

# Hybride verbindingstechniek voor lichtgewicht vliegtuigconstructies

Rivetteren is wereldwijd de meest toegepaste technologie om vliegtuigconstructies te assembleren. Nadeel van deze en andere mechanische bevestigingstechnieken is dat ze de constructie zwaarder maken. Ook zijn de operationele kosten hoog, vanwege de bijbehorende infrastructuur en (dure) verbruiksmaterialen. Daarom worden alternatieve verbindingstechnieken onderzocht.

door Koen Faes, Belgisch Instituut voor Lastechniek

**Het** onderzoeksproject DAHLIAS (Development and Application of Hybrid joining in Lightweight Integral Aircraft Structures) is gericht op het ontwikkelen en optimaliseren van een hybride verbindingstechniek voor vliegtuigconstructies. Het gaat om toepassing van het wrijvingspuntlasproces in combinatie met een sealing. Hiervoor werd een nieuw type sealing ontworpen, inclusief een oppervlakte-voorbehandelingsmethode.

## Alternatief voor mechanische verbindingen

Wrijvingspuntlassen is een solid-state verbindingstechniek, vooral geschikt voor het verbinden van lichtgewicht legeringen in gelijksoortige en ongelijksoortige materiaalcombinaties. Het proces werd met succes toegepast op moeilijk lasbare en niet-lasbare legeringen en wordt beschouwd als een potentiële kandidaat voor het vervangen van mechanische verbindingen.

In het DAHLIAS-project wordt het wrijvingspuntlassen toegepast voor het optimaliseren van de productie van complexe vliegtuigconstructies, zoals rompsecties en scheidingswanden. In combinatie met het wrijvingspuntlassen wordt een sealing (afdichting) met een lijmpromotor ontwikkeld, wat een nieuwe functie toevoegt aan conventionele sealings. De ontwikkeling van de combinatie van het wrijvingspuntlasproces en de sealingtechnologie is één van de belangrijkste wetenschappelijke uitdagingen van het DAHLIAS-project.

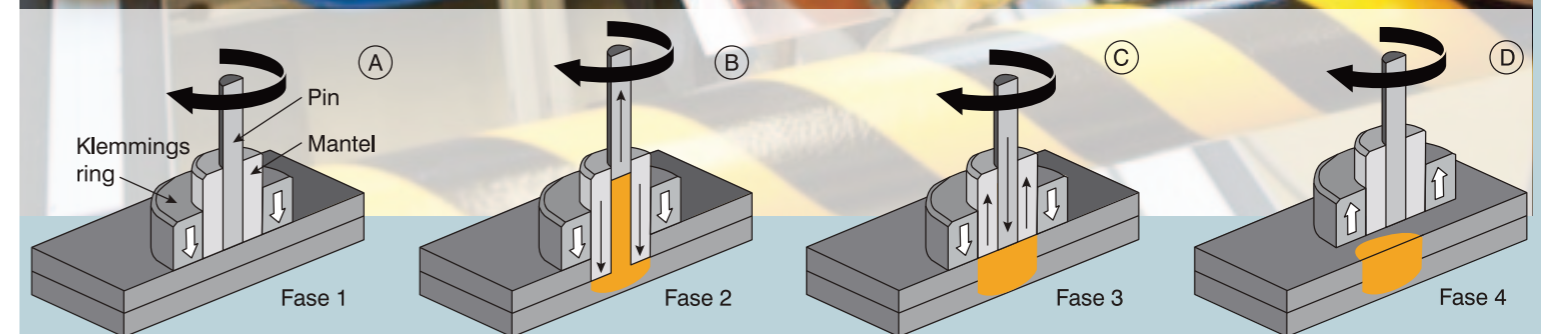
De belangrijkste voordelen van toepassing van het wrijvingspuntlassen voor vliegtuigonderdelen:

- Het is een milieuvriendelijke, gebruiksvriendelijke en energiezuinige technologie.
- Het proces leidt tot lagere assemblagekosten. Het vermindert het aantal handelingen en bewerkingen in de assemblagelijnen door het minimaliseren van het boren van gaten en het elimineren van de noodzaak van gatenpatronen voor positionering.
- Het vermijdt conventionele montagemethoden waarbij onderdelen na het boren uit elkaar moeten worden gehaald om te ontbramen.
- De montagetijd wordt verkort en de kwaliteit wordt verbeterd door automatisering van de werkzaamheden in de montage.

## Werkprogramma DAHLIAS

Het werkprogramma van het DAHLIAS-project bestaat in totaal uit acht werkpakketten, WP1 tot en met WP8. In dit artikel worden de resultaten gepresenteerd van de eerste vijf werkpakketten:

- **WP1**  
Ontwikkeling van optimale procesparameters voor het wrijvingspuntlasproces, zónder sealing. De legeringen AA2024-T3 en AA7075-T6 werden gelast in gelijksoortige en ongelijksoortige configuraties.



## Wrijvingspuntlassen

Het wrijvingspuntlassen (FSpW) of Refill FSSW is ontwikkeld en gepatenteerd door HZG (Helmholtz-Zentrum Geesthacht) in Hamburg. Een slijtvast gereedschap, bestaande uit twee roterende delen (een pin en een mantel) en een stationaire klemring worden gebruikt om twee materialen te verbinden in de overlapconfiguratie.

Verbindingen worden geproduceerd bij een temperatuur lager dan het smeltpunt van de te lassen materialen. Er blijft geen eindkrater over na het lassen. Het proces levert de-

fectvrije verbindingen met superieure metallurgische eigenschappen. Bovendien zijn de warmte-inbreng en restspanningen relatief laag. Het is ook mogelijk om defecte lassen in productie opnieuw te lassen (simpelweg door het lassen te herhalen). Het wrijvingspuntlassen is daarom een technologie die het potentieel heeft om mechanische verbindingstechnieken te vervangen, vooral voor structurele toepassingen in aluminium. De toepassing van dit proces levert een gewichts- en kostenbesparing op van ongeveer 15%. Bovendien zijn de montagekosten lager door minder montagehandelingen.

- WP2

Ontwikkeling van de sealingtechnologie (afdichting). Het resultaat van WP2 is een complete oplossing, bestaande uit een techniek voor het voorbehandelen van de oppervlakken, een lijmpromotor en sealing met lage dichtheid en hoge hechtingseigenschappen.

- WP3

Optimalisatie van de hybride verbindingstechniek. De in WP1 ontwikkelde procesparameters voor het wrijvingspuntlassen van de gelijksoortige aluminiumlegeringen AA2024-T3 en AA7075-T6 worden aangepast en geoptimaliseerd voor verbindingen met sealing.

- WP4

Vergelijkende studie. Om het potentieel van de hybride verbindingen beter te begrijpen, wordt het proces vergeleken met conventionele technologieën die worden gebruikt voor vliegtuigconstructies, zoals mechanische bevestigingstechnieken en weerstandspuntlassen.

- WP5

Ontwikkeling van specificaties en vereisten voor inspectie van hybride wrijvingspuntlasverbindingen. In dit werkpakket wordt de toepasbaarheid van bestaande niet-destructieve onderzoekmethoden (NDO) voor hybride verbindingen geëvalueerd. Verder wordt een in-line monitoringstrategie onderzocht, gebaseerd op akoestische emissie en analyse van de procesparameters.

In de laatste fase van het project (WP6 en WP7) zullen demonstratiestukken worden aangemaakt om de mogelijkheden van de voorgestelde technologie te evalueren voor vliegtuigconstructies. De nieuwe productietechnologie zal worden toegepast op twee structuren: een vlakke structuur, bestaande uit een basisplaat in de legering AA2024-T3 met verstijvers (stringers) en profielen, en een typisch rompgedeelte, bestaande uit verbindingen tussen de platen en de verstijvers en stompe verbindingen. In WP8 wordt gekeken naar beheer, exploitatie en verspreiding van de geoptimaliseerde hybride verbindingstechniek.

#### Ontwikkeling optimale procesparameters (WP1)

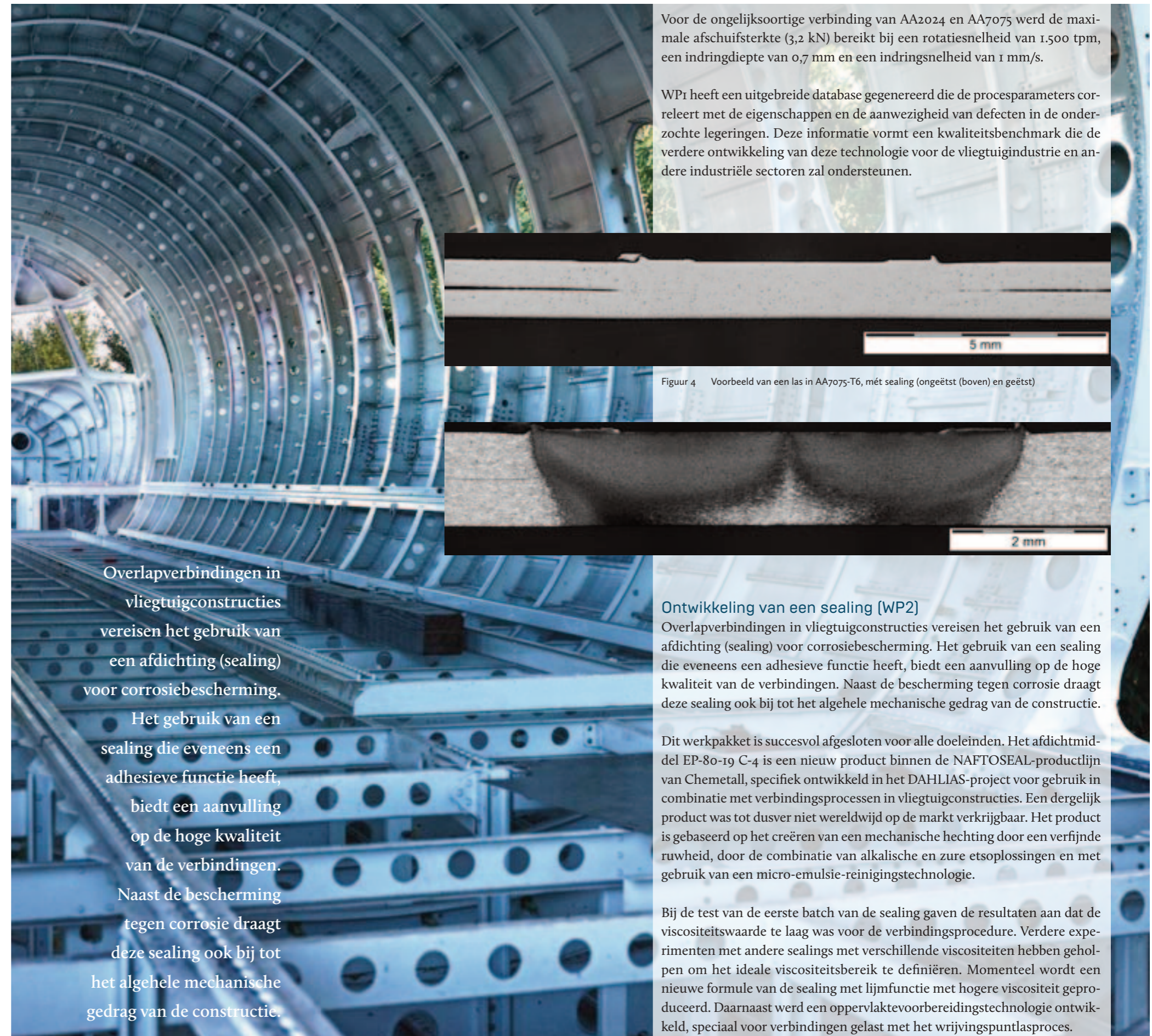
In WP1 was de ontwikkeling van het wrijvingspuntlasproces gericht op het lassen (zonder sealing) van de legeringen AA2024-T3 en AA7075-T6, in gelijksoortige en ongelijksoortige configuraties.

WP1 bestond uit de volgende taken:

1. Ontwerp en productie van samples voor het testprogramma
2. Procesontwikkeling voor gelijksoortige en ongelijksoortige verbindingen
3. Kwaliteitsbeoordeling van de verbindingen (metallografie, analyse van natuurlijke veroudering na het lassen, quasi-statische en vermoeiingsproeven en corrosietesten).

Dit werkprogramma leverde de volgende resultaten op.

Voor de gelijksoortige verbindingen van AA2024 werd de maximale afschuifsterkte (3,2 kN) bereikt bij een rotatiesnelheid van 1.250 tpm, een indringdiepte van 0,8 mm en een indringsnelheid van 0,7 mm/s. De las bestaat uit een laslens, een thermo-mechanisch beïnvloede zone en een warmte-beïnvloede zone, gebaseerd op de microstructurele analyse en microhardheidstesten.



Voor de ongelijksoortige verbinding van AA2024 en AA7075 werd de maximale afschuifsterkte (3,2 kN) bereikt bij een rotatiesnelheid van 1.500 tpm, een indringdiepte van 0,7 mm en een indringsnelheid van 1 mm/s.

WP1 heeft een uitgebreide database gegenereerd die de procesparameters correleert met de eigenschappen en de aanwezigheid van defecten in de onderzochte legeringen. Deze informatie vormt een kwaliteitsbenchmark die de verdere ontwikkeling van deze technologie voor de vliegtuigindustrie en andere industriële sectoren zal ondersteunen.

Figuur 4 Voorbeeld van een las in AA7075-T6, met sealing (ongeëtsd (boven) en geëtsd)

Overlapverbindingen in vliegtuigconstructies vereisen het gebruik van een afdichting (sealing) voor corrosiebescherming.

Het gebruik van een sealing die eveneens een adhesieve functie heeft, biedt een aanvulling op de hoge kwaliteit van de verbindingen. Naast de bescherming tegen corrosie draagt deze sealing ook bij tot het algehele mechanische gedrag van de constructie.

#### Ontwikkeling van een sealing (WP2)

Overlapverbindingen in vliegtuigconstructies vereisen het gebruik van een afdichting (sealing) voor corrosiebescherming. Het gebruik van een sealing die eveneens een adhesieve functie heeft, biedt een aanvulling op de hoge kwaliteit van de verbindingen. Naast de bescherming tegen corrosie draagt deze sealing ook bij tot het algehele mechanische gedrag van de constructie.

Dit werkpakket is succesvol afgesloten voor alle doeleinden. Het afdichtmiddel EP-80-19 C-4 is een nieuw product binnen de NAFTOSEAL-productlijn van Chemetall, specifiek ontwikkeld in het DAHLIAS-project voor gebruik in combinatie met verbindingprocessen in vliegtuigconstructies. Een dergelijk product was tot dusver niet wereldwijd op de markt verkrijgbaar. Het product is gebaseerd op het creëren van een mechanische hechting door een verfijnde ruwheid, door de combinatie van alkalische en zure etsoplossingen en met gebruik van een micro-emulsie-reinigingstechnologie.

Bij de test van de eerste batch van de sealing gaven de resultaten aan dat de viscositeitswaarde te laag was voor de verbindingprocedure. Verdere experimenten met andere sealings met verschillende viscositeiten hebben geholpen om het ideale viscositeitsbereik te definiëren. Momenteel wordt een nieuwe formule van de sealing met lijmfunctie met hogere viscositeit geproduceerd. Daarnaast werd een oppervlaktevoorbereidingstechnologie ontwikkeld, speciaal voor verbindingen gelast met het wrijvingspuntlasproces.

### Optimalisatie van de procesparameters (WP3)

WP3 bestond uit drie taken.

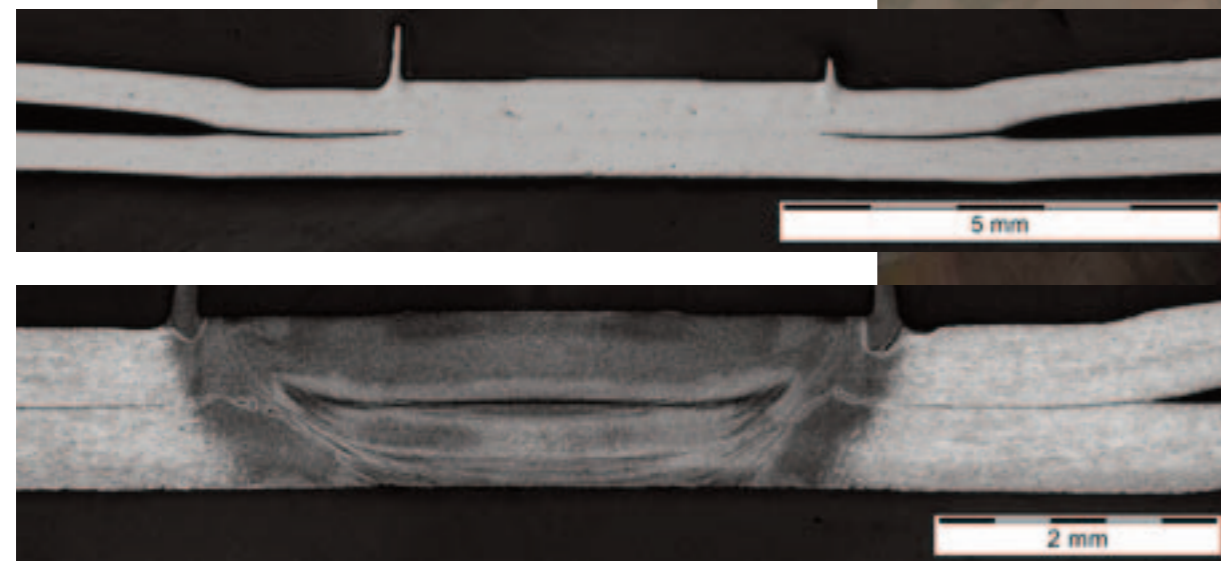
1. Ontwikkeling van basiskennis over het gedrag van de sealing en de mogelijke vorming van defecten in de las, en het bepalen van een procedure om defecten te voorkomen of te minimaliseren.
2. Optimalisatie van de lasparameters voor het verbinden van gelijksoortige AA2024- en AA7075-legeringen met sealing, om optimale mechanische eigenschappen te verkrijgen.
3. Onderzoeken van het effect van de sealing op de kwaliteit van de lassen en het identificeren van geschikte testmethoden.

WP3 leverde de volgende resultaten op.

Voor het lassen van AA2024 kan een maximale afschuifsterkte van 4,6 kN worden verkregen door een speciale procedure toe te passen om de sealing uit de laszone weg te drukken, gevolgd door een standaard lasprogramma in combinatie met ofwel NAFTOSEAL® EP-80-19 C-4 (lage viscositeit) of NAFTOSEAL® MC-238 B4 (hoge viscositeit). De sterkte is dus 50% hoger dan bij lassen zonder sealing.

Analyse van het breukoppervlak geeft aan dat het waarschijnlijk is dat NAFTOSEAL® MC-238 B4 met een hoge viscositeit een betere afdichtende functie heeft.

De toepassing van wrijvingspuntlassen in combinatie met een sealing is een relatief nieuwe ontwikkeling. Er zijn momenteel slechts vier publicaties over dit onderwerp beschikbaar. In WP3 werden vier procedures onderzocht om verbindingen te produceren van samples die werden behandeld met een combinatie van alkalische en zure etsoplossingen, gereinigd met micro-emulsie-technologie, gevolgd door het aanbrengen van het afdichtmiddel.



Figuur 4 Voorbeeld van een las in AA7075-T6, mét sealing (ongeëts (boven) en geëts)

Net als WP1 genereert ook WP3 een uitgebreide database die de procesparameters correleert met de laseigenschappen en de aanwezigheid van defecten. Een dergelijke database is niet beschikbaar in de literatuur of bij machinefabrikanten, en is samen met de informatie die in WP1 wordt gegenereerd essentieel om het proces goed inzetbaar te maken.



### Vergelijkende tests (WP4)

De hybride verbindingen, ontwikkeld in dit project, worden vergeleken met conventionele verbindingstechnologieën. Het werk was gericht op het experimenteel vergelijken van de geselecteerde processen, gevolgd door het ontwerp en de fabricage van monsters voor vergelijkende testen op enkelvoudige en meervoudige verbindingen. Voor de wrijvingspuntlasverbindingen was het daarbij noodzakelijk om de optimale configuratie te bepalen voor enkelvoudige en meervoudige verbindingen, gezien de toepassing in romppanelen.

Het belangrijkste doel van WP4 is het uitvoeren van een benchmark om de prestaties van wrijvingspuntlasverbindingen te positioneren ten opzichte van verbindingen geproduceerd door rivetteren en weerstandspuntlassen. Hoewel er regels bestaan voor het ontwerp van testmonsters voor deze laatste processen, is dit niet het geval voor het wrijvingspuntlasproces. Daarom worden in WP4 ontwerpregels opgesteld om de rijafstand, steek (in rij), randafstand enzovoort te optimaliseren voor de legeringen en diktes die worden gebruikt in het DAHLIAS-project. Dit is nu uitgevoerd voor verbindingen zonder sealing, op basis van eerder uitgevoerd werk bij HZG. In de tweede fase van WP4 zal deze methodologie geïmplementeerd worden voor verbindingen met sealing.

### Ontwikkeling van NDO (WP5)

WP5 heeft betrekking op de kwaliteitscontrole en (in-line) monitoring. De geplande taken bestonden aanvankelijk uit het ontwikkelen van kennis over de defecten en lasonvolkomenheden bij het wrijvingspuntlassen in combinatie met een sealing. De volgende stap was het ontwikkelen van een niet-destructieve test voor kwaliteitsinspectie, waarbij bestaande NDO-methoden werden geëvalueerd voor het detecteren van de defecten. Ten slotte werd de ontwikkeling van een methode voor kwaliteitsbewaking tijdens het wrijvingspuntlassen behandeld, met de nadruk op een in-line strategie om de kwaliteit van de geproduceerde verbindingen te bewaken.

De screening van NDO-methoden voor toepassing op wrijvingspuntlasverbindingen is uniek. Tot dusver is er geen uitgebreide studie die de sterke en zwakke punten analyseert en evalueert, en daaruit de toepasbaarheid afleidt van de NDO-technieken voor wrijvingspuntlasverbindingen. Aan het einde van WP5 zal een op kennis gebaseerde correlatie beschikbaar zijn tussen het type lasfout en de vereiste NDO-techniek om deze te detecteren. Dezelfde opmerkingen gelden voor de werkzaamheden die worden verricht voor het in-line monitoren van het proces via akoestische emissie. Beide activiteiten vormen een tot dusver niet onderzocht terrein voor de succesvolle introductie van het wrijvingspuntlasproces in de industriële productie.

Het consortium bestaat uit het Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG), Duitsland, het Belgisch Instituut voor Lastechniek, Chemetall (DE), Institut de Soudure (FR), en TRA-C Industries (FR). Het DAHLIAS-project wordt gesteund door het CleanSKy2 programma van de Europese Commissie (contract Nr. 821081).