

HYBRIDE VERBINDINGEN VOOR LICHTGEWICHT VLIEGTUIGCONSTRUCTIES

DAHLIAS-PROJECT: WRIJVINGSPUNTLASSEN IN COMBINATIE MET EEN SEALING

Het hoofddoel van het DAHLIAS-project is het optimaliseren van hybride verbindingen (wrijvingspuntlassen in combinatie met een sealing) voor toepassing in vliegtuigstructuren. Wrijvingspuntlassen is een solid-state verbindingstechniek (geen smelten van de materialen), vooral geschikt voor het verbinden van lichtgewicht legeringen in (on)gelijke materiaalcombinaties. Het proces werd reeds met succes toegepast voor moeilijk en niet-lasbare legeringen en wordt beschouwd als een potentiële kandidaat voor het vervangen van mechanische verbindingen. Het doel van dit project is het ontwikkelen van het wrijvingspuntlasproces in combinatie met een sealing. Hiervoor werd een nieuw type sealing ontworpen, inclusief een oppervlakte-voorbehandelingsmethode.

dr. ir. Koen Faes, EWE (Belgisch Instituut voor Lastechniek)

IN SAMENWERKING MET Thijs Peeters (Netalux), Patrick Van Rymenant en Arnout Dejans (Maakprocessen en -systemen, KU Leuven Campus De Nayer, Sint-Katelijne-Waver)

CONTEXT

Riveteren is wereldwijd de meest toegepaste technologie om vliegtuigconstructies te assembleren. Dergelijke mechanische bevestigingstechnieken zoals riveteren, klinken en zelfponsend klinken verhogen het gewicht van de constructie. Bovendien hebben deze processen hoge operationele kosten vanwege de bijhorende infrastructuur en het gebruik van dure verbruiksmaterialen.

In het DAHLIAS-project zal een solid-state verbindingstechnologie (wrijvingspuntlassen) worden toegepast voor aluminiumlegeringen met hoge sterkte, om de productie van complexe vliegtuigconstructies zoals rompsecties en scheidingswanden te optimaliseren. De wrijvingsgebaseerde lasprocessen leveren voordelen op in vergelijking met de traditionele geriveteerde verbindingen. Ze produceren defectvrije verbindingen met superieure metallurgische eigenschappen. Bovendien zijn de warmte-inbreng en restspanningen na het lassen relatief laag. Verder zal in dit project ook een sealing met een lijmpromotor ontwikkeld worden, wat een nieuwe functie toevoegt aan conventionele sealings. De combinatie van het wrijvingspuntlasproces met de sealing-technologie en de ontwikkeling ervan is een van de belangrijkste wetenschappelijke uitdagingen van het project.

WRIJVINGSPUNTLASSEN

Bij wrijvingspuntlassen wordt een slijvast gereedschap gebruikt bestaande uit twee roterende delen, een pin en een huls, evenals een stationaire klemring om materialen te verbinden in overlapconfiguratie (zie figuur 1). Verbindingen worden geproduceerd bij een temperatuur lager dan het smeltpunt van de te lassen materialen. Bij het wrijvingspuntlassen blijft er geen eindkrater over na het lassen. Het proces vermijdt de meeste beperkingen die worden waargenomen bij conventionele puntlastechnieken die worden toegepast op aluminiumlegeringen. Het proces maakt het ook mogelijk om defecte lassen in productie opnieuw te lassen, simpelweg door het lassen te herhalen. Wrijvingspuntlassen is daarom een technologie die het potentieel heeft om mechanische verbindingstechnieken te vervangen, vooral voor structurele toepassingen in aluminium (zie figuur 2). De technologie is ontwikkeld en gepatenteerd door HZG (Helmholtz-Zentrum Geestacht) in Hamburg. De belangrijkste voordelen van het proces voor vliegtuigonderdelen zijn:

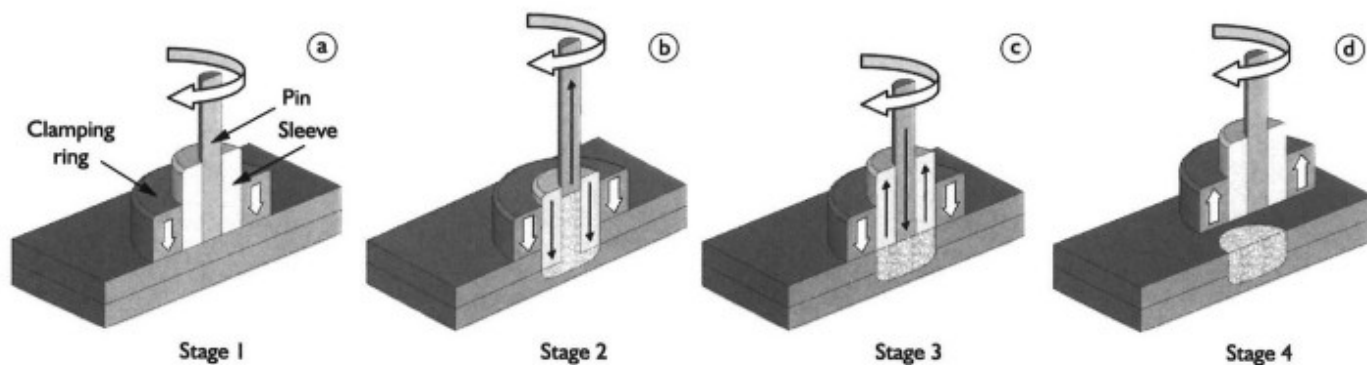
- Implementatie van een milieuvriendelijke, gebruiksvriendelijke en energiezuinige technologie in de vliegtuigbouw;
- Vermindering van de assemblagekosten (tooling) en het aantal handelingen en

bewerkingen in de assemblagelijnen, door het vermijden van het boren van gaten;

- Vermijden van conventionele montage-methoden waarbij onderdelen na het boren uit elkaar moeten worden gehaald om te ontbramen;
- Verkorting van de montagetijd en kwaliteitsverbetering door automatisering van de werkzaamheden in de montage.

DAHLIAS-PROJECT

De globale doelstellingen van het DAHLIAS-project zijn het opbouwen van kennis voor de ontwikkeling van een nieuwe productietechnologie (wrijvingspuntlassen) in combinatie met een nieuwe lijmsealing (hybrideverbinding) en de respectievelijke uitdagingen bij het toepassen van deze technologie voor vliegtuigconstructies, zoals kwaliteitscontrole, procesbewaking en schade-tolerantiegedrag. Deze doelen dragen bij tot de uitdagingen die in CleanSky2 geïdentificeerd zijn voor het verhogen van de mechanische eigenschappen en de corrosiebestendigheid van de verbindingen, en de industrialisatie van deze technologieën. Om de gestelde doelen in het DAHLIAS project te bereiken, is een werkprogramma opgesteld bestaande uit zes werkpakketten. In wat volgt worden de resultaten beschreven die tot dusver behaald zijn.



Figuur 1: Het wrijvingspuntlasproces



Figuur 2: Wrijvingspuntlasmachine in het Belgisch Instituut voor Lastechniek (B.I.L.)

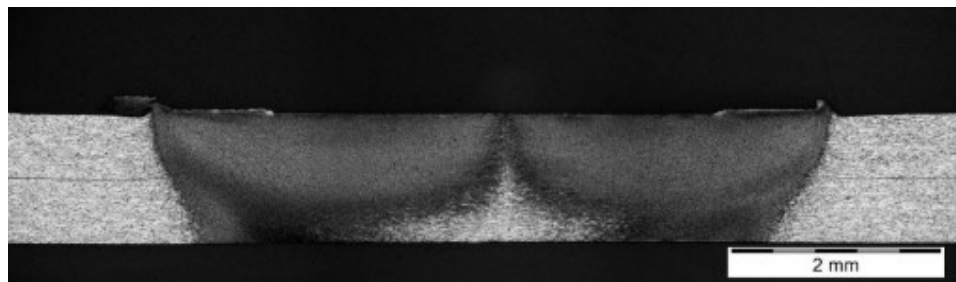
Werkpakket 1: Onderzoek van wrijvingspuntlasverbindingen zonder sealing

In werkpakket 1 (WVP1) was de ontwikkeling van het wrijvingspuntlasproces gericht op het lassen zonder sealing van de geselecteerde legeringen AA2024-T3 en AA7075-T6 in gelijksoortige en ongelijksoortige configuraties.

Het geplande werk bestond uit vier taken, meer bepaald het ontwerp en productie van samples voor het testprogramma, procesontwikkeling voor gelijksoortige (AA2024 - AA2024 en AA7075 - AA7075) en ongelijksoortige verbindingen (AA7075 - AA2024), gevolgd door de kwaliteitsbeoordeling van de verbindingen (metallografie, analyse van natuurlijke veroudering na het lassen, quasi-statische en vermoeiingsproeven en corrosie-testen).

- Voor de **gelijksoortige verbindingen** van AA2024 werd de maximale afschuifsterkte (3,2 kN) behaald voor 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-mechanische beïnvloede zone en een warme beïnvloede zone, gebaseerd op de microstructurele analyse en microhardheidstesten (**zie figuur 3**).
- Voor de **ongelijksoortige verbinding** tussen AA2024 en AA7075 werd de maximale afschuifsterkte (3,2 kN) behaald voor een rotatiesnelheid van 1.500 tpm, een indringdiepte van 0,7 mm en een indringsnelheid van 1 mm/s.

De resultaten van WVP1 hebben een uitgebreide database gegenereerd die de procesparameters correleert met de laseigenschappen 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 voor andere industriële sectoren, met name voor de transportsector, zal ondersteunen.



Figuur 3: Voorbeeld van een las in AA7075-T6, zonder sealing (geëist)



Figuur 4: Voorbeeld van een las in AA7075-T6, mét sealing (geëist)

Werkpakket 2: Ontwikkeling van een sealing voor wrijvingspuntlassen

Overlapverbindingen in vliegtuigstructuren vereisen het gebruik van een afdichting voor corrosiebescherming. Het gebruik van afdichting met ook een adhesieve functie biedt een aanvulling op de hoge kwaliteit van de verbindingen, niet alleen voor de bescherming tegen corrosie, maar draagt ook bij tot het algehele mechanische gedrag van de structuur.

Dit werkpakket is succesvol afgesloten voor alle doeleinden. Het afdichtmiddel EP-80-19 C-4 ontwikkeld in het DAHLIAS-project is een nieuw product binnen de *Naftoseal*-productlijn van *Chemetall*, specifiek voor gebruik in combinatie met verbindingprocessen in vliegtuigconstructies. Een dergelijk product was tot dusver niet op de markt verkrijgbaar. Het product is gebaseerd op het concept van 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.

De eerste batch van de sealing werd getest en de resultaten gaven 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 formulering van de sealing met lijmfunctie met hogere viscositeit geproduceerd. Daarnaast werd een oppervlaktevoorbereidingstechnologie ontwikkeld voor wrijvingspuntlasverbindingen.

Werkpakket 3: Optimalisatie van de procesparameters voor het lassen van gelijksoortige verbindingen (AA2024 en AA7075) met sealing

De ontwikkelde procesparameters in werkpakket 1 werden in werkpakket 3 (WVP3) aangepast en geoptimaliseerd voor verbindingen mét sealing. Dit bestond uit drie taken:

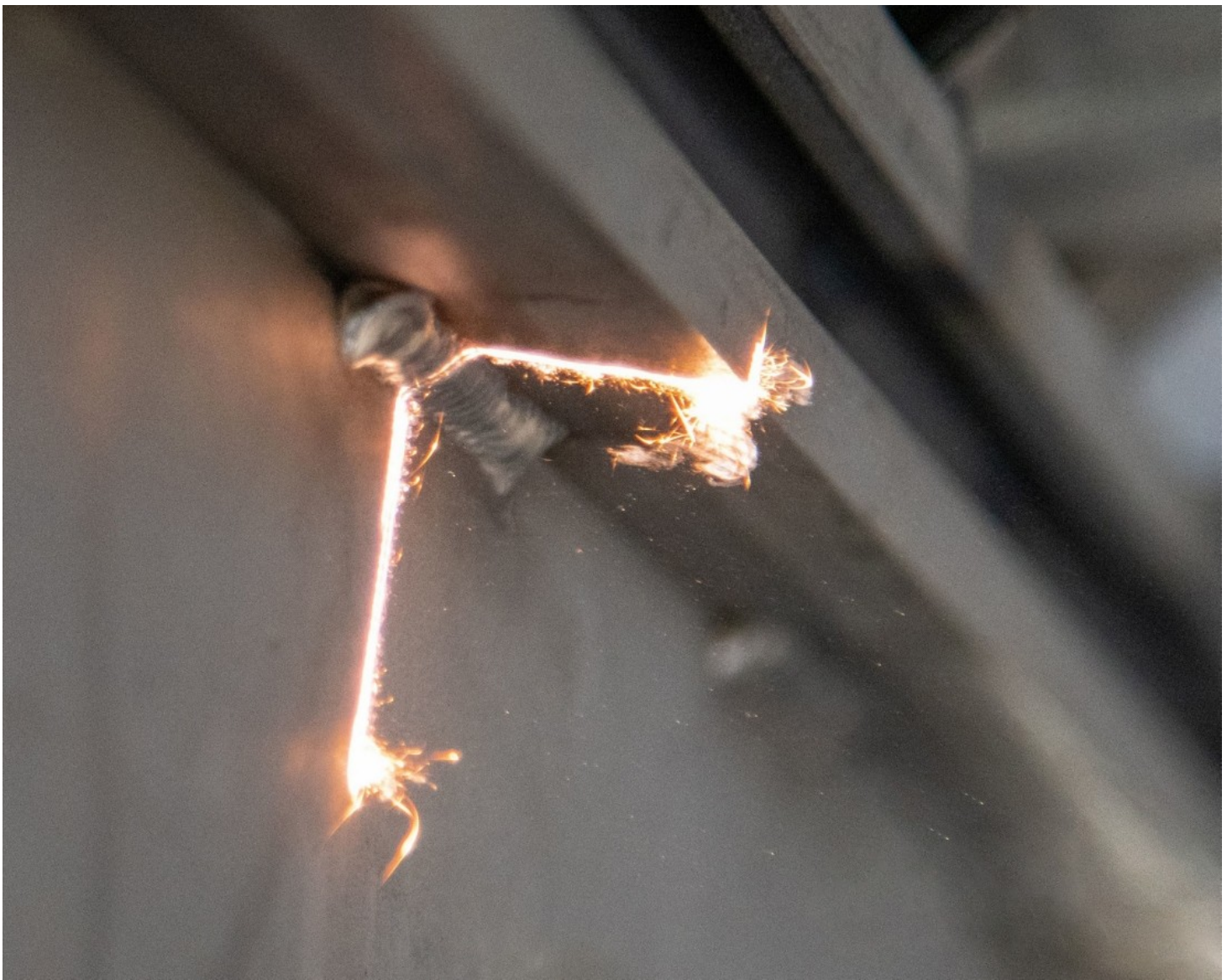
- Ontwikkelen van basiskennis over het

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;

- Optimalisatie van de lasparameters voor het verbinden van gelijksoortige AA2024- en AA7075-legeringen met sealing, om optimale mechanische eigenschappen te verkrijgen (**zie figuur 4**);
- Onderzoeken van het effect van de sealing op de kwaliteit van de lassen en het identificeren van geschikte testmethoden.

De voornaamste resultaten kunnen als volgt worden samengevat: 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 MC-238 B4 (hoge viscositeit). De sterkte is dus 50% hoger dan bij lassen zonder sealing. Analyse van het breukoppervlak geeft echter aan dat het waarschijnlijk is dat *Naftoseal*® MC-238 B4 met een hoge viscositeit een betere afdichtende functie heeft.

De toepassing van het wrijvingspuntlassen in combinatie met een sealing is een relatief nieuwe ontwikkeling. Er zijn op dit moment slechts vier publicaties over dit onderwerp beschikbaar in de literatuur. Vier procedures werden onderzocht om verbindingen te produceren van samples die behandeld zijn met een combinatie van alkalische en zure etsoplossingen en gereinigd worden met micro-emulsietechnologie, gevolgd door het aanbrengen van het afdichtmiddel. Net als in WVP1 genereert WVP3 ook een uitgebreide database, die de procesparameters correleert met de laseigenschappen en de aanwezigheid van defecten voor de onderzochte legeringen. Een dergelijke database is niet beschikbaar in de literatuur of bij machinefabrikanten, en is – samen met de informatie die in WVP1 wordt gegenereerd – essentieel om het proces inzetbaar te maken.



Figuur 5: Laserreinen van lasnaden (Bron: Netalux)

Werkpakket 4: Vergelijkende tests van wrijvingspuntlasverbindingen met conventionele verbindingen

De hybride verbindingen ontwikkeld in dit project werden vergeleken met conventionele verbindingstechnologieën om het potentieel ervan aan te tonen. Het belangrijkste doel van werkpakket 4 is om een benchmark uit te voeren om de performantie van wrijvingspuntlasverbindingen te positioneren ten opzichte van verbindingen geproduceerd door weerstandspuntlassen.

Weerstandspuntlassen van aluminiumlegeringen

De oppervlakte-eigenschappen van aluminiumlegeringen hebben een sterke invloed op het weerstandspuntlassen, de laskwaliteit en de degradatie van de elektrode. De meest invloedrijke oppervlakte-eigenschappen zijn de aanwezigheid van een oxidelaag, de oppervlakteruwheid en de aanwezigheid van chemische stoffen. Vanwege de hoge affiniteit voor zuurstof vormt zich een harde, niet-geleidende, hechtende oxidefilm (Al_2O_3) op het oppervlak van aluminiumlegeringen. Hoewel deze oxidelaag corrosiebescherming biedt, veroorzaakt ze ook een hoge contactweerstand aan de elektrode, wat leidt tot ernstige degradatie van de elektrode en vermindering van de laskwaliteit. De hoge contactweerstand, veroorzaakt door de aanwezigheid van de oxidelaag en de nood-

zaak van het gebruik van hoge lasstromen bij het puntlassen resulteren in snelle elektrodeslijtage en een onvoorspelbare laskwaliteit.

Voor het verkrijgen van een aanvaardbare elektrodelevensduur is het belangrijk dat de contactweerstand tussen elektrode en het plaatoppervlak zo klein mogelijk is en op een constant niveau blijft. De overgangswaerstand is afhankelijk van de dikte en samenstelling van de oxidelaag aanwezig op de aluminium platen. Door het oppervlak van het plaatmateriaal te reinigen, wordt de oxidelaag verwijderd, waardoor de overgangswaerstand laag is en op een constant niveau kan gehouden worden. Volledige reiniging van de oxidelaag resulteert doorgaans in een betere laskwaliteit, een breder procesvenster en een kleinere neiging tot vastplakken van de elektrode. De reiniging kan mechanisch gebeuren met schuurpapier of chemisch met bv. een NaOH-oplossing. In dit project werd voor het verwijderen van de oxidelagen gebruikgemaakt van een nieuwe techniek, nl. het laserreinen.

Laserreinigingstechnologie

Vroeger werd het laserreinen gebruikt als techniek om (stenen) kunstwerken te conserveren. Het is echter pas sinds het begin van de jaren 2000 dat de technologie in een industriële context wordt gebruikt. Vandaag neemt de aandacht voor deze mens- en milieuvriendelijke technologie snel toe, omdat

bedrijven in de meest uiteenlopende sectoren op zoek zijn naar duurzame reinigingstechnieken. De technologie produceert namelijk geen secundair afval. Er worden geen schadelijke chemicaliën of grit toegevoegd, en de vervuiling wordt onmiddellijk afgezogen.

Bij laserreinen wordt gebruikgemaakt van het licht uitgezonden door een gepulste laserbron. Een laserreinigingsmachine bestaat uit een unit die verbonden is met een handset. In de unit bevindt zich de laserbron, die lichtpulsen van slechts enkele nanoseconden produceert. Via een vezelkabel worden deze lichtpulsen getransporteerd naar de handset, waar het licht wordt geconcentreerd en uitgestuurd naar het oppervlak. Het laserlicht dringt door de vervuiling, valt op het te reinigen oppervlak en wordt door dit oppervlak gereflecteerd. De te verwijderen vervuiling absorbeert dan de energie van het licht. Het proces dat vervolgens plaatsvindt heet *laserablatie*, een verzamelnaam voor oppervlakteprocessen zoals verdamping en pulverisatie. Het zorgt voor het ontstaan van een gaslaagje tussen substraat en contaminant, zodat deze laatste vrijkomt.

Voordelen laserreiniging

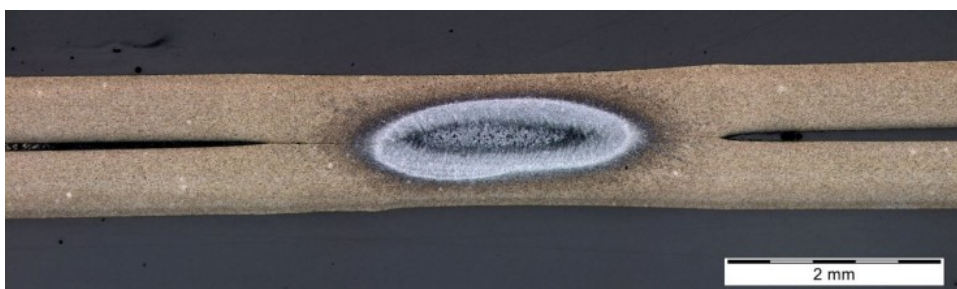
Laserreiniging heeft verschillende voordelen ten opzichte van traditionele reinigingstechnieken. Zoals eerder aangehaald ontstaat er geen extra afval zoals bv. bij gritstralen en



Figuur 6: Doorsnede van een gelast sample - onbehandelde plaatjes (EN AW-7075-T6)



Figuur 7: Doorsnede van een gelast sample - lasergereinigde plaatjes (EN AW-7075-T6)



Figuur 8: Doorsnede van een gelast sample - lasergereinigde plaatjes (EN AW-2024-T3)

worden er geen giftige chemicaliën gebruikt. De reiniging gebeurt puur met licht, wat het een mens- en milieuvriendelijke technologie maakt. Er wordt dus geen secundair afval of luchtbewegingen gecreëerd. De extractie van de vrijgekomen stoffen kan snel en eenvoudig gebeuren. Hierdoor dient er geen *confinement* gebouwd te worden, wat veel tijd en geld bespaart aangezien de voorbereidings- en reinigingstijd tot een minimum worden beperkt. Bovendien is er, mits de juiste instellingen, geen schade aan het substraat, waardoor dure substraten zorgeloos gereinigd kunnen worden.

Toepassingen laserreiniging

Laserreiniging heeft meerdere toepassingen en kan gebruikt worden in verschillende sectoren. Met laserreiniging kunnen onder andere tanks, turbinebladen en mollen gereinigd worden. Het substraat bestaat meestal uit metalen of legeringen, aangezien deze materialen goed

reflecteren. De vervuiling die verwijderd wordt kan gaan van coatings en verf, over productresten, olie en vet, tot lasoxides, en zelfs giftige stoffen zoals Chroom-VI, lood en asbest. Om de invloed van het laserreinigen op het lasresultaat te onderzoeken werden lasproeven uitgevoerd via weerstandspuntlassen met gereinigde en onbehandelde samples. In de lassen uitgevoerd met gereinigde samples zijn veel minder warmtescheuren op te merken in vergelijking met deze met niet gereinigde samples, wat mogelijk kan toegeschreven worden aan het laserreinigen (zie figuur 6 en 7). Ook de sterkte van de verbindingen was hoger wanneer het laserreinigen toegepast werd (zie tabel 1).

Werkpakket 5: Ontwikkeling van specificaties en vereisten voor inspectie van wrijvingspuntlasverbindingen

De aspecten met betrekking tot kwaliteitscontrole voor deze nieuwe technologie

worden behandeld in werkpakket 5 (WP5). De geplande taken bestonden aanvankelijk uit het ontwikkelen van kennis over de defecten en lasonvolkomenheden bij het wrijvingspuntlassen in combinatie met een sealing. Na het opstellen van een overzicht van de mogelijke onvolkomenheden, was de volgende stap de ontwikkeling van een niet-destructieve test voor kwaliteitsinspectie, waarbij bestaande NDT-methoden werden geëvalueerd voor het detecteren van de waargenomen gebreken. 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 verzekeren.

Werkpakket 6: Ontwikkelen van demonstratiestukken

In de laatste fase van dit project zullen demonstratiestukken worden aangemaakt om de mogelijkheden van de voorgestelde technologie te evalueren voor vliegtuigstructuren. Het project zal afgerond worden door deze nieuwe productietechnologie toe te passen op twee demonstratoren: een vlakke structuur bestaande uit een basisplaat in de legering AA2024-T3 met verstijvers (*stringers*) en profielen en een typisch rompedeelte bestaande uit verbindingen tussen de platen en de verstijvers en stompe verbindingen (werkpakket 6: ontwerp, fabricage en testen van de demonstratoren en werkpakket 7: ontwerp, fabricage en testen van de demonstratoren met lijmsealing).

CONCLUSIE

Het Europese project DAHIAS; *Ontwikkeling en toepassing van hybrideverbinding in lichtgewicht vliegtuigconstructies*, is gericht op de validatie van een state-of-the-art hybrideverbindingstechnologie, meer bepaald het wrijvingspuntlassen in combinatie met een sealing. De ontwikkelde techniek zal toegepast worden voor de productie van lichtgewicht constructies voor de luchtvaartsector. Daarnaast zal dit project een in-linemonitoringstrategie ontwikkelen op basis van akoestische emissie als kwaliteitscontrole. De kennis die wordt gegenereerd zal een schat aan informatie opleveren die leidt tot het in kaart brengen van het effect van procesparameters op de eigenschappen van de verbindingen en op de defectvorming. Een dergelijke database kan worden gekoppeld aan in-lineprocesbewakingssystemen voor kwaliteitscontrole. □

RESULTATEN VAN TREKPROEVEN

EN AW-7075-T6		EN AW-2024-T3	
Onbehandelde samples	Lasergereinigde samples	Onbehandelde samples	Lasergereinigde samples
1,57	1,75	1,37	2,0

Tabel 1: Resultaten van de trekproeven uitgevoerd op gelaste samples, met en zonder laserreiniging

Het consortium bestaat uit het Helmholtz-Zentrum Geesthacht (DE), het Belgisch Instituut voor Lastechniek, Chemetall (DE), Institut de Soudure (FR), en TRA-C Industries (FR). Het project wordt gesteund door het CleanSky2-programma van de Europese Commissie (contract Nr. 821081).