Verhoging tot 3000 rpm in stappen van 500 rpm, leidt tot een lineaire vermindering van de lassterkte (tot  $\pm 0,91$  kN).



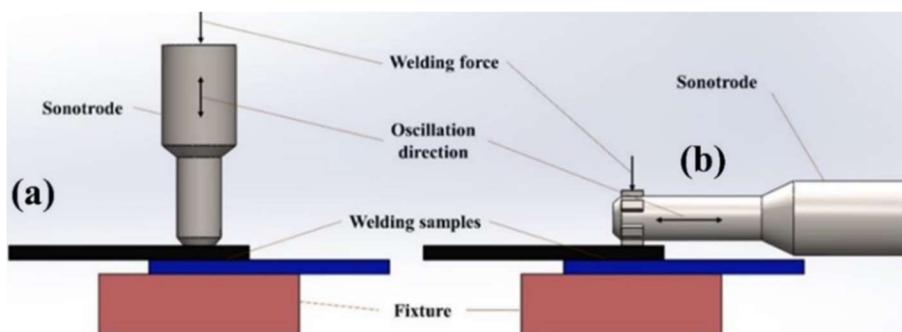
Figuur 27: Invloed van de rotatiesnelheid op de afschuifsterkte

### **B. Ultrasoon lassen (USW)**

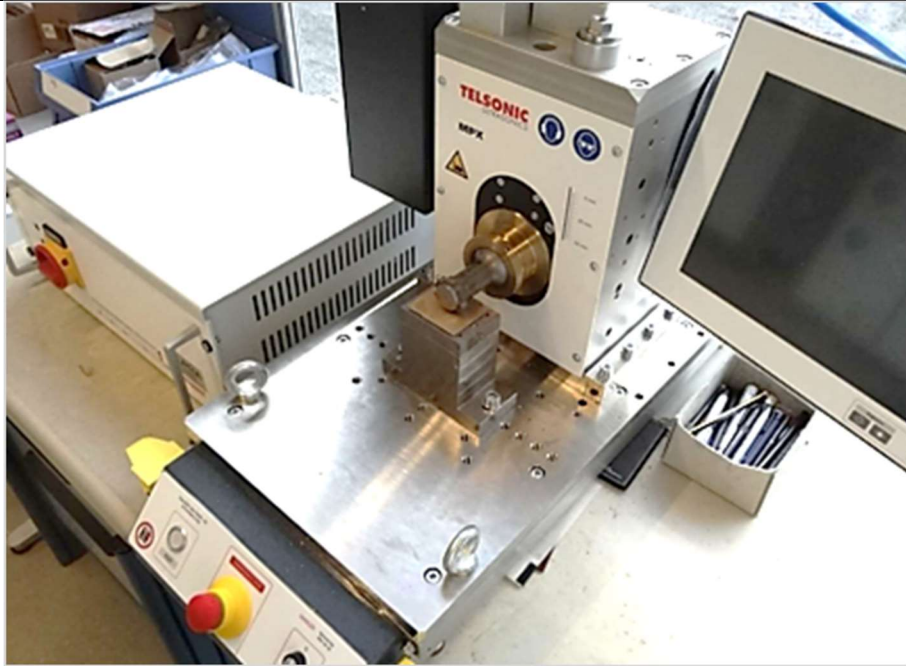
Ultrasoon lassen is een lasproces dat gebruik maakt van hoogfrequente trillingsenergie. Het is een solid-state lasproces, wat wil zeggen dat de te lassen materialen niet worden gesmolten maar in een plastische toestand worden gebracht om ze te verbinden.

De werkstukken worden samengehouden door een vrij lage statische kracht. De tip van de sonotrode staat in rechtstreeks contact met één van de te lassen stukken. Het andere werkstuk is vastgemaakt aan het aambeeld zodat dit niet kan bewegen tijdens het lassen.

Het systeem stuurt kleine, lineaire, cyclische bewegingen naar de tip van de sonotrode (Figuur 28), de zogenaamde ultrasonische vibraties. Deze vibraties zorgen ervoor dat het gekarteld patroon van de sonotrode in het bovenste werkstuk wordt gedreven, waardoor de ultrasonische energie effectief kan overgedragen worden naar de lasinterface. Bijgevolg zullen de sonotrode en het bovenste werkstuk met dezelfde fase en amplitude vibreren. Door deze vibraties ontstaat er wrijvingswarmte tussen de te lassen materialen. Dit zorgt ervoor dat de materialen plastisch worden, waardoor de bovenste component zich eenvoudig kan binden met de onderste component. Om deze reden ontstaat een verbinding op de plaats waar de tip van de sonotrode aangrijpt.



Figuur 28: Principe van ultrasoon lassen



*Figuur 29: Ultrasoon lasmachine @BIL*

De tijdsduur van een typische USW-cyclus varieert tussen 0,5 à 1 sec (voor zuivere aluminiumverbindingen). Tijdens deze proeven werd alvast duidelijk dat de lastijd sterk moest worden verhoogd, omdat het gebruik van een korte lastijd niet leidde tot een degelijke verbinding. Vervolgens wordt verwacht dat de laskracht recht evenredig is met de hoeveelheid indrukking van de werkstukken. De grootte van deze laatste is van groot belang, aangezien na het vloeibaar maken van de plastic tussenlaag het MPC over een dikte van 0,8 mm moet samengedrukt worden (d.w.z. de dikte van deze tussenlaag) opdat de te verbinden platen voldoende contact zouden maken.

Een typische doorsnede wordt getoond in Figuur 30, die de grote vervorming van de bovenste verbindingenplaat als gevolg van de lokale inwerking van de rechthoekige sonotrode illustreert. De onderliggende MPC is sterk plastisch vervormd door de afdruk van het gekartelde patroon van zowel het aambeeld als de sonotrode. Trekproeven werden uitgevoerd, wat een gemiddelde treksterkte van 0,62 kN opleverde. Deze waarden zijn opmerkelijk lager in vergelijking met de vorige besproken technieken.



*Figuur 30: Typisch lasdoorsnede van een ultrasoon las van een aluminium plaat en een MPC plaat*

#### **WP6 - Kwaliteitsbeoordeling van de verbindingen**

Taken :

- Taak 6.1 : Metallografisch onderzoek en hardheidstesten
- Taak 6.2 : Quasi-statisch testen: afschuif- en koptrekproeven
- Taak 6.3 : Vermoeiingsproeven
- Taak 6.4 : Niet-destructief onderzoek

De taken in dit werkpakket werden uitgevoerd zoals voorzien. Er werden vooral gebruik gemaakt van afschuiftrekproeven, metallografisch onderzoek en SEM-onderzoek (voor het onderzoek naar het vermengen van de PP-tussenlaag in de laszone).

#### **WP7 - Demonstratiestukken en kennisverspreiding**

Dit werkpakket is nog niet gestart.

#### **Toelichtingen bij het verder verloop van het project**

Tijdens de komende maanden zullen de volgende onderzoeken verder uitgevoerd worden.

- lasexperimenten met een nieuw ontwikkelde tool,
- uitwerken van een nieuw verbindingconcept met het RFSSW proces, waarbij er gebruik gemaakt zal worden van een additionele plaat,
- lasproeven met RFSSW gebruik makend van MPC samples met ultrasoon verplaatste kern,
- onderzoek naar het optimaliseren van het verplaatsen van de kern via wrijvingswarmte,
- onderzoek naar het verbinden van andere MPC platen met grotere dikte,
- onderzoek naar het verbinden van MPC platen onderling.

Daarnaast zal er binnenkort een overleg plaatsvinden met de gebruikersgroep om de demonstratiestukken te definiëren en verder te ontwikkelen.