

Onderzoeksprojecten

NIL project:
HOOGTEMPERATUURSOLDEREN
SOLDEREN VAN ALUMINIUM



Auteurs ir. H.H. van der Sluis, TNO Industrie
 ing. C.C.J. Kaasschieter, TNO Industrie

Nederlands Instituut
voor Lastechniek

Krimkade 20
2251 KA Voorschoten

Vestiging Apeldoorn (Onderzoek)
Postbus 541 7300 AM Apeldoorn

doc.nr.: TC-I-A-566-96

augustus 1996

SOLDEREN VAN ALUMINIUM

Bestemd voor:

Nederlands Instituut voor Lastechniek

Krimkade 20

2251 KA VOORSCHOTEN

Ter attentie van de voorzitter en de leden van de NIL-Subcommissie TC-I-A

"Hoogtemperatuursolderen"

Samengesteld door: ing. C.C.J. Kaasschieter

 ir. H.H. van der Sluis

Namens de werkgroep "Solderen van Aluminium" bestaande uit:

W.H. Brouwer - FOM Amsterdam

P. Hanenburg - NPB

C.C.J. Kaasschieter - TNO Industrie

J.H.F.G. Lipperts - ABB

R. Peereboom - VSC

H.H. van der Sluis - TNO Industrie

Chr. van Stiphout - HCH

Datum : augustus 1996

Oplaat : 25

Dit rapport is het resultaat van onderzoek uitgevoerd door TNO Industrie in opdracht van het Nederlands Instituut voor Lastechniek.

SAMENVATTING

Onderzoek is uitgevoerd naar het vacuümsolderen met een laagsmeltend Al Cu 20 Si 5 Ni₂ soldeer op een AA6061 (Al Mg1 Si Cu) legering.

Uit het uitgevoerde onderzoek blijkt dat met dit soldeer met (licht) aandrukken van de proefstukken geen optimaal gevulde soldeernaden worden verkregen. De met de verbindingen verkregen afschuifsterkten varieerden tussen 34 en 53 N/mm².

Inhoud	pagina
Samenvatting	i
1 Inleiding	1
2 Materialen en proefopzet	2
3 Uitvoering en resultaten van het onderzoek	4
4 Bespreking van de resultaten	6
5 Conclusies	7
6 Literatuur	8
Bijlage 1 U.S. Sonogram	
Bijlage 2 Microfocusröntgen opname	
Bijlage 3 Microscopie	
Bijlage 4 Proefstukvorm	

1 INLEIDING

Aluminium is een moeilijk soldeerbaar materiaal met een laag smeltpunt en een zeer bestendige, hoogsmeltende oxydehuid. Voor het solderen van aluminium worden agressieve vloeimiddelen toegepast die na het solderen moeilijk te verwijderen zijn. De kwaliteit van de verbinding kan nadelig beïnvloed worden door het optreden van corrosie ten gevolge van vloeimiddelresten. Hoogwaardige constructies vervaardigd uit aluminium dienen kwalitatief goede verbindingen te bevatten. Het toepassen van een vloeimiddelvrij soldeerproces kan hiertoe bijdragen. Vacuümsolderen vormt een goed alternatief. Wel dienen dan daartoe geschikte soldeermaterialen ter beschikking te zijn.

De gangbare soldeermaterialen voor aluminium- en aluminiumlegeringen hebben hoge smeltpunten, waardoor deze toevoegmaterialen vaak moeilijk toepasbaar zijn. Enerzijds omdat de hoge smeltpunten het beheersen van de temperatuur binnen nauwe grenzen (nl. het kleine temperatuurverschil tussen de soldeertemperatuur en het smeltpunt van de toegepaste te solderen aluminium-legering) ernstig bemoeilijkt, zelfs bij uitvoering van het soldeerproces in een vacuümoven. Anderzijds omdat het toepassen van hoogsmeltende soldeersoorten zich beperkt tot zuiver aluminium en enkele laaggelegeerde aluminiumlegeringen zoals AlMn, AlMg, AlMgSi en AlZn.

Het meest toegepaste soldeer is het B AlSi-4 type met een smeltraject liggend tussen 577 en 582°C en een soldeertemperatuur van 582 tot 604°C. Dit type is niet geschikt voor het solderen in vacuüm vanwege een te laag Mg-gehalte (0,1%); voor het succesvol toepassen als vacuümsoldeer dient het AlSi-type soldeer 1-2% Mg te bevatten. Echter ook dan heeft het soldeer nog een (te) hoge soldeertemperatuur zodat dit probleem nog niet is opgelost.

In ontwikkeling zijnde laagsmeltende soldeermaterialen kunnen aan dit probleem tegemoet komen. Dit is in literatuuronderzoek vastgesteld (1).

Het zal duidelijk zijn dat het kunnen toepassen van laagsmeltende soldeersoorten (smelttemperatuur < 525°C) een aanzienlijke verruiming betekent van het toepassingsgebied van de aluminiumlegeringen. Met name geldt dit voor legeringen die om redenen van sterkte of corrosiebestandheid zeer aantrekkelijk zijn om toe te passen in hoogwaardige constructies, maar voor de bestaande soldeersoorten een te laag smeltraject of smeltpunt hebben.

In een BRITE onderzoekprogramma is een nieuw soldeer ontwikkeld. De praktische toepasbaarheid van dit soldeer (Al Cu 20 Si 5 Ni2 490-520°C) is in dit gerapporteerde onderzoek nagegaan.

2 MATERIALEN EN PROEFOPZET

Materialen:

Soldeerproeven worden uitgevoerd op aluminium AA 6061 (AlMg1SiCu) gesoldeerd met een soldeerfolie TRI-9 foil. Het AA 6061 heeft een smeltraject dat ligt tussen 580-650°C. TRI-9 folie is afkomstig uit een BRITE-onderzoek en is aangemaakt door CLAL. De opbouw van het soldeer is een AlSi-laag van ca. 100 µm dik met aan weerskanten een laag van CuNi met een dikte van ca 2 µm per laag. De samenstelling van dit soldeer luidt: Al Cu 20 Si 5 Ni2 met een smeltraject dat ligt tussen 490-520°C.

Voorbehandeling:

- soldeer: us-ontvet in aceton en gespoeld met alcohol
- aluminium: gebeitst (zie onderstaand schema)

NaOH 5%, 55°C, 60 sec
H ₂ O dest., 25°C 60 sec
HNO ₃ 7%, 25°C, 60 sec
H ₂ O dest., 25°C, 60 sec
Ethanol, 25°C, 60 sec
Drogen met warme lucht
Oven 70°C, 60 min

Proefstukken:

Hiervoor worden plaatjes gebruikt van 55x10x4 mm; soldeerproeven worden gedaan op T-proefstukken ter bepaling van het vloeï- en hechtgedrag en met overlap proefstukken ter bepaling van de sterkte.

Soldeercyclus:

- opwarmen met 20°C/min naar 400°C
- op 400 °C houden gedurende 10 min.
- doorwarmen met 20°C/min naar 560 of 570°C
- op 560-570°C houden gedurende 10 of 20 min.
- afkoelen in vacuüm met 20°C/min naar 200°C
- vanaf 200°C snelkoelen

N.B. In het onderzoek is gevarieerd in soldeertemperatuur- en tijd.

3 UITVOERING EN RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

Ter bepaling van het vloeï- en hechtgedrag zijn T-proeven uitgevoerd in de vacuümoven (no's 1 t/m 4 en 6/7) en in een beschermgasoven in stikstof (no. 5). In het onderstaande worden de resultaten samengevat.

Proefstuknr.:

- 1- T-proef gesoldeerd bij 570°C/10 min in vacuüm; soldeerbreedte 8-10 mm; resultaat: kleine, onregelmatige meniscus met holten;
- 2- T-proef gesoldeerd bij 560°C/10 min in vacuüm; soldeerbreedte 8-10 mm; resultaat: eveneens een iets grotere, onregelmatige meniscus met holten;
- 3- T-proef gesoldeerd bij 560°C/20 min in vacuüm met 2 folies; soldeerbreedte 8-10 mm; resultaat: een grotere meniscus (vliesvormig), die onregelmatig is met grote holten;
- 4- T-proef gesoldeerd bij 570°C/20 min in "low vacuüm"; soldeerbreedte 8-10 mm; resultaat: geen meniscus gevormd; overbreedte aan soldeer is niet aangesmolten en vertoont een grove oppervlaktestructuur;
- 5- T-proef gesoldeerd bij 570°C/20 min in stikstof met een zuurstofconcentratie < 1ppm; soldeerbreedte 8-10 mm; resultaat: geen meniscus gevormd; overbreedte aan soldeer is verkleurd;
- 6/7- T-proef gesoldeerd bij 560°C/10 min in vacuüm met een aandrukkracht van resp. 250 g en 500 g oftewel 1,1 en 2,3 g/mm²; soldeerbreedte 4 mm is gelijk aan de dikte van het opstaand plaatje, dus geen overbreedte; resultaat: een goede, regelmatige meniscus; het proefstuk met de aandrukkracht van 500 g geeft een iets gunstiger resultaat.

Ter vaststelling van de kwaliteit van de soldeerverbindingen is niet-destructief en microscopisch onderzoek uitgevoerd.

Op de gesoldeerde T-proefstukken no. 6 en 7 is door het VSC US-onderzoek en bij TNO Industrie microfocusröntgen-onderzoek uitgevoerd. Daarnaast zijn van de twee proefstukken langdoorsneden gemaakt en lichtmicroscopisch bekeken.

US-onderzoek

- Het resultaat van het uitgevoerde US-onderzoek wordt weergegeven in een sonogram in bijlage 1; voor het afstellen van de apparatuur is gebruik gemaakt van een vormgelijk massief T-proefstuk met gaten als ijkfouten tot aan de bovenkant van de ligger; de u.s. onderzochte proefstukken vertonen geen volledige vulling; deze wordt geschat op 45% en 55% voor proefstuk no. 6 resp. no. 7

Microfocusröntgen-onderzoek

- Van beide proefstukken zijn op enkele plaatsen opnamen gemaakt; hierop is duidelijk de onregelmatige structuur te herkennen; de lichte gedeelten betekenen geen of slechte vulling, zie bijlage 2, fig. 2 en 3.

Microscopisch onderzoek

- Van beide proefstukken zijn langdoorsneden gemaakt over de verbinding (in het midden); de doorsneden vertonen een onregelmatige vulling en hechting, waarbij de indruk wordt verkregen dat minder dan 50% gehecht is; de hechting van het proefstuk no. 7 met een aandrukkracht van 500 g is iets gunstiger dan die met 250 g druk, zie tevens bijlage 3, fig. 4 en 5.

Ter bepaling van de afschuifsterkte is in 3-voud een afschuifproefstuk vacuüm gesoldeerd op 560°C/10 min. met een aandrukkracht die resulteert in een oppervlakte druk van 3,4 g/mm²; de proefstukvorm wordt in figuur 1 in de bijlage 4 weergegeven.

De resultaten van de afschuifproef worden in tabel 1 gegeven.

Tabel 1. Resultaten afschuifproeven op AA6061 gesoldeerd met TRI-9 folie.

Proefnummer	Soldeeroppervlak (mm ²)	Breukbelasting (N)	Afschuifsterkte (n/mm ²)
6061-1	3,8x10,0	1350	35,5
6061-2	3,5x10,2	1900	53,2
6061-3	4,6x10,0	1560	34,0

4 **BESPREKING VAN DE RESULTATEN**

Uit de verkregen resultaten blijkt dat met de in het onderzoek toegepaste variatie in parameterinstellingen nog geen optimale verbindingen zijn te verkrijgen. Variatie in soldeertemperatuur (560 en 570°C) leverde evenals variatie in soldeertijd (10 en 20 min.) niet het gewenste resultaat op.

Evenmin was dit het geval bij het toepassen van een dubbele soldeerhoeveelheid (2 folies i.p.v. 1 folie), het werken onder deeldruk ("low vacuüm") en het solderen in een stikstofatmosfeer.

Bij het aanbrengen van een aandrukkracht van resp. 250 en 500 g op de T-proefstukjes werd een visueel goede, regelmatige meniscus verkregen.

Echter, US-onderzoek, microfocusröntgen-onderzoek en microscopisch onderzoek leerden dat de soldeerverbindingen voor ca. 50% gevuld en gehecht waren.

De uitgevoerde afschuifproeven geven waarden voor de afschuifsterkte die variëren tussen 34 en 53 N/mm². Deze waarden komen overeen met afschuifsterkten die in (2) gevonden worden voor AA5083 en AA7475, beide gesoldeerd zonder aandrukken. Weliswaar is op de gesoldeerde afschuifproefstukken een aandrukkracht uitgeoefend; deze is echter laag en resulteert in een druk van 0,033 MPa (op de T-proefstukken bedroeg deze resp. 0,011 en 0,022 MPa). Volgens (2) zijn hogere afschuifsterkten (factor 2 à 3) mogelijk; echter dan dient met een grotere kracht op de proefstukken te worden gedrukt (druk: 2 MPa).

Indien een aandrukkracht wordt toegepast van 300 KPa, worden afschuifsterkten verkregen van 75 MPa (3). Volgens deze bron is aandrukken tijdens solderen nodig, daar het soldeer bij afkoelen een sterke slink vertoont.

5 CONCLUSIES

Geconcludeerd kan worden dat de met Al Cu 20 Si 5 Ni2 soldeer in folievorm verkregen verbindingen niet optimaal zijn.

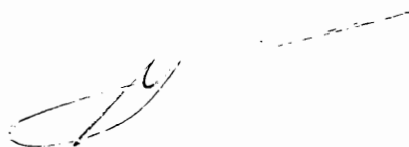
Verbindingen in vacuüm gesoldeerd bij 560°C/10 min. onder gebruikmaking van een lichte (0,01-0,03 MPa) aandrukkracht geven weliswaar een goed, aangevloeide meniscus, maar vertonen in niet-destructief en microscopisch onderzoek een slechte naadvulling.

Met deze verbindingen worden afschuifsterkten bereikt met waarden tussen 34 en 53 N/mm². Het toepassen van een grotere aandrukkracht resulteert volgens (2, 3) in afschuifsterkten die een factor 2 hoger liggen. Verwacht mag worden dat dan ook een betere naadvulling wordt verkregen.

TNO Industrie



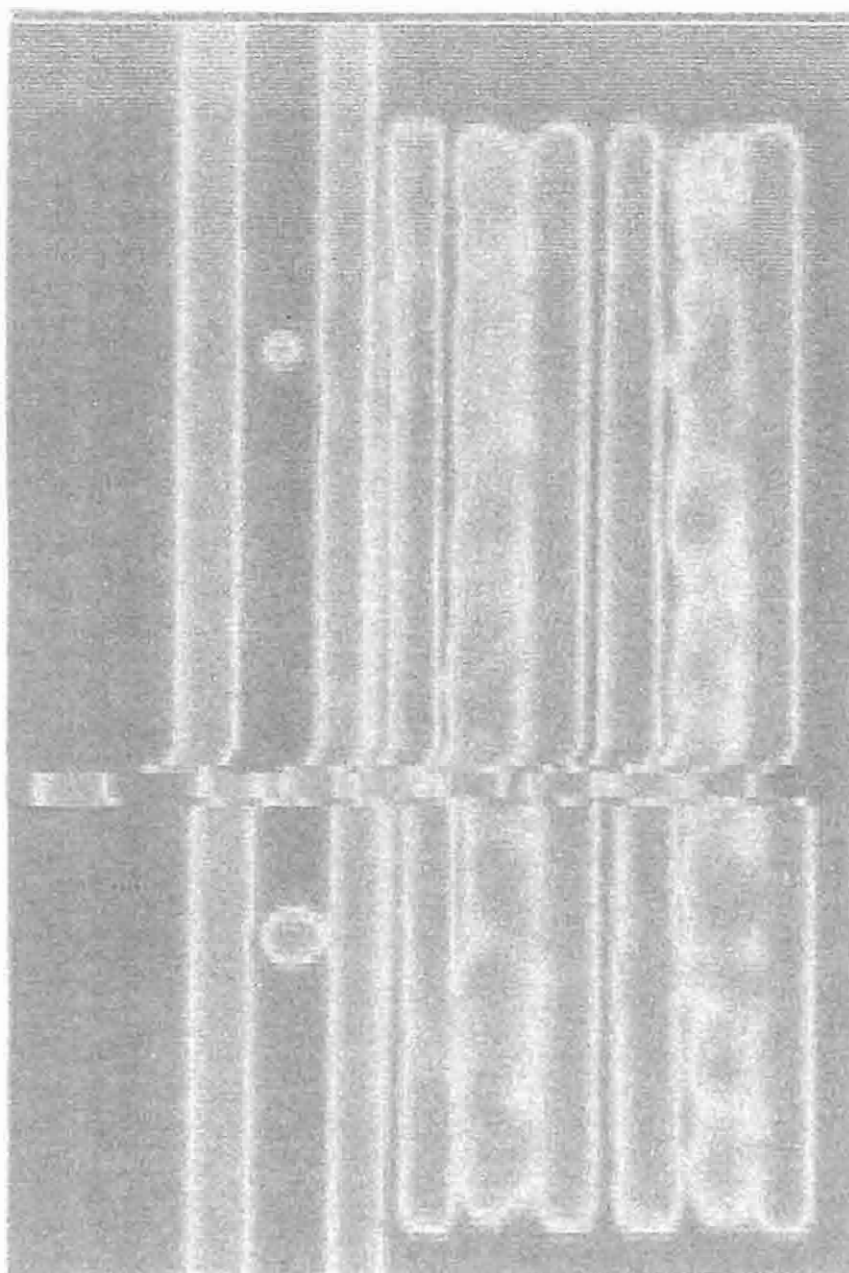
ing. C.C.J. Kaasschieter



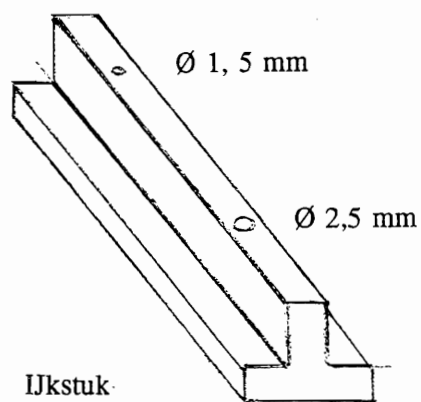
ir. H.H. van der Sluis

6 LITERATUUR

1. TC-I-A-532-93 rapport - H.H. van der Sluis
Vacuümsolderen van Al en Al-legeringen met laagsmeltende soldeersoorten; een literatuuronderzoek Dec. 1993
2. B. Heine - Flussmittelfreies Hartlöten vor in der Luftfahrt verwendeten Aluminiumlegierungen mit niedrigschmelzenden Lot, Schweißen und Schneiden (45) 1993 H. 8 p429-430.
3. D.M. Jacobson, G. Humpston, P.S. Sangha
A New Low-Melting-Point Aluminum Braze, Weld J. August 1996, 243-S/250-S.



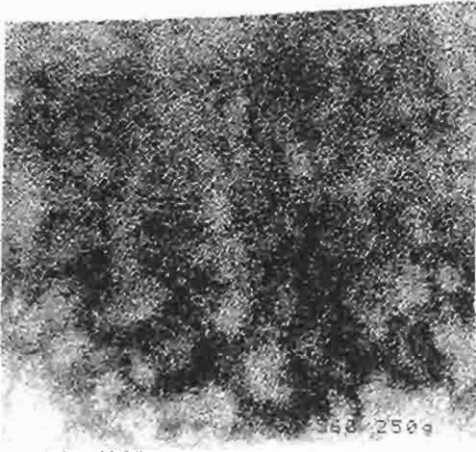
Scanfout



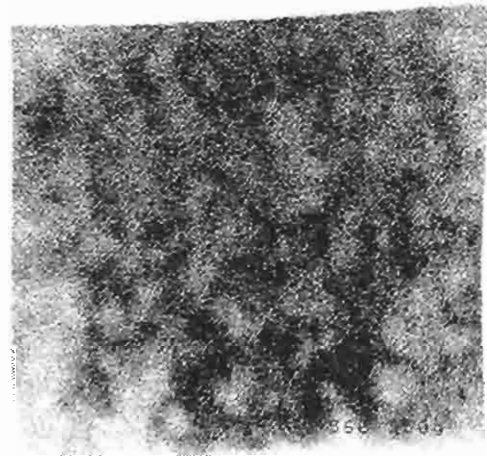
Proefstuk no. 6 Proefstuk no. 7
Aandrukkracht 250 g Aandrukkracht 500 g

Fig. 1 U.S. sonogram

Bijlage 2 Microfocusröntgenopname

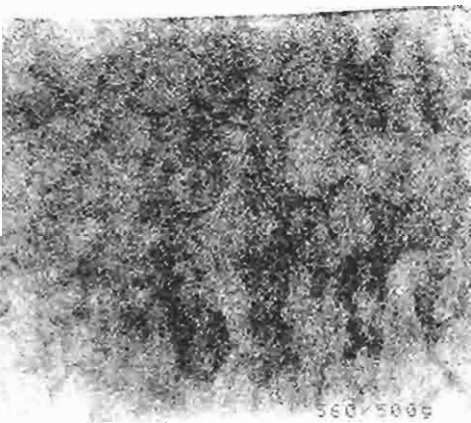


Figuur 2a

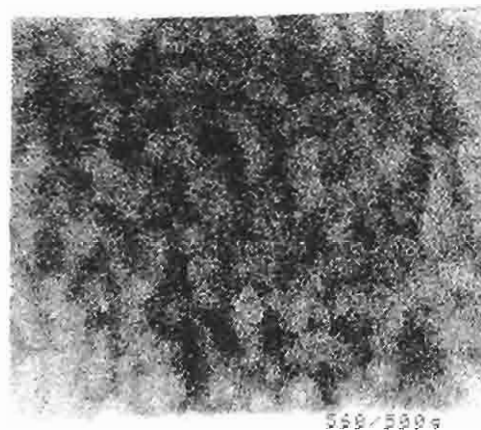


Figuur 2b

Proefstuk no. 6



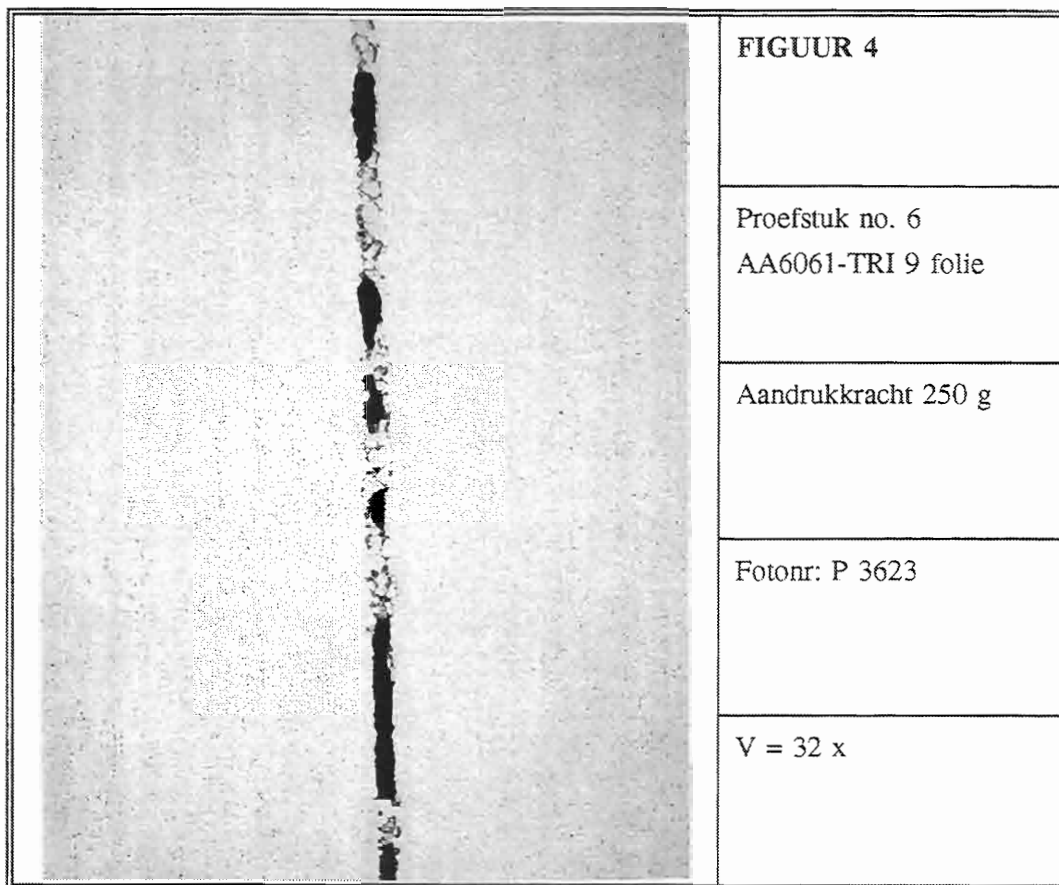
Figuur 3a



Figuur 3b

Proefstuk no. 7

lichte plek = geen verting



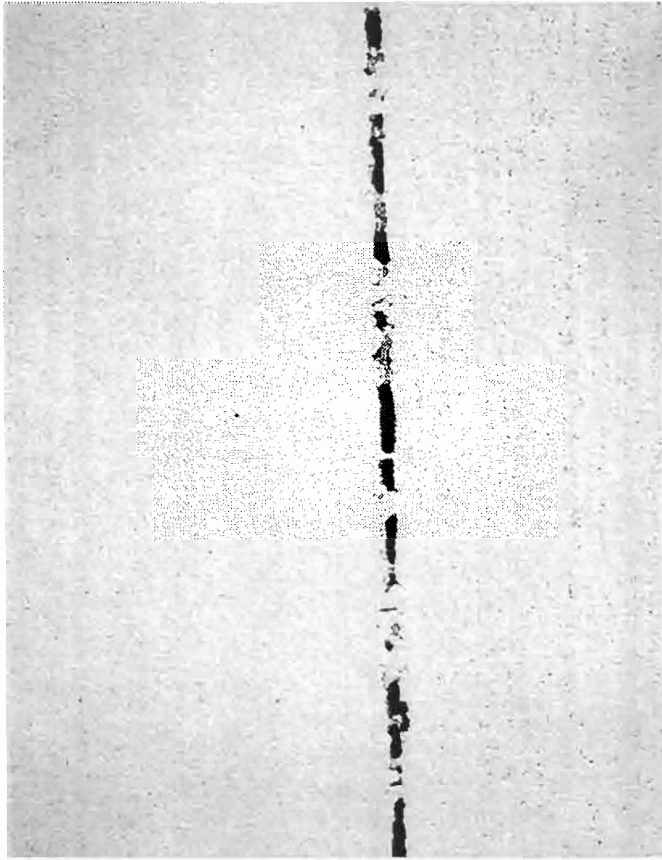
FIGUUR 4

Proefstuk no. 6
AA6061-TRI 9 folie

Aandrukkkracht 250 g

Fotonr: P 3623

V = 32 x



FIGUUR 5

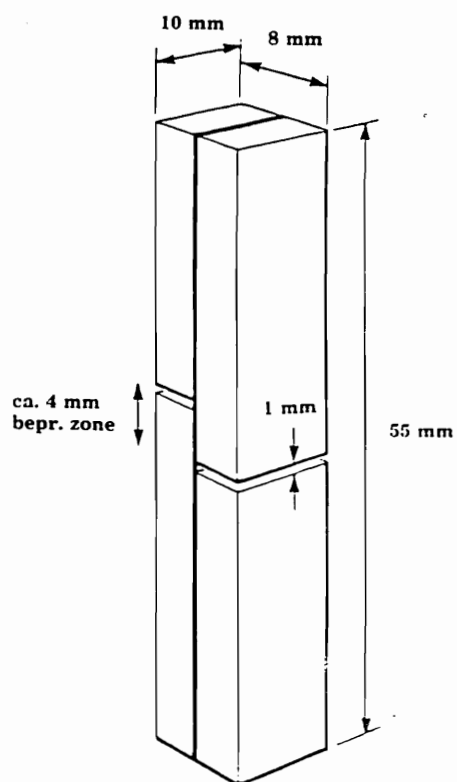
Proefstuk no. 7
AA6061-TRI 9 folie

Aandrukkracht 500 g

Fotonr: P3626

V= 32 X

Bijlage 4 Proefstukvorm



Figuur 6

PROEFSTUKVORM