

# WRIJVINGSPUNTLASSEN VAN HOGESTERKTEALUMINIUMLEGERINGEN

NIEUW SOLID-STATE LASPROCES

Wrijvingspuntlassen is een nieuw solid-state lasproces, dat gebruikt kan worden voor overlapverbindingen tussen gelijksoortige en ongelijksoortige materialen. De lascyclus wordt uitgevoerd met behulp van een speciale tool, waarmee de verbinding tot stand gebracht wordt via wrijvingswarmte en mechanische vervorming. Het resultaat is een puntlasverbinding, zonder materiaalverlies of eindkrater. Een ander voordeel van het proces is de korte lastijd. Het is bovendien een ecologisch proces: er worden geen toevoegmaterialen of beschermgassen gebruikt en er komt geen lasrook of ir- of uv-straling vrij tijdens de lascyclus. Het proces werd gebruikt voor het lassen van de hogesterktealuminiumlegering EN AW-2024-T3. Er werden verschillende parameterinstellingen toegepast, met als doel de kwaliteit en de mechanische eigenschappen te optimaliseren.

Dr. ir. Koen Faes, EWE

## WERKINGSPRINCIPE VAN HET PROCES

Wrijvingspuntlassen is een solid-state lasproces (m.a.w. het materiaal blijft in de vaste toestand), geschikt voor het lassen van laagsmeltende legeringen, zoals aluminium- en magnesiumlegeringen. Het proces gebruikt een speciale tool voor het tot stand brengen van een plaatverbinding in de overlapconfiguratie.

De tool bestaat uit drie delen: de pin, de mantel en de klemmingsring. Deze laatse klemt de twee te lassen platen. De mantel en de pin roteren initieel in dezelfde zin (figuur 1a). De mantel wordt al roterend in het materiaal gedrukt, terwijl de pin teruggetrokken wordt (figuur 1b).

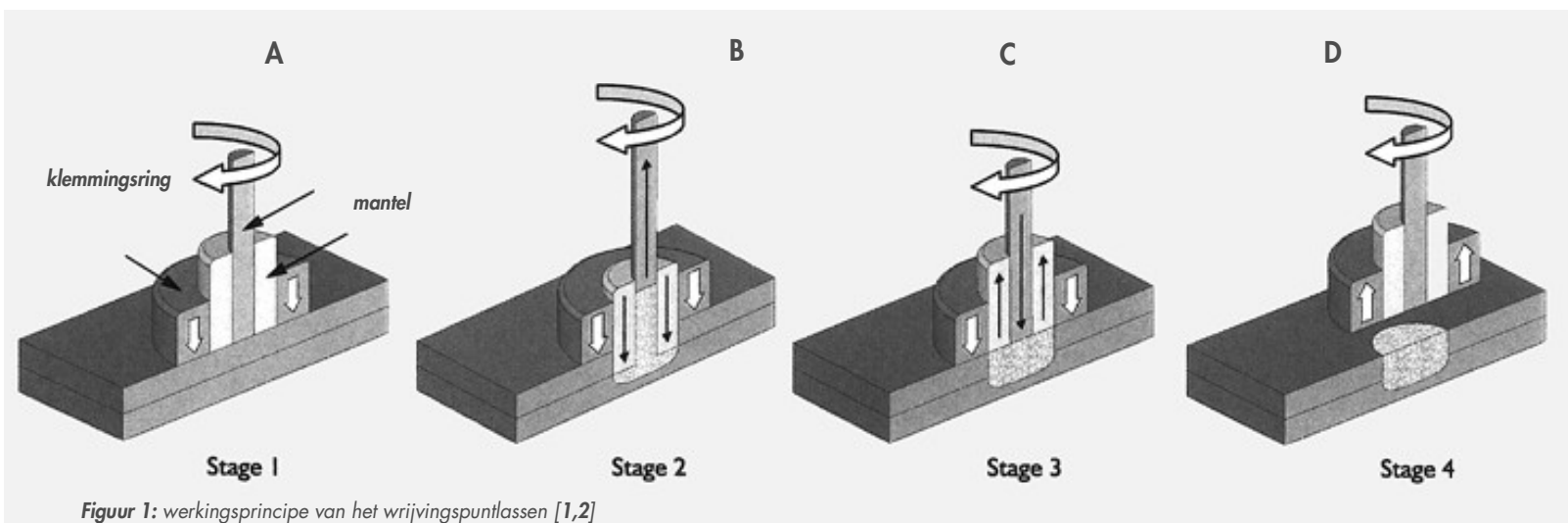
Dit creëert een ruimte binnen in de mantel. De mantel brengt het materiaal van de platen

in een viskeus-plastische toestand, ten gevolge van de wrijving van de mantel t.o.v. de plaat. Het plastische materiaal wordt vervolgens in de ruimte in de mantel gedrukt.

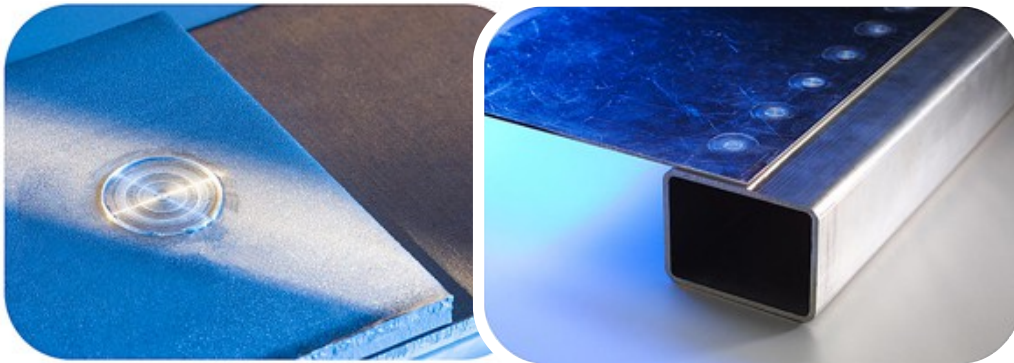
Na het bereiken van een vooraf bepaalde indringdiepte van de mantel wordt deze teruggetrokken en duwt de pin het plastische materiaal in de mantel terug in de laszone, zodat die volledig gevuld wordt (figuur 1c). Wanneer de pin en de mantel zich terug in hun initiële positie bevinden, wordt de rotatie van beide stopgezet en wordt de tool in zijn geheel teruggetrokken.

De belangrijkste parameters van het proces zijn de rotatiesnelheid, de kracht op de pin en de mantel, de indringdiepte en de lastijd. De lastijd bepaalt vooral de warmte-inbreng, terwijl de indringdiepte en de rotatiesnelheid geassocieerd worden met de materiaal-

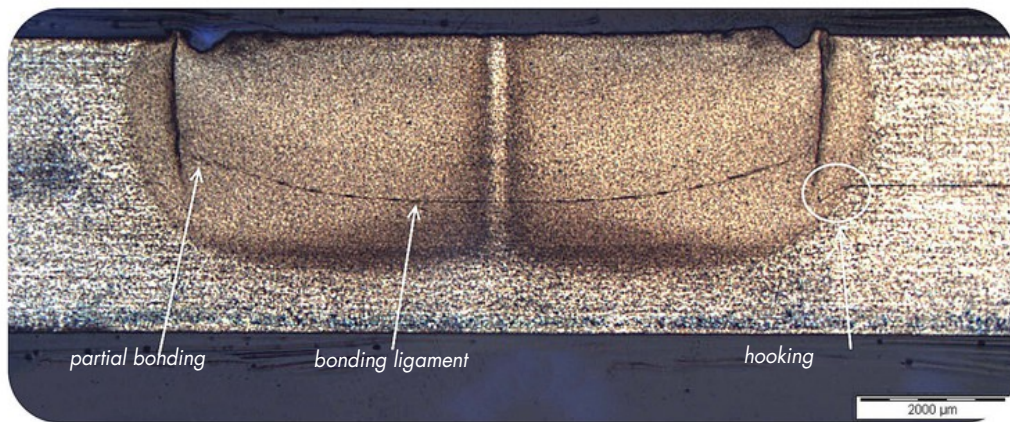
stromen in de laszone. Er worden enkele voorbeelden van gelaste stukken getoond in figuur 2. Vanwege de voordelen van het proces, zoals de goede mechanische las-eigenschappen en de afwezigheid van een eindkrater na het lassen, werd de lasbaarheid van verschillende aluminium- en magnesiumlegeringen onderzocht, alsook van ongelijksoortige materiaalcombinaties zoals aluminium-magnesium of aluminium-staal [1,2]. Een wrijvingspuntlas bestaat uit drie zones (fig. 3) met verschillende microstructuren: de warmtebeïnvloede zone, de thermomechanisch beïnvloede zone en de laslens, vergelijkbaar met frictionstirlasverbindingen. De laslens bevindt zich in het midden van de las en heeft ongeveer dezelfde breedte als de pin. Die wordt meestal gekarakteriseerd door een fijne microstructuur, ten gevolge van dynamische



Figuur 1: werkingsprincipe van het wrijvingspuntlassen [1,2]



Figuur 2: voorbeelden van gelaste stukken (bron : Riftec GmbH)



Figuur 3: typische lasdoorsnede in aluminium EN AW-6082-T6 (plaatdikte: 2 mm)

rekristallisatie, geïnduceerd door de grote plastische vervorming en de thermische cyclus. In de thermomechanisch beïnvloede zone vindt men een sterk vervormde microstructuur, die gevormd wordt bij een lagere temperatuur en door een beperktere plastische vervorming. De warmtebeïnvloede zone wordt gekenmerkt door een niet-vervormde microstructuur.

De belangrijkste lasfouten zijn een onvolledige vulling van de las, porositeiten en bindingsfouten.

Die zijn het gevolg van onaangepaste lasparameters en zijn meestal te vinden op het pad van de mantel in het materiaal. Een ander defect is een ringvormige groef aan het bovenoppervlak van de las.

Op basis van metallografisch onderzoek van lasverbindingen kunnen er drie fenomenen onderscheiden worden, die in de vakliteratuur 'hooking', 'partial bonding' en 'bonding ligament' genoemd worden (figuur 3). Die zijn allen het gevolg van de materiaalstroming tijdens de lascyclus.

Hooking is een gevolg van de vervorming van het oorspronkelijke scheidingsvlak tussen de twee platen. Volgens [1] ontstaat dit tijdens het indringen en het terugtrekken van de mantel in de onderste plaat.

Het speelt een belangrijke rol voor de sterkte van een las. Het bonding ligament wordt gedefinieerd in [3] als de binding tussen de twee platen onder de laslens. Partial bonding wordt omschreven als een overgangszone

tussen de hooking zone en het bonding ligament.

Hier is de binding tussen de twee platen minder sterk.

## LASBAARHEID VAN ALUMINIUM EN AW-2024-T3

Lasexperimenten werden uitgevoerd met platen in het materiaal EN AW-2024-T3, met een dikte van 1,6 mm.

De chemische samenstelling wordt gegeven in tabel 1. De mechanische eigenschappen van het materiaal in de T3-conditie zijn: vloeigrens: 345 MPa; treksterkte: 483 MPa en hardheid: 137 HV.

Dit materiaal is moeilijk lasbaar via conventionele lasprocessen. De lasproeven werden uitgevoerd met het commercieel beschikbare lastoestel RPS100 van de firma Harms & Wende (figuur 4) [4]. De tool had een klemmingsring met een buitendiameter van 14,5 mm. De buitendiameter van de mantel en de pin bedroeg resp. 9 en 6 mm.

## OVERZICHT LASPROEVEN

Er werden twee reeksen van lasproeven uitgevoerd. In beide reeksen werden de lastijd, de indringdiepte en de rotatiesnelheid gevarieerd. Na het lassen werd er een dwarsdoorsnede van de las gemaakt in het midden van de las om de gevormde microstructuren te bestuderen.

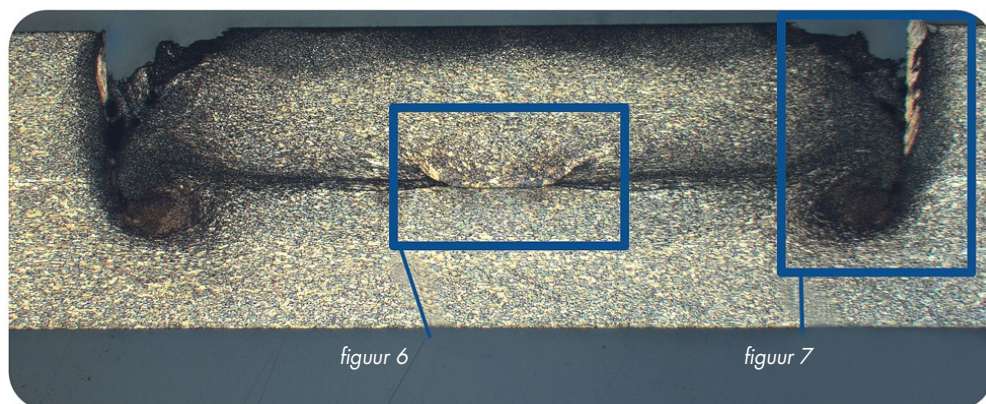
Daarnaast werden er afschuif-trekproeven en hardheidsmetingen (HV0,5) uitgevoerd. In de tweede reeks werd eveneens de snelheid

TABEL 1: TYPISCHE CHEMISCHE SAMENSTELLING VAN 2024-T3<sup>[5]</sup>

ELEMENT	GEW. %	ELEMENT	GEW. %	ELEMENT	GEW. %
AL	90,7 – 94,7	FE	max. 0,5	SI	max. 0,5
CR	max. 0,1	MG	1,2 – 1,8	TI	max. 0,15
CU	3,8 – 4,9	MN	0,3 – 0,9	ZN	max. 0,25

TABEL 2: OVERZICHT VAN DE LASPROEVEN

1E TESTREEKS		2E TESTREEKS	
LASTIJD (SEC.)	2-3-4-5-6-7	LASTIJD (SEC.)	6-8
INDRINGDIEPTE (MM)	1,6 – 1,75 – 1,9 – 2,2 – 2,35 – 2,6	INDRINGDIEPTE (MM)	1,6 – 1,9
ROTATIESNELHEID (TPM)	500 – 1.000 – 1.500 – 2.000 – 2.500 – 3.000	ROTATIESNELHEID (TPM)	2.500 - 3.000



**Figuur 5:** metallografische doorsnede van een typische verbinding uit reeks 1 (lascondities: lastijd: 4 sec.; indringdiepte: 1,9 mm; rotatiesnelheid: 1.500 rpm)



**Figuur 6:** detail van figuur 5: voorbeeld van lasfouten (bindingsfouten, porositeiten en onvolledige vulling)



**Figuur 7:** detail van figuur 5: 'bonding ligament'

gevarieerd waarmee de tool in het materiaal indringt en teruggetrokken wordt.

## TESTREEKS 1

De microstructuur van een typische las uit de eerste testreeks wordt getoond in **figuur 5**. Deze werd uitgevoerd met een lastijd van 4 sec., een indringdiepte van 1,9 mm en een rotatiesnelheid van 1.500 tpm. De typische laszones worden waargenomen; de laslens, de thermomechanisch beïnvloede zone en de warmtebeïnvloede zone.

In bijna alle verbindingen van deze reeks werden er lasfouten vastgesteld: porositeiten, een onvolledige vulling van de las en bindingsfouten, gelokaliseerd op het pad van de mantel, op de grens tussen de thermomechanisch beïnvloede zone en de warmtebeïnvloede zone.

Het optreden van deze lasfouten wordt geassocieerd met een beperkte plasticiteit van de 2024-legering of onaangepaste lasparameters. De porositeiten namen af in grootte en aantal voor een hogere rotatiesnelheid of een langere lastijd.

De lastijd speelt een belangrijke rol bij het plastisch maken van het materiaal. De aanwezigheid van lasfouten heeft een negatieve invloed op de laskwaliteit, aangezien er hier scheuren geïnitieerd kunnen worden, wanneer de las onderworpen wordt aan een externe belasting.

**Figuur 7** toont het 'bonding ligament', aanwezig in een dergelijke las. Het had een

afwijkende vorm. De zone met 'partial bonding' werd in deze verbindingen niet vastgesteld. In andere verbindingen vertoonde de laslens een bandvormige microstructuur. Voor alle lascondities van reeks 1 werden er trekproeven uitgevoerd. De treksterkte varieerde tussen 4 en 7,5 kN.

Er kon geen verband gevonden worden tussen de treksterkte en de rotatiesnelheid of de indringdiepte. Er werd echter een hogere treksterkte opgemeten voor een langere lastijd (**figuur 8**).

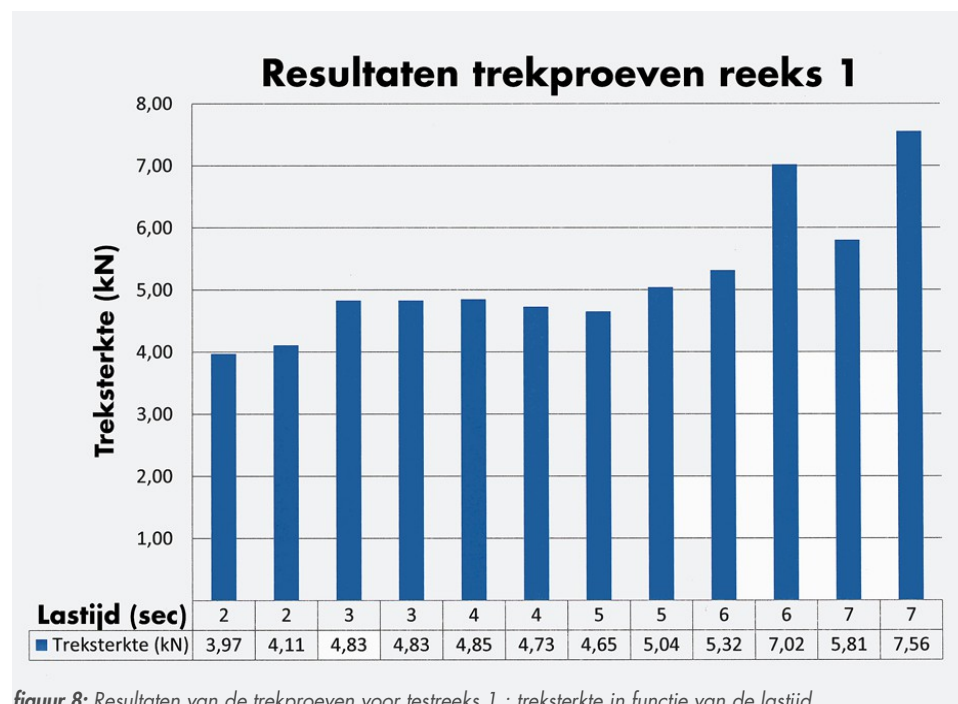
## TESTREEKS 2

Op basis van het bovenstaande werd geconcludeerd dat een aanpassing van de lasparameters noodzakelijk was voor het verbeteren van de mechanische eigenschappen en de algemene laskwaliteit. Er werd geconcludeerd dat de lasfouten een gevolg zijn van een te beperkte plasticiteit van het 2024-materiaal tijdens de lascyclus. Hierdoor werden er in reeks 2 een langere lastijd en een hogere rotatiesnelheid ingesteld. Bovendien werd ook de snelheid gevarieerd waarmee de mantel in het plaatoppervlak indringt en teruggetrokken wordt.

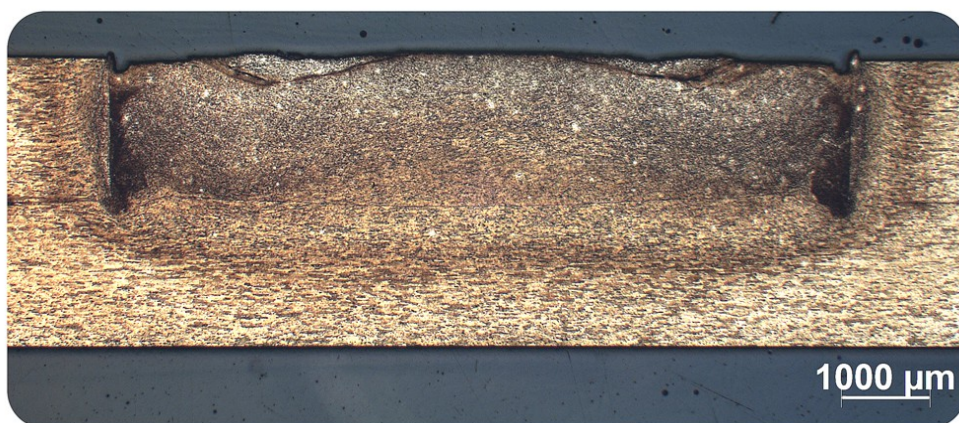
Er wordt een lasverbinding met geoptimaliseerde lasparameters getoond in **figuur 9**. Deze las werd uitgevoerd met een lastijd van 8 sec., een indringdiepte van 1,6 mm en een toerental van 3.000 tpm. De indringtijd en terugtrektijd bedroegen beide 4 sec. Zoals te zien in **figuur 9**, is de las volledig gevuld en komen er geen lasfouten voor. In sommige verbindingen vertoont de laslens een bandvormige microstructuur: de laslens bestaat in dit geval uit zones met afwisselend fijne en meer grofkorrelige microstructuren.

**Figuur 10** toont het hardheidsprofiel van twee verbindingen van reeks 1 en 2, uitgevoerd met een lastijd van resp. 5 en 8 sec. De verticale stippellijn komt overeen met de grens tussen de laslens en de warmtebeïnvloede zone.

Er werd een belangrijke daling van de hardheid waargenomen in de warmtebeïnvloede zone. In het basismateriaal bedraagt de hardheid 135 - 140 HV0,5, terwijl die in de



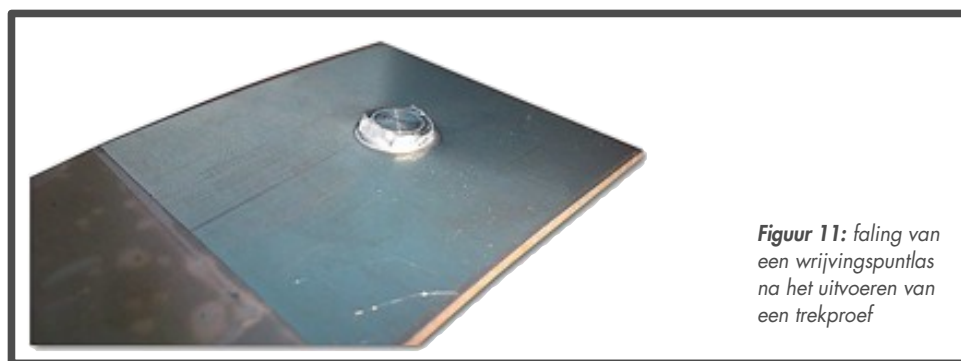
**figuur 8:** Resultaten van de trekproeven voor testreeks 1 : treksterkte in functie van de lastijd



**Figuur 9:** metallografische doorsnede van een typische verbinding uit reeks 2 (lascondities: lastijd: 8 sec.; indringdiepte: 1,6 mm; rotatiesnelheid: 3.000 rpm)

warmtebeïnvloede zone vermindert tot ongeveer 115 HV<sub>0,5</sub>, op een aantal millimeters van de lasinterface. Aangezien de 2024-legering een precipitatiegehard materiaal is, bepaalt de verandering van de precipitaten tijdens en na het lassen de uiteindelijke hardheid. Het verlies aan hardheid in de warmtebeïnvloede zone kan toegeschreven worden aan de vergroting van de precipitaten en de microstructuur ten gevolge van de thermische cyclus. In de laslens ondergaat de microstructuur een intense vervorming en zorgt de temperatuur voor een dynamische rekristallisatie. De hoge temperatuur zorgt voor een oplossing van de precipitaten in de matrix en een reprecipitatie tijdens de afkoeling na het lassen. In de laslens wordt er een iets hogere hardheid vastgesteld in vergelijking met het basismateriaal. Dit kan toegeschreven worden aan de korrelverfijning in deze zone en de reprecipitatie en de veroudering na het lassen. Voor alle verbindingen van testreeks 2 werden er trekproeven uitgevoerd. Op basis van de resultaten van reeks 1 en 2 werd er vastgesteld dat de rotatiesnelheid geen

invloed heeft op de treksterkte. De treksterkte nam echter af voor een grotere indringdiepte van de mantel. Een duidelijkere invloed had de lastijd: een hogere treksterkte wordt opgemeten voor een langere lastijd. De hoogste treksterkte werd behaald voor een lastijd van



**Figuur 11:** faling van een wrijvingspuntlas na het uitvoeren van een trekproef

8 sec., een rotatiesnelheid van 3.000 tpm en een indringdiepte van 1,6 mm. Die bedroeg gemiddeld 7,6 kN. Het faalmechanisme

werd in dit geval getypeerd door een uitknoping van de laslens uit de bovenste plaat (figuur 11).

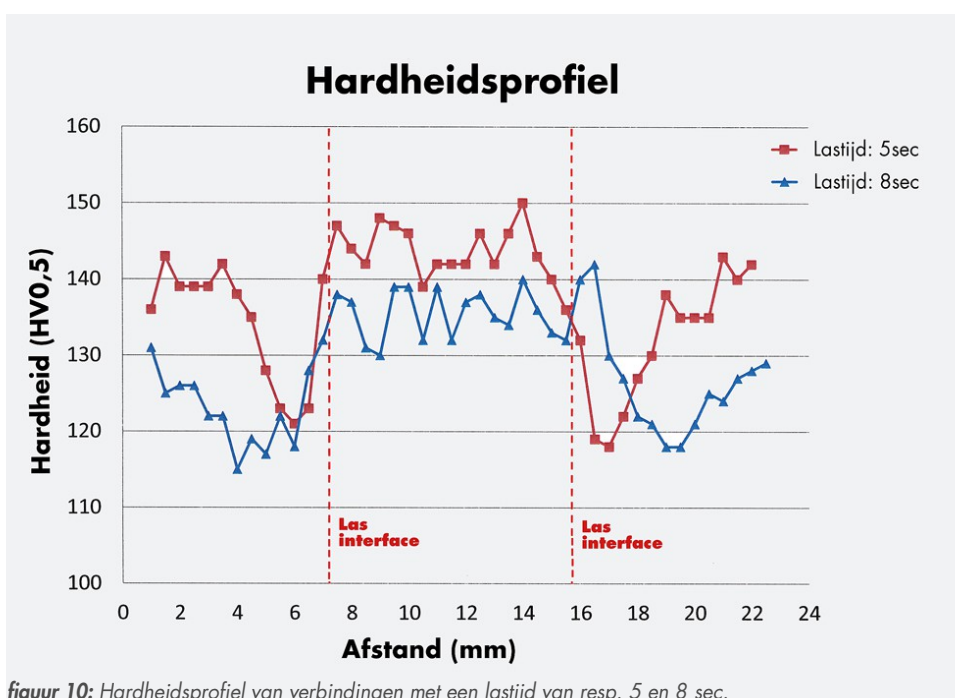
## CONCLUSIE

Voor het bestuderen van de lasbaarheid van de aluminiumlegering EN AW-2024-T3 werden er twee reeksen van experimenten uitgevoerd. In de eerste reeks werden alle parameters gevarieerd. In bijna alle verbindingen werden er lasfouten vastgesteld. Gebaseerd op de resultaten van deze experimenten, werd er geconcludeerd dat een aanpassing van de lasparameters noodzakelijk was voor het verbeteren van de laskwaliteit. Het bleek dat er beter een langere lastijd gebruikt kon worden. Hierdoor werden er in reeks 2 lasexperimenten uitgevoerd met een langere lastijd van 6 en 8 sec. De beste resultaten werden behaald met een lastijd van 8 sec., een rotatiesnelheid van 3.000 tpm en een indringdiepte van 1,6 mm. De langere lastijd en de hogere rotatiesnelheid zorgen voor een grotere plasticiteit van het materiaal

in de laszone, zodat defecten zoals bindingsfouten of een onvolledige vulling vermeden kunnen worden. Er werd een verzachting in de warmtebeïnvloede zone waargenomen, die toeneemt voor een langere lastijd. Het toepassen van een correcte warmtebehandeling kan echter de hardheid in de laszone herstellen. De verbindingen met geoptimaliseerde parameters haalden een treksterkte van gemiddeld 7,6 kN in afschuiving. □

## REFERENTIES

- [1]: T. Rosendo, B. Parra, M.A.D. Tier, A.A.M. da Silva, J.F. dos Santos, T.R. Strohaecker, N.G. Alcantara, Mechanical and microstructural investigation of friction spot welded AA6181-T4 aluminium alloy. Mater. Des. 32 (2011) 1094.
- [2]: L.C. Campanelli, U.F.H. Suhuddin, J.F. dos Santos, N.G. Alcantara, Preliminary Investigation on Friction Spot Welding of AZ31 Magnesium Alloy. Mater. Sci. Forum 706-709 (2012) 3016.
- [3]: T. Rosendo, B. Parra, M.A.D. Tier, A.A.M. da Silva, J.F. dos Santos, T.R. Strohaecker, N.G. de Alcantara. Mechanical and microstructural investigation of friction spot welded AA6181-T4 aluminium alloy. Material and Design. 32:1094-1100.
- [4]: [www.harms-wende.de](http://www.harms-wende.de)
- [5]: ASM Aerospace Specification Metals - [www.aerospacemetals.com](http://www.aerospacemetals.com)



**figuur 10:** Hardheidsprofiel van verbindingen met een lastijd van resp. 5 en 8 sec.