

Wrijvingspuntlassen van hogesterkte-aluminium

Het conventioneel puntlassen van aluminium brengt moeilijkheden met zich mee. Recent is een innovatieve puntlastechniek op de markt verschenen, het wrijvingspuntlassen, waarbij de verbinding tot stand gebracht wordt via wrijvingswarmte en mechanische vervorming. Dit artikel geeft een uiteenzetting van het experimenteel onderzoek omtrent het wrijvingspuntlassen van hogesterkte-aluminiumlegeringen van het type EN AW-7075 T6.

door Irene Kwee en Koen Faes, Belgisch Instituut voor Lastechniek

Lichtgewicht materialen met een hoge sterkte zijn al jaren in opmars in de automobiel- en luchtvaartindustrie. Steeds vaker wordt aluminium plaatwerk toegepast ter vervanging van staalplaat. Het is wenselijk dat daarbij gebruik gemaakt kan worden van de voornaamste verbindingstechniek in deze sector: het puntlassen. Het puntlasproces is goedkoop, snel en ongevoelig voor variaties in de maatnauwkeurigheid van de te lassen onderdelen, waardoor het bij uitstek geschikt is voor automatisering.

In tegenstelling tot het puntlassen van staal, gaat het puntlassen van aluminium gepaard met een aantal ernstige moeilijkheden. De combinatie van de hoge lasstroom met de neiging tot aanleggen resulteert meestal in een bijzonder korte elektrodelevensduur. Verder werkt het regelmatig reinigen van de elektroden vertragend, waardoor de productiekosten toenemen. Om deze nadelen het hoofd te bieden, werd een nieuwe variant van het puntlasproces ontwikkeld, namelijk het wrijvingspuntlassen.

Nieuwe techniek: wrijvingspuntlassen

Het wrijvingspuntlassen (refill friction stir spot welding) is een zogenaamd 'solid state'-lasproces (met andere woorden het materiaal blijft in de vaste toestand), geschikt voor het lassen van laagsmeltende legeringen, zoals aluminium- en magnesiumlegeringen. Het resultaat is een puntlasverbinding die tot stand gebracht wordt via wrijvingswarmte en mechanische vervorming.

Voordelen van het wrijvingspuntlassen:

- Puntlasverbinding zonder materiaalverlies of eindkrater
- Korte lastijd (enkele seconden, afhankelijk van de geselecteerde lasparameters)
- Ecologisch proces: geen gebruik van toevoegmaterialen of beschermgassen en geen uitstoot van lasrook, IR-, UV- of elektromagnetische straling tijdens de lascyclus

Het proces wordt in vier stadia uitgevoerd met behulp van een tool, bestaande uit drie delen: de pin, de mantel en de klemmingsring (figuur 1). Deze laatste klemt de twee te lassen platen. De mantel en de pin roteren aanvankelijk op dezelfde wijze (A). De mantel wordt al roterend in het materiaal gedrukt, terwijl de pin teruggetrokken wordt (B). Dit creëert een holte binnenin de mantel. De wrijving van de mantel ten opzichte van de plaat brengt het materiaal van de plaat in een viskeus-plastische toestand. Het plastische materiaal wordt vervolgens in de holte 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 deze volledig gevuld wordt (C). Wanneer de pin en de mantel zich weer in de beginpositie bevinden, wordt de rotatie van beide stopgezet en wordt de tool in zijn geheel teruggetrokken (D). De belangrijkste parameters van het proces zijn de rotatiesnelheid, de indringdiepte, de lastijd en de kracht op de pin en mantel.

Lasbaarheid van EN AW-7075 T6

De lasbaarheid van aluminium EN AW-7075 T6 platen met een dikte van 1,6 mm werd onderzocht. De typische chemische samenstelling en mechanische eigenschappen van dit materiaal zijn gegeven in tabel 1.

Typische chemische samenstelling van EN AW-7075 T6 (gew. %)									
Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Ti	Zn	Overige
87,1	0,18	1,2		2,1				5,1	
-	-	-	max. 0,5	-	max. 0,3	max. 0,4	max. 0,2	-	max. 0,15
91,4	0,28	2,0		2,9				6,1	

Mechanische eigenschappen van EN AW-7075 T6			
Vloeigrens (MPa)	Treksterkte (MPa)	Rekgrens (%)	Smeltpunt (°C)
503	572	11	477 - 635

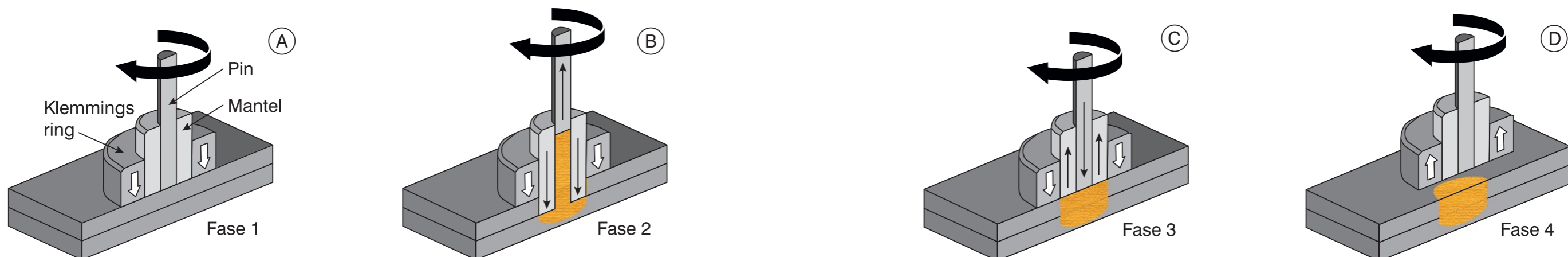
Tabel 1 Chemische samenstelling en mechanische eigenschappen. Bron: ASM Aerospace Specification Metals

Reeks 1: wrijvingspuntlasverbindingen voor afschuifproeven

Lastijd (s)	6 - 8 - 10
Indringdiepte (mm)	1,6 - 2,0 - 2,4
Rotatiesnelheid (tpm)	1000 - 2000 - 3000

Reeks 2: wrijvingspuntlasverbindingen voor koptrekproeven	
Lastijd (s)	7 - 8 - 9
Indringdiepte (mm)	2,0 - 2,2 - 2,4
Rotatiesnelheid (tpm)	1000 - 2000 - 3000

Tabel 2 Overzicht van de lasparameters voor beide reeksen



Figuur 1 Werkingsprincipe van het wrijvingspuntlassen [1]

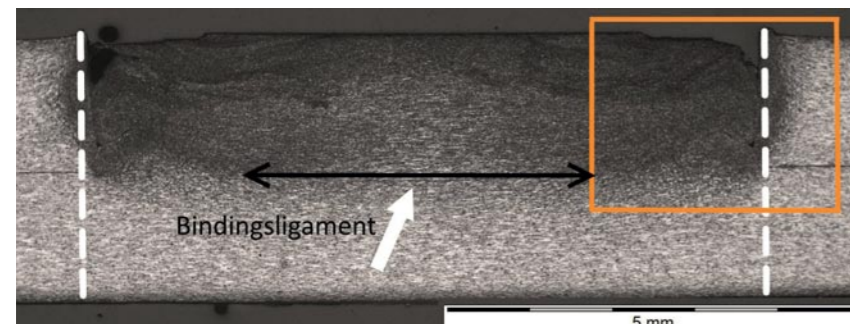
Voor het lasbaarheidsonderzoek werden de wrijvingspuntlasverbindingen metallografisch bestudeerd en vervolgens onderworpen aan afschuifproeven (reeks 1) en koptrekproeven (reeks 2). In beide reeksen werden de lastijd, de indringdiepte en de rotatiesnelheid gevarieerd (tabel 2). De behaalde waarden voor de afschuif- en koptrekkrachten werden gerelateerd aan de gebruikte lasparameters en de microstructuur van de las.

Metallografisch onderzoek

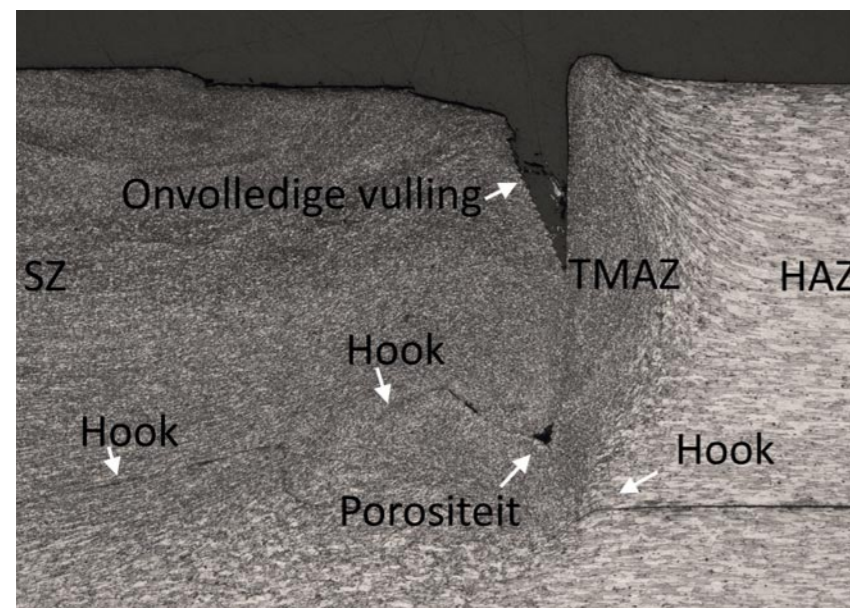
Een typische dwarsdoorsnede van een wrijvingspuntlasverbinding wordt getoond in figuur 2. De zone tussen de onderbroken verticale lijnen is ongeveer gelijk aan de buitendiameter van de mantel en duidt de laslens aan. De witte pijl verwijst naar het bindingsligament ('bonding ligament length' = BLL), dat gedefinieerd wordt als de binding tussen de twee platen evenwijdig aan het plaatoppervlak. Figuur 3 is een detailopname van de verschillende microstructurele zones en geometrische defecten in figuur 2.

De laslens ('stirring zone' = SZ) bevindt zich in het midden van de las en wordt meestal gekarakteriseerd door een fijne microstructuur als gevolg van dynamische rekristallisatie, geïnduceerd door de grote plastische vervorming en de thermische cyclus. Naast de laslens bevindt zich de thermo-mechanisch beïnvloede zone ('thermo-mechanically affected zone' = TMAZ). Deze bestaat uit een sterk vervormde microstructuur, die ontstaat bij een lagere temperatuur en door een meer beperkte plastische vervorming. Ten slotte wordt de warmte-beïnvloede zone ('heat affected zone' = HAZ) gekenmerkt door een niet-vervormde microstructuur.

De belangrijkste geometrische defecten zijn een onvolledige vulling van de las, die ontstaat wanneer de pin het plastische materiaal terug in de mantel duwt, porositeiten en hooking. Porositeiten situeren zich langs het pad waarlangs de mantel de platen indringt. Hooking is het gevolg van de vervorming van het oorspronkelijk scheidingsvlak tussen de twee platen.

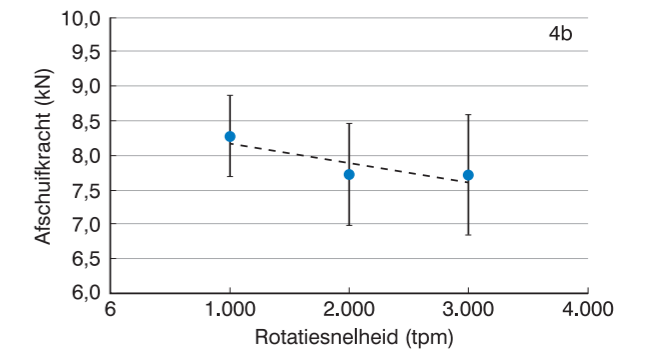
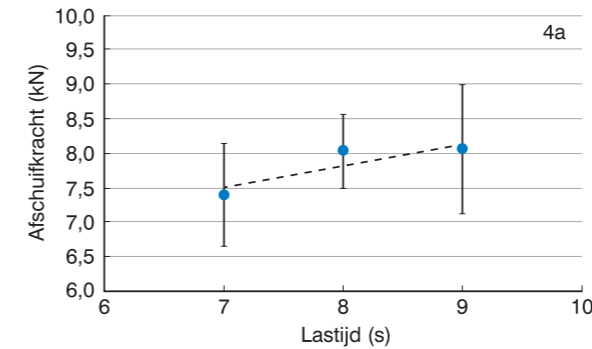


Figuur 2 Typische dwarsdoorsnede van een wrijvingspuntlasverbinding. Lasparameters: lastijd = 8 s; indringdiepte = 1,6 mm; rotatiesnelheid = 2500 tpm



Figuur 3 Detail van de aanwezige microstructurele zones en geometrische defecten in figuur 2. Lasparameters: lastijd = 8 s; indringdiepte = 1,6 mm; rotatiesnelheid = 2500 tpm

Oproep
Om de mogelijkheden van dit proces in kaart te brengen en aan de praktijk te toetsen, zal het BIL bij voldoende interesse een praktijkgericht onderzoeksproject opstarten. Het doel is na te gaan wat de mogelijkheden zijn van dit proces wat betreft lasbaarheid van materialen en de toepasbaarheid in de industrie. Daarnaast zullen er industriële case studies ontwikkeld worden om het potentieel van het proces aan te tonen. Bedrijven die interesse hebben om deel te nemen aan dit project kunnen contact opnemen met Koen Faes van het Belgisch Instituut voor Lastechniek: koen.faes@bil-ibs.be

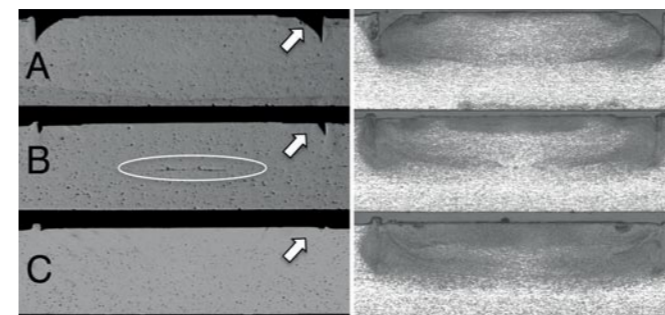


Figuur 4 Effect van de lastijd (4a) en rotatiesnelheid van de pin (4b) op de afschuifkracht. De punten in de grafieken vertegenwoordigen de gemiddelde afschuifkracht voor alle lasverbindingen geproduceerd met een bepaalde lastijd of een bepaalde rotatiesnelheid. De trendlijn toont het globale effect van de lasparameter op de afschuifkracht.

Afschuifproeven

Een eerste reeks van wrijvingspuntlasverbindingen werd onderworpen aan een afschuifproef. De grootte van de afschuifkrachten varieert van 6,9 tot 8,7 kN. Het effect van de lastijd en de rotatiesnelheid op de behaalde afschuifkracht wordt geïllustreerd in figuur 4.

Figuur 4a illustreert dat de afschuifkracht verbetert bij een hogere lastijd. Dit is te verklaren aan de hand van de microstructuur. Figuur 5 toont ongeëtste en geëtste dwarsdoorsnedes van lasverbindingen, geproduceerd met een lastijd van respectievelijk 6, 8 en 10 s.



Figuur 5 Dwarsdoorsnede van wrijvingspuntlasverbindingen, geproduceerd met lastijden van 6 s (A), 8 s (B) en 10 s (C). Constante lasparameters: rotatiesnelheid = 2000 tpm; indringdiepte = 1,6 mm.

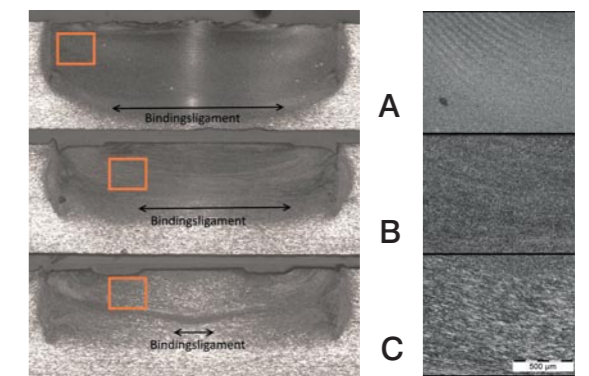
De witte pijl duidt de onvolledige vulling van de las aan. Naarmate de lastijd toeneemt, verdwijnt deze onvolledige vulling, wat resulteert in een lasverbinding met minder of geen defecten. Bovendien vertoont de laslens een meer fijnkorrelige microstructuur, die verder reikt dan het grensvlak tussen de twee platen. Deze veranderingen in microstructuur dragen bij tot de verhoging van de afschuifkracht en zijn waarschijnlijk het gevolg van een verhoogde warmte-inbreng, die onder andere wordt veroorzaakt door een stijging in de lastijd.

Figuur 4b laat zien dat de afschuifkracht toeneemt wanneer de rotatiesnelheid daalt tot 1.000 tpm. Ook dit kan verklaard worden aan de hand van de microstructuur.

Figuur 6 toont dwarsdoorsnedes van lasverbindingen, geproduceerd met een rotatiesnelheid van respectievelijk 1.000, 2.000 en 3.000 tpm. Een lagere rotatiesnelheid leidt tot een laslens met een grotere lengte van het bindingsligament en een fijnere microstructuur, die bovendien dieper reikt in de onderste plaat. Deze veranderingen van microstructuur dragen bij tot de verhoging van de afschuifkracht.

Een lagere rotatiesnelheid leidt tot een laslens met een grotere lengte van het bindingsligament en een fijnere microstructuur, die bovendien dieper reikt in de onderste plaat.

Naarmate de rotatiesnelheid stijgt, veranderen de grootte en vorm van de laslens. Aangezien het grensvlak meer gekromd is aan weerszijden van de laslens, wordt de lengte van het bindingsligament kleiner. Verder vertoont de laslens een grovere microstructuur en reikt minder diep in de onderste plaat.



Figuur 6 Dwarsdoorsnede van wrijvingspuntlasverbindingen, geproduceerd met rotatiesnelheden van 1000 tpm (A), 2000 tpm (B) en 3000 tpm (C). Constante lasparameters: lastijd = 8 s; indringdiepte = 2 mm.

Figuur 7 toont de vier verschillende faalmechanismen die optreden: falen van de las in het grensvlak (G), compleet falen van de las in de bovenste plaat (FB), compleet falen in de onderste plaat (FO) en compleet falen in zowel de bovenste als de onderste



Figuur 7 Verschillende faalmechanismen tijdens de afschuif- en koptrekproeven

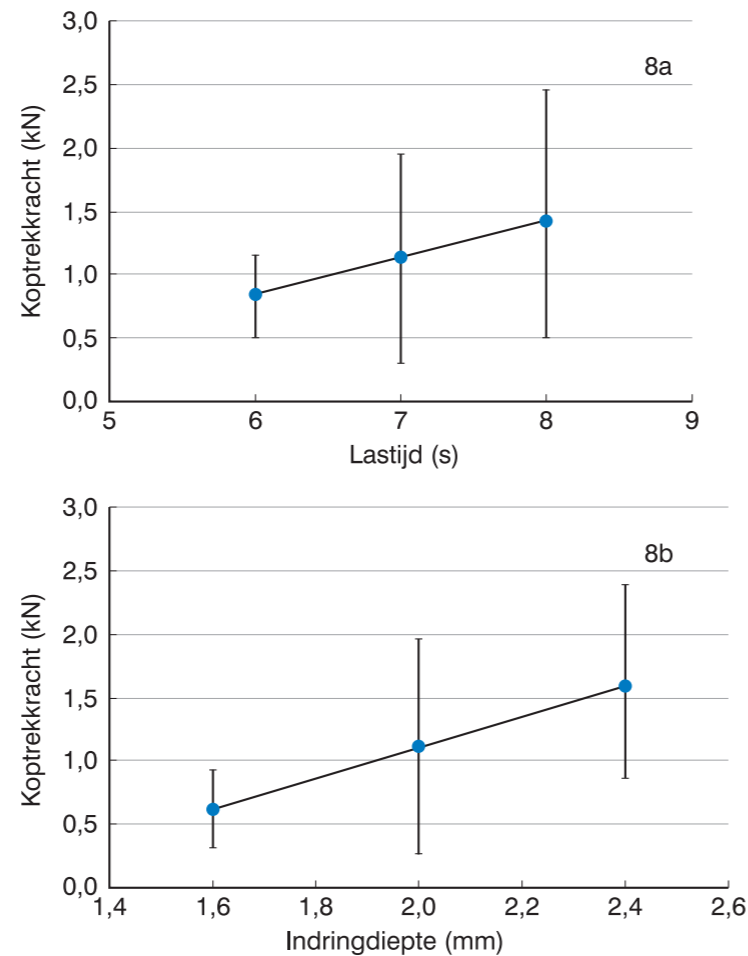
plaat (FBO). Bij het falen van de las in het grensvlak is een gedeelte van de las nog aanwezig aan beide platen. In geval van compleet falen van de las aan één van de twee platen, is de las nog steeds aanwezig aan de tegenoverliggende plaat, waar de las gescheurd is. Lasverbindingen waarvan de las volledig faalt in de onderste plaat (FO) bezitten de hoogste afschuifkracht. Dit is te verklaren doordat de laslens in de onderste plaat waarschijnlijk het zwakst is. Dit faalmechanisme treedt voornamelijk op bij een grotere indringdiepte, een tragere rotatiesnelheid en een langere lastijd.

Koptrekproeven

Een tweede reeks van wrijvingspuntlasverbindingen werd onderworpen aan een koptrekproef. De behaalde koptrekkrachten variëren van 0,3 tot 2,6 kN. Deze waarden liggen veel lager dan de waarden van de afschuifkrachten, die variëren van 6,9 tot 8,7 kN. Dit komt doordat de belasting in een koptrekproef niet de voorkeursbelasting is voor puntlasverbindingen in de overlapconfiguratie.

Het effect van de lastijd en de indringdiepte op de koptrekkracht wordt getoond in figuur 8. Beide lasparameters vertonen een lineaire relatie met de behaalde koptrekkracht: de koptrekkracht stijgt zowel bij een toename van de lastijd als bij een toename van de indringdiepte. Net als bij de afschuifkracht komt dit waarschijnlijk door een verhoogde warmte-inbreng en de daaruit volgende microstructurele veranderingen bij een langere lastijd.

Een lasverbinding met een indringdiepte gelijk aan de plaatdikte (1,6 mm) leidt niet tot het doordringen van de pin en de mantel in de onderste plaat. Bijgevolg is er geen sterke verbinding aan het grensvlak tussen de twee platen, en is er grote kans op defecten (porositeiten, gedeeltelijke binding onder de laslens en hooking) in dit grensvlak, met lage koptrekkrachten tot gevolg. Lasverbindingen met een indringdiepte groter dan de dikte van de plaat, leiden tot een verbetering van de koptrekkracht, aangezien in dit geval ook verbinding gemaakt wordt met de onderste plaat.



Figuur 8 Effect van lastijd (a) en indringdiepte (b) op de koptrekkracht

Bron

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) 1094-1100.

Het falen van lasverbindingen in het grensvlak (G) gebeurt bij lagere koptrekkrachten (lager dan ongeveer 1,2 kN). Het faalmechanisme waarbij de las volledig faalt in de bovenste plaat (FB) treedt op bij bijna alle koptrekkrachten. Bij slechts één lasverbinding treedt falen op in de onderste plaat (FO). Deze bezit tevens de hoogste koptrekkracht (2,8 kN) en de hoogste afschuifkracht (10,2 kN) en werd geproduceerd met een rotatiesnelheid van 1000 tpm, een lastijd van 8 s en een indringdiepte van 2,4 mm.

Samenvatting

Op basis van de beschreven resultaten, kan het effect van de lasparameters op de microstructuur en de afschuif- en koptrekkrachten als volgt worden samengevat:

- **Invloed van de lastijd:** Een stijging van de lastijd leidt tot een verhoogde warmte-inbreng. Dit leidt tot minder defecten en een diepere laslens met een verfijnde microstructuur, wat resulteert in een verhoging van de afschuif- en koptrekkrachten.
- **Invloed van de rotatiesnelheid:** Een toename van de rotatiesnelheid leidt eveneens tot een verhoging van de warmte-inbreng. Hierbij treedt echter een tegenovergesteld effect op, aangezien een kleinere laslens met een kleinere lengte van het bindingsligament en een meer grofkorrelige microstructuur verkregen wordt, wat resulteert in een lagere koptrekkracht. Een verlaging van de rotatiesnelheid tot 1000 tpm resulteert in een diepere laslens met een grotere lengte van het bindingsligament en een verfijnde microstructuur. Deze veranderingen van de microstructuur leiden tot een verbetering van de koptrekkracht.
- **Invloed van de indringdiepte:** Een indringdiepte gelijk aan de dikte van de bovenste plaat moet vermeden worden, aangezien dit resulteert in gedeeltelijke verbindingen en microstructurele defecten in het grensvlak en een lagere koptrekkracht.

De lasverbinding geproduceerd met een rotatiesnelheid van 1000 tpm, een lastijd van 8 s en een indringdiepte van 2,4 mm vertoont de hoogste koptrekkracht (2,8 kN) en de hoogste afschuifkracht (10,2 kN) en faalt volledig in de onderste plaat.

DE NIEUWKOMER IN DE PROFKLASSE.

Welbee W 400

Welbee T 500 P

Een topproduct als het om hoogwaardig AC/MIG-laswerk gaat

- Optimaal gecontroleerde energie-invoer dankzij het AC-pulslassen
- AC-pulslassen met hoge snelheid door verbeterde eigenschappen voor het lassen van het betreffende materiaal
- Lasnaden lijken te zijn gevormd door het WIG-lassen, dankzij AC-wave-pulse-technologie
- Hoge smeltcapaciteit, inbrandingscontrole
- Uitbreiding van het aantal toepassingen dankzij 440 A bij inschakelduur van 40%

Nauwkeurige instelling en lashoogstabiliteit, ook bij een laag lasstroombereik

- Hoge dynamiek tot 500 A
- Variabele en nauwkeurige instelling van 2-500 A in stappen van 0,1-A (tot max. 10 A)
- Synergiefunctie voor uiteenlopende lasnaad geometrieën
- Fouten worden vroeg gesignaleerd dankzij de welding-control-functie

GEAVANCEERDE PROCESSEN VOOR OPTIMALE LASRESULTATEN:

Standard pulse

Stabiele en geconcentreerde lasboog, zowel voor hogesnelheidstoepassingen als voor rootpass-lassen

AC/MIG

Optimale inbrandingscontrole en spleetoverbrugging bij bewerkingen van dun plaatmateriaal

Wave pulse

Uitgebreid frequentiebereik (0,5-32 Hz) dankzij AC&DC-wave-pulse-functie

www.otc-daihen.com Member of DAIHEN Group