



**Nederlands Instituut voor  
Lastechniek**

SOLDEERMATERIALEN ONDERZOEK X  
WIDE GAP SOLDEREN, VOORONDERZOEK  
TC-I-A-324-85

---

SOLDEERMATERIALEN ONDERZOEK X  
WIDE GAP SOLDEREN, VOORONDERZOEK  
TC-I-A 324-85

---

---

Bestemd voor:

Nederlands Instituut voor Lastechniek (N.I.L.)  
Laan van Meerdervoort 2B  
2517 AJ DEN HAAG

t.a.v. de voorzitter en de leden van de N.I.L.-subcie TC-I-A  
"Hoogtemperatuursolderen".

---

---

Samengesteld door:

T. de Haan  
H.H. van der Sluis  
namen de stuurgroep "Soldeermaterialen onderzoek" bestaande uit:

P.Th.H. Steege	VSC
J. Kamans	Holec
P. Pikaar	HDZ
W. Schouten	KSLA
G. Kool	NLR
W. van Soelen	KLu/DSM
R.J. Zaalberg	Thomassen
W.J.J. Wolfis	FOM-N
W. Kersbergen	FOM-N
A.F. Neuteboom	FOM-A
J. van Wel	FOM-A
J. van Esdonk	Philips
P. Hanenburg	Philips

---

Datum : 28 november 1985  
Opdrachtnummer : 33.6.2182  
Rapportnummer : 85M/040079/HAN/ESB  
Oplaat : 35

---

Dit rapport is het resultaat van onderzoek uitgevoerd door het  
Metaalstituut TNO in opdracht van het N.I.L.

Inhoud	pagina
1. SAMENVATTING	2
2. INLEIDING	2
3. DOEL VAN HET ONDERZOEK	3
4. LITERATUURONDERZOEK	3
5. MATERIALEN TOEGEPAST IN HET VOORONDERZOEK	26
6. UITVOERING VAN HET ONDERZOEK	27
6.1 Spreidproeven	28
6.2 T-proeven	28
6.3 Buisproeven	29
7. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK	30
7.1 Spreidproeven	30
7.2 T-proeven	38
7.3 Buisproeven	40
8. RESULTAATBESPREKING	46
8.1 Spreidproeven	46
8.2 T-proeven	49
8.3 Buisproeven	50
9. CONCLUSIE	53
10. VERVOLGONDERZOEK	53
11. TABELLEN EN FIGUREN	55

## 1. SAMENVATTING

Onderzoek is uitgevoerd naar de mogelijkheid om brede soldeerspleten te solderen, het z.g. "wide gap" solderen. Onder brede soldeerspleten worden soldeerspleten van dusdanige afmetingen verstaan dat het capillaire vulvermogen van de gebruikelijke soldeersoorten onvoldoende is om dergelijke soldeerspleten te vullen.

Nagegaan is:

- welke soldeertypen zich lenen voor brede soldeerspleten
- de toepasbaarheid van röntgentechnieken voor het beoordelen van de verkregen verbindingen.

Tevens is voorafgaand aan het onderzoek een literatuurstudie uitgevoerd.

## 2. INLEIDING

Bij het capillair hoog temperatuur solderen zijn nauwe soldeerspleten gewenst voor het verkrijgen van een goede soldeerverbinding. Bij brede soldeerspleten kan het vulvermogen van de gebruikelijke soldeersoorten onvoldoende zijn om de spleet te vullen. Brede spleten kunnen optreden bij:

- (te) ruime toleranties
- grote uitzettingsverschillen
- reparatiesolderen van bijvoorbeeld scheuren.

Met brede spleten wordenspleten bedoeld met een breedte tot 2 mm.

(TC-I-A-297-83)

De drie meest toegepaste methoden, zoals aangetroffen in de literatuur, zijn:

- I solderen in het smelttraject van het toegepaste soldeer. Door de aanwezigheid van vaste fasen in het vloeibare soldeer is het soldeer dikker vloeibaar, het zal minder snel uit de soldeerspleet vloeien dan een geheel gesmolten soldeer.

II soldeer waaraan vaste (poeder)deeltjes toegevoegd zijn. Hierdoor ontstaat een mengsel met een gedrag dat lijkt op dat van een soldeer dat toegepast wordt in het smelttraject.

III de soldeerspleet vullen met een metaalpoeder, dat gesinterd wordt. Vervolgens wordt het werkstuk gesoldeerd, waarbij het soldeer een groot aantal kleine capillairen, gevormd door de ruimtes tussen de sinterpoederkorrels, moet vullen.

Elk van de methoden heeft zijn eigen toepassingsgebied. Het vooronderzoek is uitgevoerd om geschikte soldeertypen en/of combinaties van soldeer en vulpoeder vast te stellen. Tevens is getracht om een toe te passen niet-destructieve onderzoekmethode (o.a. röntgenen met behulp van de microfocusbuis) te evalueren.

### 3. DOEL VAN HET ONDERZOEK

Het doel van de onderzoek is gericht op:

- het verzamelen van literatuur over "wide gap" solderen
- het op hun toepasbaarheid beproeven van een aantal methoden om een spleet ("wide gap") tot 2 mm breedte te solderen
- het evalueren van de röntgendoorstralingstechniek voor het controleren van "wide gap"-soldeerverbindingen.

### 4. LITERATUURONDERZOEK

Op het gebied van "wide gap" solderen is het aantal publicaties gering. Hieronder is een korte samenvatting gegeven van de tot nog toe gevonden literatuur en patenten.

## I Solderen in het smelttraject van het soldeer

### 1. Vacuum interrupters VACU 23.01.80 GB 002062.

Hermetic seal, esp. for vacuum interrupter envelope - is produced using sealing alloy of silver, germanium and opt. gold.  
Patent.

Om inwendige ruimten te evacueren worden openingen toegepast met een diameter van ca. 1,5 mm. Het gat wordt gesloten door het gat te vullen met soldeer door middel van hoogtemperatuursolderen. Hiervoor wordt bijvoorbeeld de legering 64,5% Ag; 18% Au en 17,5% Ge (smelttraject 535°C - 620°C) bij 570°C of de legering 74,5% Ag; 7,5% Au en 18% Ge (smelttraject 580°C - 650°C) bij 700°C toegepast.

### 2. A hard solder for HT-brazing of constructional materials

No. 15064/71

Patent specificatie 1332241 14 mei 1971

Classificatie C22C 31/0039/30 B23K1/04.

Het gepatenteerde soldeer is geschikt voor zowel koolstofstaal als laaggelegeerd staal, Fe-Ni legeringen, hardbare staalsoorten en gemetalliseerd keramiek.

De optimale samenstelling bedraagt 32% Mn; 12,5% Ni; 12,0% Cu; 2,5% Si; 1,0% C; 0,07% B; 0,03% Al; S en P < 0,06; rest Fe.

Bij de ontwikkeling zijn de volgende eisen gesteld:

- de sterkte moet gelijk zijn aan die van het werkstukmetaal,
- de verbinding moet bruikbaar zijn tot 400°C.

Het smelttraject begint bij 1080°C en eindigt bij 1120°C. De volgende legeringselementen zijn aanwezig:

- Mn: vormt een vaste oplossing met Fe, Cu en Ni.
- Cu: verhoogt de ductiliteit, de bevochtiging en de capillaire vloeï. Bij Cu > 15% treedt "liquation" op,
- Si: verhoogt de sterkte en de bevochtiging,
- Ni: verbetert het plastisch gedrag en de corrosiebestendigheid,

- C : verlaagt het smeltpunt. Het koolstofgehalte mag niet groter zijn dan ééntiende van het mangaangehalte. Bij 0,01% is het koolstofgehalte in vaste oplossing in het soldeer, boven 0,5% worden perlietzônes gevormd,
- B : verlaagt het smeltpunt. Bij een boriumgehalte boven 0,5% ontstaan brosse fasen.
- Al: verlaagt het smeltpunt en bepaalt in hoge mate de viscositeit van het soldeer.

In het temperatuurtraject 20°-950°C treedt geen overgang op in kristalstructuur die leidt tot een volumeverandering.

Het soldeer is bruikbaar voor soldeerspleten die liggen tussen 0,2 en 1,5 mm. De soldeertemperatuur in een schermgasatmosfeer bedraagt 1150°C.

Sterktewaarden zijn:

Overlapverbinding: van -80° tot + 400°C verloopt de sterkte van 38 tot 27 kg/mm<sup>2</sup>.

Stompe verbinding: voor het spleetbreedtegebied van 0,2 tot 1,2 mm is de treksterkte gelijk aan het werkstukmateriaal (niet met name genoemd).

Stootproef : 7,4 kg m/cm<sup>2</sup> (= 80% van de waarde van het werkstukmateriaal).

### 3. Prof. Dr. techn. W. Lugscheider

Fortschritte bei Lötverfahren und Lötentwicklungen - Tagung im April - Mai 1985 in Las Vegas/U.S.A.

Schweissen und Schneiden 37 (1985) Nr. 10 blz. 553

Soldeer voor het reparatiesolderen van turbine-onderdelen.

Aan het soldeer wordt de eis gesteld van een verminderde vloeibaarheid opdat:

- brede spleten gevuld kunnen worden
- gaten gevuld kunnen worden

beide zonder dat het soldeer over het oppervlak van het onderdeel vloeit of in het inwendige van het onderdeel. Aan deze eisen is voldaan met een nikkelbasis soldeer met 7 tot 9% wolfram.

## II Solderen met een mengsel van soldeer en vulpoeder

### 1. Nippon Electric KK NIDE 14.06.79 JP 075012.

Silver solder seal for electron gun tube: consists of eutectic alloy with Cu and includes metal particles not alloyed with mother material.

Patent.

Dit soldeer bestaat uit AgCu 72-28, waaraan metaalpoeder met een korrelgrootte van 0,03 tot 0,07 mm toegevoegd is. De metaaldeeltjes legeren niet met het soldeer. De aanbrengdikte van het mengsel bedraagt 0,04 tot 0,1 mm. Het mengsel wordt aangebracht in de vorm van een pasta.

Het soldeer wordt toegepast voor "electron gun tubes" om sterkte en lektheid te optimaliseren.

### 2. Brazing Manual. 3e uitgave, AWS (1975) hoofdstuk 9 blz. 130-131.

Het brazing Manual noemt de volgende mogelijkheden:

- door toevoeging van legeringselementen wordt het soldeer dikvloei-  
baar, bijvoorbeeld Cu + 3-8% Ni; BAg + Ni of BNi + Ni of NiSi in  
poedervorm.

Het dikvloeiende soldeer blijft in de "wide gap" hangen.

### 3. "Wide gap" brazing for HT service.

P.R. Mobley, G.S. Hoppin III

Welding Journal, juni 1961, blz. 610-617.

Succesvol wide gap solderen wordt bepaald door zeer nauwe controle van de volgende procesvariabelen:

1) Gebruik van dikvloeiende soldeermaterialen die zowel vaste als vloeiende bestanddelen bevatten op soldeertemperatuur.



- 2) Verhouding van de bestanddelen in deze soldeermaterialen.
- 3) Soldeertemperaturen
- 4) Opwarm- en afkoelsnelheid
- 5) Ovenatmosfeer
- 6) Naadvorm

Het onderzoek strekt zich uit tot spleetbreedtes van 1,5 mm (0,060 inch). Zowel in de spleet als bij de meniscus wordt het "wide gap" soldeer aangebracht omdat de hier toegepaste "wide gap" solderen niet in staat zijn om in de soldeernaad te vloeien, zoals bij capillair solderen het geval is. Onderzoek is uitgevoerd o.a. met 70 Ni - 20 Cr - 10 Si waaraan 20% nikkelpoeder is toegevoegd.

Op de soldeertemperatuur vormt deze samenstelling een visceuze slurrrie.

Het "wide gap" solderen stelt de volgende eisen:

- vóór het solderen moet de naad geheel gevuld worden. Een overmaat soldeer wordt rond de naad aangebracht om de slink van het soldeer in de naad aan te vullen,
- de soldeertemperatuur moet exact in te stellen zijn omdat de viscositeit van het vloeibare soldeermengsel temperatuurafhankelijk is,
- zowel de opwarm- als de afkoelsnelheid beïnvloeden het resultaat sterk en moeten goed beheerst kunnen worden.

De korrelgrootte van de poeders zal ongeveer 200 mesh bedragen voor een optimaal resultaat. Om het toegevoegde poeder niet geheel te laten smelten (of vrijwel niet te laten smelten) moet de soldeertemperatuur relatief laag zijn. De aanbevolen naadvorm is de kopse verbinding (T proefstuk). De overlappaad wordt ontraden. Indien deze toch wordt toegepast zal bij een spleetbreedte tussen 0,625 mm en 1,5 mm de overlaplengte niet groter gekozen worden dan 12,5 mm. Als bindmiddel wordt een bindmiddel op acrylbasis aanbevolen. Om uitvloeien van de laagsmeltende component over het werkstukoppervlak te

voorkomen wordt aanbevolen om rond de spleet een anti-vloeimiddel aan te brengen.

De invloed van de opwarmsnelheid is in hoofdzaak merkbaar bij een te lage opwarmsnelheid. Door erosie van het vulmiddel stijgt de solidustemperatuur van het soldeer. Hierdoor kan een poreuze naad ontstaan. Minimaal noodzakelijk is een opwarmsnelheid van 12°C per minuut. Voor het soldeertraject wordt 55°C per minuut als opwarmsnelheid aanbevolen. Een te hoge afkoelsnelheid kan leiden tot scheurvorming ten gevolge van thermische spanningen en bij het solderen onder waterstof tot porositeit door ingesloten gas.

Het toepassen van NiSi<sub>2</sub>B<sub>0,8</sub> als vulmiddel leidt tot een beter soldeerresultaat dan het gebruik van puur nikkelpoeder.

Andere mogelijke combinaties zijn:

- Ag - soldeer met Cu-poeder
- Cu - soldeer met Fe-poeder bijvoorbeeld:  
CuNi<sub>28</sub>Mn<sub>10</sub>Si<sub>2</sub> met 20% Fe poeder (T soldeer 1122°C)

Indicaties van de te verwachten eigenschappen staan vermeld in onderstaande tabellen 2 en 3 en in het onderstaande figuur, uitgaande van de samenstellingen genoemd in tabel 1.

Table 1: Nominal Compositions by Weight Percentage for Reported Brazing Materials

Brazing material	Composition, wt-%							Solidus temp. °F	Liquidus temp. °F	Brazing temp. °F	Remarks	
	Ni	Cr	Si	Cu	Mn	B	C					
J8100	Bal.	20.0	10.0	...	...	...	...	2030	2075	2125-2175	Capillary brazing alloy	
J8590	28.0	...	2.0	Bal.	10.0	...	...	1850	2000	2050-2100	Capillary brazing alloy	
AMS4775	Bal.	16.5	4.0	...	...	3.75	0.95	1850	1950	2100-2150	Capillary brazing alloy	
NSB	Bal.	...	2.0	...	...	0.8	...	1980	>2300	>2300	Used as filler alloy for wide gap brazing	
J8101	60% J8100 + 40% nickel powder									2240		Wide gap brazing material
J8105	70% J8100 + 30% NSB powder									2125-2175		Wide gap brazing material
J8591	80% J8590 + 20% iron powder									2050-2100		Wide gap brazing material

Note: All powders used are - 100 mesh materials.

*Handwritten notes:*  
 11/1/85  
 J8101  
 J8105  
 J8591

Table 2: Lap Joint Shear Strength Data<sup>a</sup> for Wide Gap Brazing Materials  
 (Base metal - 0,063 in. L605 sheet; joint gap - 0,045 in.;  
 heattreatment - none after brazing)

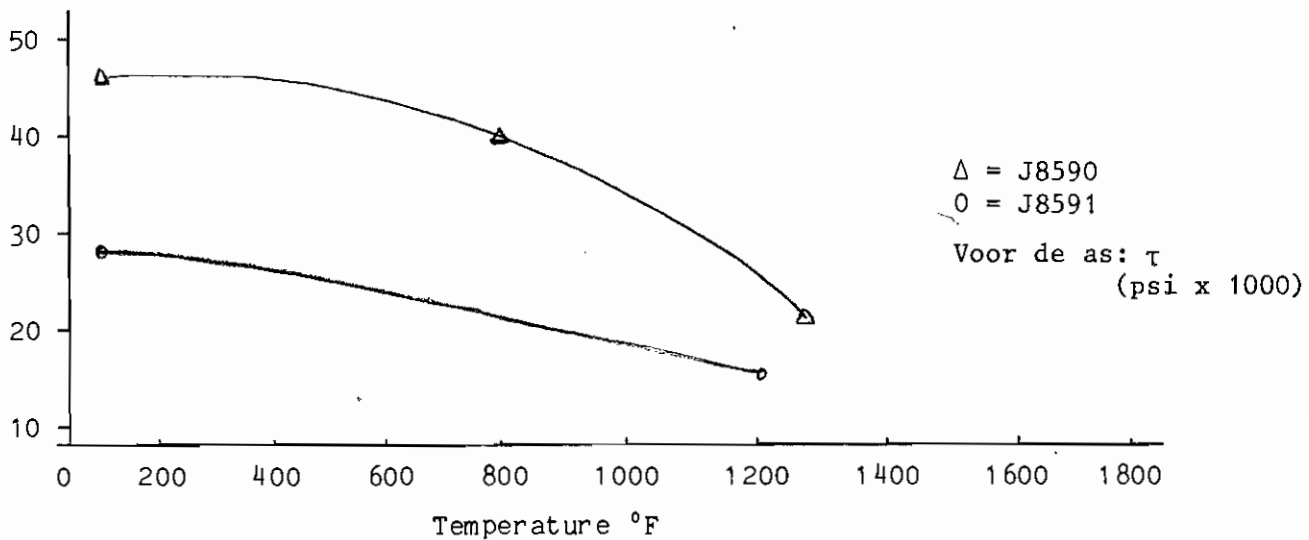
Brazing material	Test temp. °F	Joint overlap range, in.	Indicated shear strength psi <sup>b</sup>
J8105	room temp.	0.140-0.160	21.600
J8105	1200	0.140-0.175	19.900
J8105	1500	0.113-0.170	19.700
J8105	1800	0.158-0.170	8.600
J8591	room temp.	0.175	27.000
J8591	1200	0.155-0.160	14.500
J8591	1500	0.160-0.185	7.200

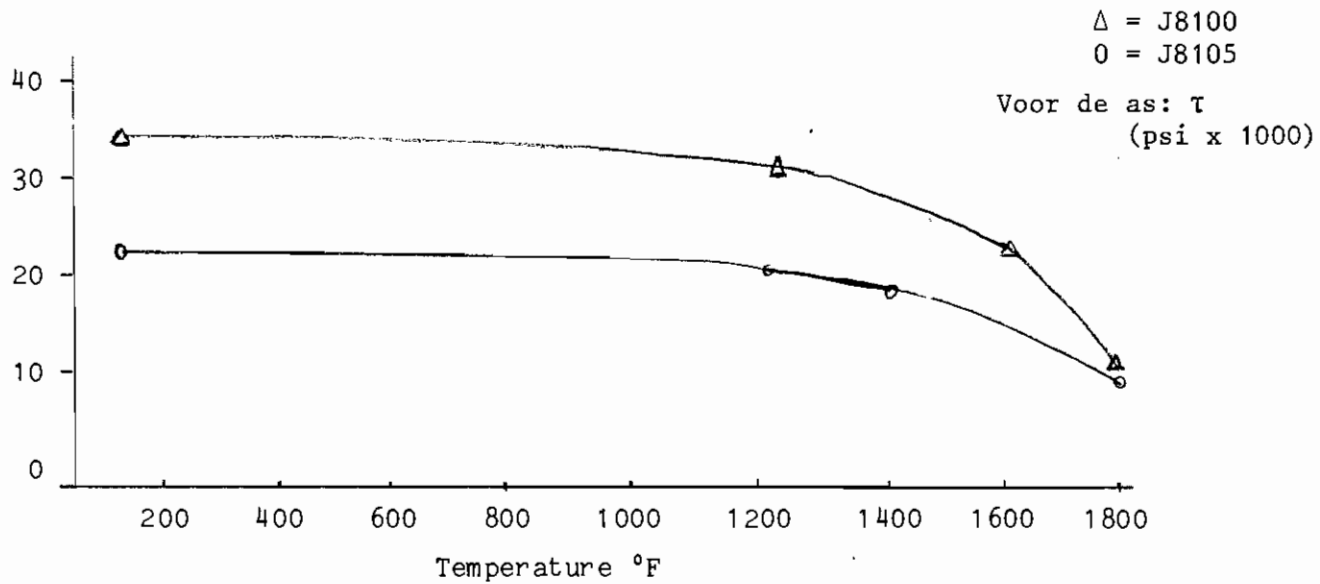
- a) All values reported are average of four tests save room temperature results on J8591. This result is from one test-three other specimens failed in parent metal.
- b) Indicated shear strength was obtained by dividing load at failure by the original shear area of the joint tested.

Table 3: Lap joint Shear Strength Data for Capillary Brazing Alloys.  
 (Base metal - 0.063 in. L-065 sheet; joint gap - 0.003-0.005 in.; heat treatment - none after brazing)

Brazing material	Test temp. °F	Joint overlap range, in.	Indicated shear strength psi <sup>a</sup>	Notes
J8100	room temp.	0.140-0.150	34.200	Average of four tests
J8100	1200	0.147-0.151	37.000	Average of four tests
J8100	1600	0.127-0.159	23.500	Average of four tests
J8100	1800	0.127-0.150	11.300	Average of four tests
J8590	room temp.	0.135-0.175	47.500	Two other specimens failed in Par. Met.
J8590	700	0.130-0.170	42.400	Average of four tests
J8590	1250	0.135-0.175	20.100	Average of four tests

a) Indicated shear strength was obtained by dividing load at failure by the original shear area of the joint tested.





- Average indicated shear strength curves for two capillary alloys - J8100 and J8590 - and their sister wide gap brazing materials

#### 4. Fiber metal bonded ceramics

T.J. Morrison

Turbomachinery International, maart 1982, blz. 48-49.

De publicatie betreft het vervaardigen van keramische afdichtingen in turbines. Thermische spanningen en "thermoshock" veroorzaken scheurvorming tussen het keramiek en het werkstukmetaal. Brede spleten gevuld met metaalfibers zijn in staat om het uitzettingsverschil op te vangen. De verbinding wordt door middel van solderen tot stand gebracht.

#### 5. Experience of the HT-brazing of tubes in the building of housing.

V.K. Lebedev.

Atv. Svarka, 1979, no. 10 blz. 49-51 (Welding Production 1979).

Het artikel behandelt het solderen van pijp-pijpverbindingen met spleetbreedten van 0,3 tot 2,5 mm. In de soldeerspleet wordt een

magneetveld aangebracht. De spleet wordt gevuld met een soldeer pasta die ferromagnetische metaaldeeltjes bevat. De metaaldeeltjes worden door het magneetveld in de spleet gefixeerd. Het soldeer vult de ruimte tussen de ferromagnetische deeltjes. Op deze wijze ontstaat een dichte verbinding.

6. H. Zhuang, E. Lugscheider, J. Chen.

Wide gap brazing of stainless steel with nickel-base brazing alloys  
I.I.W. document SCIA - B - 133 / 1985.

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal AISI 321. De soldeersoorten zijn BNi1a, BNi2, BNi5 en BNi7.

Als vulpoeder zijn toegepast:

- roestvaststaal AISI 316 korrelgrootte < 320  $\mu\text{m}$
- roestvaststaal AISI 304 korrelgrootte < 150  $\mu\text{m}$
- nikkelpoeder korrelgrootte onbekend.

De spleetbreedtes bedragen 0,5 mm en 1 mm. Het toegepaste soldeermengsel bestaat uit 60% soldeer en 40% vulpoeder aangebracht met behulp van een acrylpolymeer. Gesoldeerd is in een vacuum van  $10^{-4}$  mbar. De soldeertijd bedraagt 10 minuten. Er zijn zowel vulproeven als trekproeven uitgevoerd.

In de soldeernaad blijken vaak poreusiteiten aanwezig o.a. veroorzaakt doordat de liquidustemperatuur van het soldeer stijgt door diffusie van de smeltpuntverlagende elementen (bijvoorbeeld B en Si) naar het vulpoeder. Het toepassen van een hogere soldeertemperatuur heft dit effect slechts ten dele op. Navoeden vanuit een extra hoeveelheid soldeer blijkt vrijwel niet mogelijk.

De beste sterkte-resultaten zijn bereikt met het poeder van roestvaststaal AISI 316 (250 N/mm<sup>2</sup> - 425 N/mm<sup>2</sup>, afhankelijk van het soldeertype). Nikkelpoeder voldoet minder (160 N/mm<sup>2</sup> - 300 N/mm<sup>2</sup>). Het verschil is gelegen in het feit of de verbrossende elementen (B, Si en P) in voldoende mate door het vulpoeder worden opgenomen om brosse fasen tussen het vulpoeder te voorkomen of niet.

7. O. Knotek, E. Lugscheider.

Brazing filler metals based on reacting NiCr-B-Si alloys.

Welding Journal, October 1976.

Welding Research supplement, blz. 314S-318S.

Soldeersoorten hoeven niet geheel te smelten om een naad te kunnen vullen. Toegepast is een mengsel van de soldeerlegering 72,5% Ni; 6,3% Fe; 10,0% Cr; 4,2% Si en 3,0% B en nikkelpoeder.

De mengverhouding tussen het soldeerpoeder en het nikkelpoeder is belangrijk voor de toe te passen soldeertemperatuur (hoe meer nikkel, des te hoger de temperatuur gekozen moet worden) en voor de sterkte van de verbinding. Een duidelijk voorbeeld wordt echter niet gegeven. In combinatie met roestvaststaal AISI 316 wordt, voor een spleetbreedte van 100  $\mu\text{m}$  en een soldeertijd van 60 seconden op  $\pm 1000^\circ\text{C}$ , een sterkte op kamertemperatuur opgegeven tussen 480  $\text{N/mm}^2$  en 540  $\text{N/mm}^2$ , hetgeen hoger is dan de sterkte van vergelijkbare soldeertypen in gegoten toestand.



## 8. V.N. Radzievskii, L.V. Baranova

A reinforced brass solder for automatic vacuum brazing of steel.  
Automatic Welding 1983, Nr. 4, blz. 48-50.

Gesoldeerd is een 2,5 mm brede soldeerspleet in stalen proefstukken. Het soldeer bestaat uit een mengsel van messingsoldeer (code L63) en daaraan toegevoegd korrels van zuiver nikkel en twee typen staal (met 0,75% C en 0,1% C) (korrelgrootte 0,3 - 0,5 mm). Bij het solderen op 980°C is de soldeertijd zodanig lang gekozen (1 uur) dat isotherm stollen optreedt door erosie van de korrels en diffusie van elementen uit de korrels naar het soldeer toe. Bij een mengsel van het vulpoeder van 20-30% Ni, 40-80% laag koolstof houdend staal en maximaal 30% hoog koolstof houdend staal bedraagt de treksterkte (Ø 6 mm proefstaaf) 440 MPa en de kerfslagwaarde meer dan 30 J/cm<sup>2</sup>, beide gelijk aan die van het werkstukmateriaal. De verhouding tussen de hoeveelheid soldeer en de hoeveelheid vulpoeder is niet opgegeven.

## 9. Amdry atomized dry brazing powders, Amdry brazing tape and paste and Amdry brazing aids.

AMI alloy metals, inc. USA.  
Technical bulletin BPA.

De in de onderstaande tabel vermelde soldeerpoeders bestaan uit mengpoeders. Zij zijn onder meer bedoeld voor "wide gap" solderen.

AMDRY BLENDED BRAZING POWDERS  
for honeycomb, wide gap and general purpose brazing

AMI Alloy	Iron	Chromium	Silicon	Boron	Nickel	Specifications	Brazing Temperature °F
101	-	11.50	6.00	-	Bal.		2200 2250
102	-	15.20	8.00	-	Bal.	B50T51A B50T1403	2150 2200
103	-	17.10	9.20	0.08	Bal.	B50T51B	2100 2150
104	-	11.40	6.80	0.30	Bal.	P50T9K	2100 2150
105	-	13.30	7.60	0.23	Bal.	P50T9L	2100 2150
201	1.30	2.90	2.80	1.90	Bal.	P50T9A	2000 2110
202	1.00	2.20	2.60	1.60	Bal.	P50T9B	2000 2110
205	1.10	2.70	2.80	1.90	Bal.	P50T9F	2000 2120
207	2.40	5.60	3.20	2.80	Bal.	P50T9N	2000 2075

## 10. Certificate of test B12353 22 dec. 1976.

Alloy Metals Inc.

In dit certificaat is opgegeven uit welke mengsels de in de voorgaande literatuur vermelde soldeersoorten zijn samengesteld door het mengen van twee poeders.

AMI 100 komt overeen met BNi5 (NiCr19Si10).

AMI

Alloy

101 = 60% AMI 100 + 40% nikkel

102 = 80% AMI 100 + 20% nikkel

103 = 90% AMI 100 + 10% (Ni-2,1Si-0,8B)

104 = 60% AMI 100 + 40% (Ni-2,1Si-0,8B)

105 = 70% AMI 100 + 30% (Ni-2,1Si-0,8B)

202 = 68% (Ni-2,1Si-0,8B) + 32% (Ni(+Co)-4,3Si-2,8B-2,8Fe)

205 = 62% (Ni-2,1Si-0,8B) + 32% (Ni(+Co)-4,3Si-2,8B-2,8Fe)

207 = 80% (Ni(+Co)-4,3Si-2,8B-2,8Fe) + 20% nikkel

III Solderen met behulp van een sinterpoeder

## 1. Paton electroweld Industries. PATM 10.02.75 SU 103769.

Soldering ferromagnetic materials by using a sintered alloy insert which is maintained in position in the gap applying a magnetic field.

Patent.

De soldeer pasta bestaat uit een relatief laagsmeltend soldeer (bijvoorbeeld 50-66% Cu, 24-34% Mn en 2-16% Ni) en een hoogsmeltend sinterpoeder. Het sinter- of opvulpoeder is ferromagnetisch. Het curiepunt ligt boven de soldeertemperatuur. Door middel van een magneetveld wordt het sinterpoeder in de soldeerspleet gefixeerd, waarna het soldeer de overblijvende ruimte opvult. Als sinterpoeder wordt een legering toegepast van 50-90% Cu en 50-10% Co. Deze methode leent zich vooral voor staal en gietijzer verbindingen.

2. Brazing Manual 3e uitgave hoofdstuk 9 blz. 130-131.  
American Welding Society Inc.  
2501NW7th street Miami Florida USA.

Een methode die het Brazing Manual beschrijft is het opvullen van de spleet met een gesinterde ring. De ring wordt gevuld met soldeer tijdens het solderen. Om oplossen van het sinterpoeder te voorkomen wordt aan de ring een element toegevoegd dat de stoltemperatuur van het soldeer verhoogt, bijvoorbeeld voor het kopersolderen van staal wordt gesinterd staal aanbevolen waaraan mangaan is toegevoegd om de stoltemperatuur van het soldeer te verhogen door erosie van het staalpoeder.

3. Brazing of Hastelloy X with wide clearance butt joints.  
J.W. Chasteen, G.E. Metzger  
Welding Research Suppl., april 1979, blz. 111S - 117S.

Het solderen van een "wide gap" wordt in twee fasen uitgevoerd. In fase 1 wordt de spleet gevuld met een hoogsmeltend nikkelpoeder dat in de spleet gesinterd wordt. In fase 2 wordt de naad gesoldeerd met een nikkelbasis soldeer. Na het solderen ondergaat de verbinding een diffusiegloeïing om de eigenschappen van de naad te optimaliseren. Indien het sinterpoeder op de juiste wijze in de naad verdeeld is, zullen er in de naad geen intermetallische fasen aanwezig zijn na het solderen.

Bij stompe verbindingen met Hastelloy C vulpoeder en een NiCrBSi-soldeer wordt in Hastelloy X voor een spleetbreedte van 1,6 mm een treksterkte bereikt die 68% bedraagt van die van Hastelloy X.

De volgende temperatuurr cyclussen worden aanbevolen:

- voor het sinteren 1130°C gedurende 30 minuten,
- voor het solderen 1130°C gedurende 120 minuten.

Zowel het sinteren als het solderen zijn uitgevoerd "met de zwaartekracht mee". Het solderen wordt aangeduid als het capillair solderen van het sintermateriaal.

De dichtheid van het sinterpoeder is bijzonder belangrijk voor de sterkte van de stompe verbinding. Het vullen van een scheurtip met sinterpoeder is niet mogelijk. Het wel of niet vullen van de scheurtip met soldeer wordt als niet belangrijk aangegeven. Soldeerfouten op deze plek worden als vrijwel onvermijdelijk gezien. De soldeercyclus moet de vorming van brosse fasen in de scheurtip beperken. Deze methode wordt eveneens aanbevolen indien de kerfwerking bij een soldeermeniscus beperkt of verminderd moet worden. De brosheid van de meniscus wordt verminderd.

In de onderstaande tabel zijn enige gegevens vermeld betreffende het werkstukmetaal, de sinterpoeders en het soldeer.



4. Mitsubishi Electric Corp. MITQ 09.11.78 JA 138556.

Butt joining brazing process in which initial oversize joint gap is filled with fused brazing material prior to brazing operation.

Patent.

De te grote soldeerspleet wordt gevuld met draden van materiaal met een smeltpunt boven de soldeertemperatuur. Door sinteren worden de draden onderling verbonden waarna het solderen wordt uitgevoerd.

5. Some special features on the magnetic brazing of steel components.

V.D. Tabelev, A.A. Rossoshinskii, V.A. Beletskii.

Welding Production Vol. 25 juli 1978 blz. 31-33.

In de brede soldeernaad wordt een magneetveld opgewekt. Ferromagnetisch poeder, dat met het soldeer is gemengd, houdt het soldeer op de juiste plaats vast mits de soldeertemperatuur onder de curietemperatuur van het ferromagnetische materiaal ligt. Op deze wijze zijn spleten tot 2 mm te solderen.

Als ferromagnetisch poeder zijn bruikbaar:

- ijzerpoeder, curietemperatuur 768°C. Als soldeer komen enkel lager smeltende soldeersoorten in aanmerking zoals de zilver-koper-basis soldeersoorten,
- een mengsel van koper en kobalt in poedervorm. Het kobaltgehalte varieert van 10 tot 50%. De curietemperatuur van kobalt bedraagt 1050°C. Aanbevolen wordt om met CuMnNi-soldeersoorten bij een soldeertemperatuur onder de 1000°C te solderen. Het CuCo (korrelgrootte 30/50 µm) percentage is optimaal rond 30% van het mengsel.

De volgende sterkte waarden worden gegeven:

Stomp gesoldeerde 12,7 mm buis

Spleetbreedte mm	0	0,5	1,0	1,5	2,0
Belasting kgf	5000	4000	4000	4000	2500
Spanning kgf/mm <sup>2</sup>	42,0	33,6	33,6	33,6	22,0

6. H. Zhuang, E. Lugscheider, J. Chen.

Wide gap brazing of stainless steel with nickel-base brazing alloys.  
IIW document SCIA-B-133/1985.

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal AISI 321. Als vulpoeder zijn de volgende poeders toegepast:

- roestvaststaal AISI 316, korrelgrootte kleiner dan 320  $\mu\text{m}$
- roestvaststaal AISI 304, korrelgrootte kleiner dan 150  $\mu\text{m}$
- zuiver nikkel, de korrelgrootte is niet aangegeven.

De soldeersoorten zijn BNi1a, BNi2, BNi5 en BNi7 met een maximale korrelgrootte van 150  $\mu\text{m}$ .

De ingestelde spleetbreedtes bedragen 0,5 mm en 1,0 mm. Het vulpoeder is in de naad aangebracht en het soldeer aan de buitenzijde van de naad. Gesoldeerd is bij een vacuum van  $10^{-4}$  mbar.

Tijdens het opwarmen sintert het vulpoeder. Bij het bereiken van de soldeertemperatuur vloeit het soldeer in het vulpoeder, waarbij de ruimtes tussen de korrels reageren als capillairen voor het soldeer.

Bij het gebruik van roestvaststaal AISI 316 in combinatie met BNi1a, BNi2 en BNi5 ontstaan er in de soldeernaad geen brosse fasen, hetgeen met nikkel als vulpoeder wel is waargenomen. De hoogste sterktes worden dan ook met het roestvaststaalpoeder AISI 316 waarge-



nomen. Als verklaring wordt gegeven dat de diffusie van de verbrossende elementen vanuit het soldeer naar het vulpoeder sneller verloopt bij het roestvaststaalpoeder dan bij het nikkelpoeder.

De algemene conclusie is dat het gescheiden aanbrengen van het vulpoeder en het soldeer betere resultaten te zien geeft dan het aanbrengen van een mengsel. De oorzaak is gelegen in het feit dat uitwisseling van smeltpuntverlagende elementen bij gescheiden aanbrengen pas bij de soldeertemperatuur kan optreden terwijl bij het aanbrengen als mengsel de uitwisseling tijdens het opwarmen al aanvangt. Hierdoor stijgt de soldeertemperatuur.

7. A.E. Shapiro, V.V. Gruzlov en J.N. Tomilina.

Mechanical properties of telescopic brazed joints made with a solder composition including a powdered filler.

Automatic Welding V34 No. 1 1981 blz. 45-48.

In dit onderzoek zijn spleten toegepast van 0,2 tot 1 mm. Gesoldeerd zijn stalen pijpen met een diameter van  $\pm 10$  mm. De insteeklengte van de overlap bedraagt 4 mm.

Toegepast als vulpoeder zijn:

- ijzerpoeder met een korrelgrootte van 0,04 - 0,16 mm
- koperpoeder, hiervan is geen korrelgrootte gegeven.

Gesoldeerd is met messing code L63 onder schermgas ( $40\%H_2$ ;  $40\%N_2$  en  $20\%CO$ ) in een oven.

De werkwijze is als volgt:

- afgewogen wordt 40-50% messing, 40-42% ijzer en 15-18% koper
- het mengsel van koper- en ijzerpoeder wordt in de soldeernaad aangebracht
- de soldeerring van messing wordt boven het mengsel aangebracht
- bij  $950^\circ C$  -  $970^\circ C$  smelt het soldeer en vloeit het in het mengsel
- bij  $1020^\circ C$  -  $1050^\circ C$  lost het koperpoeder volledig op in het soldeer. Het kopergehalte in het soldeer stijgt tot 76,5 à 81%.

De resultaten zijn vermeld in onderstaande tabel. De waarden zijn bepaald uit proeven in achtvoud.

spleetbreedte (mm)	afschuifsterkte (MPa)		breukrek (%)	
	zonder vulpoeder	met vulpoeder	zonder vulpoeder	met vulpoeder
0,2	300	275	6	4,1
0,4	340	275	4,5	5,8
0,6	345	285	2,6	6,5
0,8	300	320	2,5	7,5
1,0	240	340	2,5	7,8

De hoogste ductiliteit wordt bereikt bij een ijzerpoedergehalte van  $41,3\% \pm 0,6\%$ . Voor onderdelen die dynamisch belast worden geldt dat het ijzerpoedergehalte 4 tot 7% lager gekozen moet worden dan  $41,3\%$ .

#### 8. Nicrogap alloys

Engineering data sheet 22 14 GB

Nicrobraz

Wall Colmonoy Ltd. Great Britain.

Nicrogap poeders zijn geschikt als vulpoeder bij het solderen van brede soldeerspleten (0,25 mm tot 2,5 mm) met de gebruikelijke soldeermaterialen. De Nicrogap poeders, korrelgrootte tot 150 mesh, worden geleverd in de volgende samenstellingen.

Type nummer	Ni (%)	Fe (%)	Cr (%)	Si (%)	B (%)
106	rest	-	-	0,35	0,2
108	rest	7,0	15,0	0,75	0,2
112	8,0	rest	18,0	1,25	0,2
114	-	rest	12,0	1,25	0,2

De smelttemperatuur van de vermelde poeders ligt voor alle poeders boven  $1315^{\circ}\text{C}$ .

De verwerkingsmethode is als volgt:

- 1) sluit de naad aan een zijde af
- 2) vul de naad met Nicrogap poeder; door trillen of schudden of er tegen aan tikken kan het poeder zoveel mogelijk verdicht worden
- 3) voeg een binder toe om het poeder te fixeren
- 4) voeg aan een zijde het soldeer toe, de hoeveelheid soldeer moet iets groter gekozen worden dan de hoeveelheid Nicrogap poeder in de naad
- 5) soldeer het werkstuk op de gebruikelijke wijze.

Bij het toepassen zijn de volgende opmerkingen van belang:

- bij zilver- en koperbasissoldeersoorten bedraagt de maximaal toelaatbare spleet 0,25 mm,
- bij hoog mangaan- of fosfor houdende soldeersoorten bedraagt de maximaal toelaatbare spleetbreedte 0,5 mm,
- Nb 150 is aan te raden voor spleetbreedtes boven 0,5 mm (tot 2,5 mm) vanwege de goede vloeieigenschappen en de toe te passen soldeertemperatuur,
- zowel de soldeertemperatuur als de hoeveelheid soldeermetaal kunnen het best door enkele proefsolderingen bepaald worden.

Nicrogap 106 wordt aanbevolen in combinatie met zilver- en koperbasissoldeersoorten en in combinatie met Nb 50 (BNi7).

Nicrogap 108 wordt aanbevolen voor hitte bestendige legeringen en alle roestvaststaalsoorten.

Nicrogap 112 wordt aanbevolen voor de austenitisch roestvaststaalsoorten (de AISI 300 serie).

Nicrogap 114 wordt aanbevolen voor de ferritisch roestvaststaalsoorten (de AISI 400 serie).

## 9. Nicrogap alloys

Nicrobraz engineering data sheet 2.1.90.Rev.B

Aanvulling op data sheet 22 14 GB (zie voorgaande referentie). De korrelgrootte van de poeders bedraagt nu 140 Mesh (ASTM Spec. B

214). Naast de vier in de data sheet genoemde samenstellingen zijn aan de lijst toegevoegd:

Type nummer	Ni (%)	Fe (%)	Cr (%)	Si (%)	B (%)	P (%)
116	rest	-	20,0	-	-	-
118	6,0	rest	-	-	-	1,0

Nicrogap 116 wordt aanbevolen in combinatie met Nicrobraz 150 voor roestvaststaal of hittebestendige legeringen.

Nicrogap 118 wordt aanbevolen in combinatie met Nicrobraz 10 of koper voor ongelegeerd staal.

## 5. MATERIALEN TOEGEPAST IN VOORONDERZOEK

Als werkstukmetalen zijn toegepast:

- OFHC - koper,
- roestvaststaal AISI 316, met de nominale samenstelling koolstof  $\leq 0,1\%$ ; mangaan  $\leq 2,0\%$ ; silicium  $\leq 1,0\%$ ; chroom tussen 16,0 en 18,0%; nikkel tussen 10,0 en 14,0% en molybdeen tussen 2,0 en 3,0%.

Als vulpoeder zijn toegepast:

- voor het solderen van het OFHC koper:
    - 1) OFHC-koperpoeder met een korrelgrootte van 0-50  $\mu\text{m}$
    - 2) zuiver zilverpoeder met een korrelgrootte van 0-50  $\mu\text{m}$
  - voor het solderen van het roestvaststaal AISI 316:
    - 1) roestvaststaalpoeder AISI 316 met de analyse 0,02% C; 1,0% Si; 17,0% Cr; 2,1% Mo; 0,2% Mn; 13,1% Ni; 0,049% N en 0,10% O.
    - 2) zuiver nikkelpoeder
    - 3) BNi5; met de nominale analyse 19% Cr; 10% Si en rest Ni.
- Deze drie poeders zijn uitgezeefd in drie korrelgroottes nl. 0-50  $\mu\text{m}$ ; 50-75  $\mu\text{m}$  en 75-105  $\mu\text{m}$ .

Als soldeersoorten zijn toegepast:

. voor methode I (solderen in het smelttraject)

- voor koper:

CuGeNi: 87,75% Cu; 12% Ge; 0,25% Ni;  $T_s = 820^\circ\text{C}$  en  $T_1 = 965^\circ\text{C}$ .

- voor rvs AISI 316:

Nb 170: 10% Cr; 2,5% B; 3,3% Si; 3,7% Fe; 16% W; 0,6% C; rest Ni;

$T_s = 970^\circ\text{C}$  en  $T_1 = 1105^\circ\text{C}$ .

. voor methode II en III (solderen met een vulpoeder)

- voor koper:

BaCu 780: 72% Cu; 28% Ag en  $T_s = T_1 = 780^\circ\text{C}$

- voor roestvaststaal AISI 316:

1) BNi2 : 7% Cr; 4,5% Si; 3% B; rest Ni;  $T_s = 970^\circ\text{C}$  en  $T_1 = 1000^\circ\text{C}$

2) BNi5 : 19% Cr; 10% Si; rest Ni;  $T_s = 1080^\circ\text{C}$  en  $T_1 = 1135^\circ\text{C}$

3) Nb150: 15% Cr; 3,5% B;  $C \leq 0,1\%$ ; rest Ni en  $T_s = T_1 = 1055^\circ\text{C}$

4) BNi7 : 13% Cr, 10% P; rest Ni en  $T_s = T_1 = 890^\circ\text{C}$

Deze nikkelbasissoldeersoorten zijn van het merk Microbraz

(Codes: <sup>1</sup>) NbLM, <sup>2</sup>) Nb30, <sup>3</sup>) Nb150 en <sup>4</sup>) Nb50).

Toepasbaar onder de  $1000^\circ\text{C}$  zijn de soldeersoorten CuGeNi, BaCu780 en Nb50. De overige soldeersoorten kunnen boven  $1000^\circ\text{C}$  toegepast worden. De vier nikkelbasissoldeersoorten zijn geselecteerd op grond van de toegevoegde smeltpuntverlagende elementen (B, Si en P). Deze smeltpuntverlagende elementen kunnen reageren met het vulpoeder en daardoor het gedrag van de soldeernaad beïnvloeden. BNi2 bevat zowel B als Si, Bni5 bevat Si, Nb150 bevat B en BNi7 bevat P.

## 6. UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

Alle soldeerproeven zijn uitgevoerd met een opwarm- en afkoelsnelheid van  $25^\circ\text{C}$  per minuut. In de Torvacoven is het vacuum op soldeertemperatuur beter dan  $10^{-4}$  mbar. In de Wentgate-oven is het vacuum op soldeertemperatuur beter dan  $10^{-5}$  mbar.

### 6.1. Spreadproeven

De spreadproeven zijn als volgt uitgevoerd:

- van de werkstukmaterialen zijn plaatjes vervaardigd met de afmeting van 30x30x3 mm.
- de bovenzijden van de plaatjes zijn geslepen op een ruwheid van 0,1-0,4  $\mu\text{m}$
- per plaatje is een vaste hoeveelheid soldeer aangebracht met behulp van een doseermal
- de bij het wegnemen van de soldeermal gevormde hoeveelheid soldeer is gefixeerd met behulp van "Microbraz Cement grade 500".
- de plaatjes zijn vervolgens in de vacuümoven opgesteld onder een hoek van 30°. De te verwachten vloeirichting van het soldeer en de slijprichting van het oppervlak vallen samen.

Bij de beoordeling na het solderen zijn de volgende criteria toegepast:

- . het ontstaan van een gesloten soldeermassa
- . het op de plaats blijven liggen van het soldeer

Indien aan beide criteria is voldaan biedt zo'n soldeer in principe mogelijkheden om een brede spleet te vullen. Het soldeer vormt dan een gesloten massa, terwijl het vermoedelijk niet (snel) uit de soldeernaad zal vloeien.

### 6.2 T-proeven

De T-proeven zijn als volgt uitgevoerd:

- van het roestvaststaal zijn plaatjes vervaardigd met de afmeting 100x20x3 mm
- de te solderen vlakken zijn in lengterichting geslepen op een ruwheid van 0,1 - 0,4  $\mu\text{m}$
- de T-proefstukdelen zijn gefixeerd t.o.v. elkaar met behulp van staaldraad  $\emptyset$  0,5 mm
- de spleetbreedte is ingesteld met behulp van roestvaststaalfolie. De spleetbreedte verloopt van 0 tot 0,5 of 1 mm
- de verticale T-proeven zijn staand in een roestvaststalen bakje gesoldeerd. Het soldeer is aan de kant van het bakje gedoseerd. De

nulspleet is aangebracht aan de kant van het bakje. Het soldeer moet een steeds breder wordende spleet vullen. Bij de horizontale T-proeven is het soldeer bij de nulspleet gedoseerd. Ook hier moet het soldeer een steeds breder wordende spleet vullen

- bij het beoordelen zijn de proefstukken destructief onderzocht om zowel de "vloeilengte" in de meniscus te bepalen als "de vloeilengte" in de soldeernaad. De vloeilengte wordt gedefinieerd als de lengte waarover de soldeernaad geheel gevuld is.

### 6.3 Buisproeven

De buisproeven zijn uitgevoerd analoog aan de zogenaamde Blanchetproef [1]. De afmetingen van het proefstuk zijn aangepast aan:

- de mogelijkheid om niet-destructief onderzoek te kunnen uitvoeren met behulp van een microfocuss röntgenbuis
- de te verwachten stijghoogte
- de spleetbreedte, deze verloopt in dit onderzoek van 0 tot 2 mm (bij enkele proeven tot 3 mm).

De binnenste buis heeft de afmeting van  $\emptyset 12 \times \emptyset 15 \times 300$  mm.

De buitenste buis heeft de afmeting van  $\emptyset 17 \times \emptyset 20 \times 300$  mm.

(Voor enkele proefstukken geldt: binnenbuis  $\emptyset 9 \times \emptyset 12 \times 300$  mm, buitenbuis  $\emptyset 15 \times \emptyset 18 \times 300$  mm).

De proefstukken zijn als volgt vervaardigd:

- voor de roestvaststalen proefstukken is gelaste buis toegepast zowel voor de binnenbuis als voor de buitenbuis.
- voor de koperen proefstukken is OFHC-koperen buis toegepast voor de binnenbuis. De buitenbuis is vervaardigd uit een massieve staaf door deze inwendig te verspanen.
- de buisstukken zijn gebeitst om trekvet en oxyden te verwijderen. De gemeten oppervlakteruwheid (Ra) van de binnenkant van de buitenbuis bedraagt 0,60 - 0,65  $\mu\text{m}$ . Voor de buitenkant van de binnenbuis bedraagt Ra 0,28 - 0,32  $\mu\text{m}$ .
- de fixatie van de binnenbuis in de buitenbuis is, overeenkomstig de Blanchetproef, uitgevoerd met drie boutjes.

- het gemonteerde proefstuk is in een rond bakje geplaatst. Dit bakje dient als opvang voor het soldeer. De inhoud is groter dan de inhoud van de soldeerspleet. Met behulp van twee rvs folies van 0,1 mm is voorkomen dat de spleet aan de onderzijde van het proefstuk afgesloten raakt. Met drie roestvaststalen steundraden is voorkomen dat het proefstuk kan omvallen.
- tijdens het solderen vloeit het soldeer bij methode I en II vanuit het proefstuk in het bakje of bij methode III vanuit het bakje in de soldeernaad. Na het solderen is het bakje in beide gevallen verbonden met het proefstuk. De plaats van de soldeermeniscus aan de buitenzijde van het proefstuk is toegepast als de plaats om het bakje van het proefstuk te scheiden. Het zo verkregen vlak dient als referentievlak voor het meten van de "stijghoogte" van het soldeer.
- enkele proefstaven zijn onderzocht met behulp van een microfocus röntgenbuis. De röntgenbuis is door de binnenbuis van het proefstuk bewogen. De film is op een filmhouder centrisch om het proefstuk aangebracht. Om een beeld te kunnen vormen is een spleetvormige diafragma-opening toegepast tussen het proefstuk en de film. Op deze wijze is geprobeerd om als het ware via een "linescan" de vulgraad van het proefstuk te registreren.
- tevens zijn röntgenbeelden vervaardigd met een eenzijdig stralende röntgen buis en de dubbele wandtechniek. Per opname zijn de proefstukken 90° gedraaid zodat de ligging van een fout aan te geven is.
- de in het röntgenonderzoek aangegeven indicaties zijn door middel van destructief onderzoek nader onderzocht.

## 7. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

### 7.1 Spreadproeven

De resultaten van het spreadproefprogramma zijn vermeld in tabel 1 t/m 16. Naast de soldeerparameters geven de tabellen aan of de soldering wel of geen gesloten oppervlak heeft en of het soldeer wel of



niet wegvloeit van de doseerplaats. Het schema op de uitklaptabel geeft de beproefde combinaties aan.

### I Solderen in het smelttraject

- 1) Cu Ge Ni ( $T_s = 820^\circ\text{C}$ ,  $T_1 = 965^\circ\text{C}$ ), zie tabel 1.

De spreidproeven zijn uitgevoerd op OFHC-koper. Solderen op  $925^\circ\text{C}$  heeft geleid tot gedeeltelijk smelten van het soldeerpoeder. Bij  $950^\circ\text{C}$  is een zodanig groot deel van het soldeer vloeibaar, dat een gesloten massa gevormd wordt. Uitvloeien van het soldeer treedt bij  $950^\circ\text{C}$  niet op. Ook bij  $975^\circ\text{C}$  en bij  $1000^\circ\text{C}$  is het soldeer niet over het werkstukoppervlak uitgevloeid.

- 2) Nb 170 ( $T_s = 970^\circ\text{C}$ ,  $T_1 = 1105^\circ\text{C}$ ), zie tabel 2.

De spreidproeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal.

Tot en met  $1075^\circ\text{C}$  is een te klein deel van het soldeer gesmolten om tijdens het solderen een gesloten massa te vormen.

Na het solderen op  $1100^\circ\text{C}$  is het oppervlak wel gesloten maar ruw van uiterlijk. Een soldeertemperatuur van  $1125^\circ\text{C}$  leidt tot een gesloten en glad oppervlak, waarbij het soldeer niet uitvloeit over het roestvaststaal. Solderen op  $1150^\circ\text{C}$  of hoger veroorzaakt vloeien van het soldeer. Bij de soldeertemperatuur van  $1125^\circ\text{C}$  is geen verschil waarneembaar tussen een soldeertijd van 5 minuten of van 15 minuten.

### II Solderen met een mengsel van soldeer en vulpoeder

Het toegepast vulpoeder heeft tot doel het soldeermengsel op de doseerplaats te houden. Het soldeer moet het poeder goed bevochtigen.

- 1) BAgCu 780 ( $T_s = T_1 = 780^\circ\text{C}$ ), zie tabel 3.

De proeven zijn uitgevoerd op OFHC-koper.

Het zilverkopersoldeer is toegepast in combinatie met vier verschillende vulpoeders:

- zilverpoeder

Na het solderen zowel bij 825°C als bij 850°C blijkt dat het soldeer niet in het zilverpoeder is vastgehouden. Het soldeer spreidt sterk over het koperoppervlak. Vooral bij de mengverhouding 1:1 treedt erosie van het koper op door het zilverpoeder, waarbij extra soldeer gevormd wordt. Bij de mengverhouding van drie delen soldeer op een deel zilverpoeder is deze erosie veel kleiner.

- koperpoeder

Bij een mengverhouding van een deel soldeer op een deel vulpoeder is er te weinig soldeer aanwezig om een gesloten oppervlak te vormen. Bij de mengverhouding van drie delen soldeer op een deel vulpoeder ontstaat een redelijk resultaat. Het vulpoeder is niet in staat om bij 825°C het soldeer volledig vast te houden. Spreiding van het soldeer over het koperoppervlak treedt op. Voor een goede bevochtiging van het vulpoeder is de soldeertemperatuur van 825°C noodzakelijk. De soldeertijd, 5 minuten of 15 minuten, heeft weinig invloed op het verkregen resultaat.

- roestvaststaalpoeder

Het zilversoldeer is niet in staat om bij 850°C het toegepaste roestvaststaalpoeder te bevochtigen. Op het poederoppervlak worden bolletjes soldeer gevormd (ontvochtiging).

- nikkelpoeder

Ontvochtiging zoals bij roestvaststaalpoeder treedt bij het toepassen van nikkelpoeder niet op. Echter zowel bij 825°C als bij 850°C wordt een poreus en korrelig resultaat verkregen.

2) BNi2 ( $T_s = 970^\circ\text{C}$ ,  $T_1 = 1000^\circ\text{C}$ ), zie tabellen 4 en 5.

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal. Het BNi2 is toegepast in combinatie met twee vulpoeders:

- nikkelpoeder, tabel 4

In de mengverhouding van drie delen soldeer op een deel vulpoeder (korrelgrootte 75 - 105  $\mu\text{m}$ ) is een redelijk resultaat verkregen na solderen op 1025°C. Het soldeeruiterlijk is plaatselijk ruw met daar tussenin gladdere delen. Het oppervlak is wel volledig gesloten. Bij 1050°C vloeit het mengsel weg over het oppervlak. Het ruwe uiterlijk is door de hogere temperatuur verdwenen.

Verskil in resultaat tussen solderen in de Wentgate-oven of de Torvacoven is niet aanwezig.

- roestvaststaalpoeder, tabel 5

Soldeertemperaturen boven 1100°C zijn noodzakelijk om een gesloten mengseloppervlak te verkrijgen. Bij 1125°C vloeit het soldeer uit over het proefstukoppervlak. Bij het roestvaststaalpoeder zijn hogere soldeertemperaturen nodig dan bij het nikkelpoeder.

- 3) BNi5 ( $T_s = 1080^\circ\text{C}$ ,  $T_l = 1135^\circ\text{C}$ ), zie tabellen 6 en 7

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal zowel in de Torvacoven als in de Wentgate-oven. Het BNi5 is toegepast in combinatie met twee vulpoeders:

- nikkelpoeder, zie tabel 6

De soldeertemperatuur 1150°C is voldoende hoog voor BNi5 om met nikkelpoeder met een korrelgrootte van 75 - 105 µm een gesloten oppervlak te vormen. Vanaf 1135°C is uitvloeien van soldeer uit het mengsel waarneembaar. Bij 1200°C vloeit het mengsel weg. Het verkorten van de soldeertijd bij 1150°C van 15 minuten tot 5 minuten verslechtert het resultaat. Bij een soldeertijd van 60 minuten kan de soldeertemperatuur van 1150°C naar 1135°C dalen voor onderling vergelijkbaar resultaat. De korrelgrootte heeft weinig invloed op het uiterlijk van het gesoldeerde mengsel.

- roestvaststaalpoeder, zie tabel 7

Met een mengsel van soldeer en vulpoeder van 1:1 en een korrelgrootte voor het vulpoeder van 50 - 75 µm zijn tot soldeertemperatuur van maximaal 1200°C geen goede resultaten bereikt. Hogere temperaturen zijn niet toegepast. Bij een verhouding van drie delen soldeer op een deel vulpoeder met een grove korrel (75 - 105 µm) is bij 1200°C een gesloten en glanzend oppervlak verkregen. Het toepassen van een fijnere korrel (0 - 50 µm) geeft eenzelfde resultaat bij de soldeertemperatuur 1150°C en een soldeertijd van 15 minuten. Kort solderen op 1150°C (5 minuten) leidt bij een fijne korrel van het vulpoeder (0 - 50 µm) tot een poreus en korrelig resultaat.

4) Nb150 ( $T_s = T_1 = 1055^\circ\text{C}$ ), zie tabel 8

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal.

Het soldeer is toegepast in combinatie met:

- nikkelpoeder

Solderen bij  $1065^\circ\text{C}$  leidt voor dit soldeer met vulpoeder met een korrelgrootte van 0 - 50  $\mu\text{m}$  tot een ruw maar gesloten oppervlak. Bij het toepassen van een soldeertemperatuur van  $1075^\circ\text{C}$  treedt vloeien van het soldeer op. Een soldeertemperatuur van  $1100^\circ\text{C}$  veroorzaakt een sterke spreiding van het soldeer. Na solderen bij  $1050^\circ\text{C}$  is te zien dat bij deze temperatuur geen vloeibaar soldeer in het mengsel is opgetreden.

- roestvaststaalpoeder

Bij het toepassen van roestvaststaalpoeder als vulpoeder (korrelgrootte 0 - 50  $\mu\text{m}$ ) geldt dat de toegepaste soldeertemperatuur voor het verkrijgen van een dicht mengsel hoger moet liggen dan bij het toepassen van nikkelpoeder. In het geval van roestvaststaalpoeder is een gesloten oppervlak verkregen bij een soldeertemperatuur van  $1150^\circ\text{C}$ , waarbij de soldeertijd van vijf minuten voldoende is. Bij  $1200^\circ\text{C}$  treedt een sterk uitvloeien van het mengsel op.

5) BNi7 ( $T_s = T_1 = 890^\circ\text{C}$ ), zie tabel 9

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal. Enkel mengsels met roestvaststaalpoeder zijn onderzocht. Bij het toepassen van een vulpoeder met een korrelgrootte van 75 - 105  $\mu\text{m}$  in een mengverhouding van drie delen soldeer op een deel vulpoeder wordt bij  $1000^\circ\text{C}$  een gesloten oppervlak bereikt bij een soldeertemperatuur van 15 minuten. Een kortere soldeertemperatuur, 5 minuten, veroorzaakt een nog niet geheel gesloten oppervlak.

### III Solderen met behulp van een sinterpoeder

Het toegepaste sinterpoeder moet het vloeiende soldeer opvangen en vasthouden. Samen met het soldeer moet een gesloten mengsel ontstaan, het soldeer moet volledig in het sinterpoeder penetreren. Het soldeer

is boven het sinterpoeder op het hellende spreidproefplaatje aangebracht. Met behulp van strepen van een anti-vloeimiddel is voorkomen dat het soldeer om het sinterpoeder heen vloeit.

1) BAgCu780 ( $T_s = T_1 = 780^\circ\text{C}$ ), zie tabel 10

De proeven zijn uitgevoerd op koper.

De toegepaste sinterpoeders zijn:

- zilverpoeder

Zowel bij  $825^\circ\text{C}$  als bij  $850^\circ\text{C}$  vloeit het soldeer onder het zilverpoeder door. Penetratie treedt weinig op doordat de spreiding van het soldeer over het koperoppervlak zeer sterk is. Op contactplaatsen tussen het zilverpoeder en het koper van het werkstukmetaal treedt erosie op en wordt soldeer gevormd.

- koperpoeder

Het soldeer vloeit bij deze combinatie eveneens sterk uit over het oppervlak. Het koperpoeder geeft ten opzichte van het zilverpoeder een veel grotere opname van soldeer te zien. Bij  $850^\circ\text{C}$  is de opname van soldeer beter dan bij  $825^\circ\text{C}$ . Het verschil in soldeertijd bij  $850^\circ\text{C}$ , 5 of 15 minuten, veroorzaakt geen waarneembaar verschil in opname van het soldeer in het sinterpoeder.

- roestvaststaalpoeder

Het zilverkoper soldeer is bij  $850^\circ\text{C}$  niet in staat om in het sinterpoeder te penetreren. Het soldeer vloeit eerder uit over het koperoppervlak bij beide temperaturen.

- nikkelpoeder (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$  en 50-75  $\mu\text{m}$ ) zowel bij  $825^\circ\text{C}$  als bij  $850^\circ\text{C}$  treedt geen goede vulling van het nikkelpoeder op. Het resultaat is wel beter dan bij het toepassen van roestvaststaalpoeder.

2) BNi2 ( $T_s = 970^\circ\text{C}$ ,  $T_1 = 1000^\circ\text{C}$ ) zie tabellen 11 en 12

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal.

De toegepaste sinterpoeders zijn:

- nikkelpoeder (korrelgrootte 75-105  $\mu\text{m}$ )

Indien geen geleidingsstrepen van een anti-vloeimiddel (stopoff) worden toegepast, vloeit het soldeer om het sinterpoeder heen. Aan

de rand van het sinterpoeder is wel penetratie van het soldeer zichtbaar. Met geleidingsstrepen van het anti-vloeimiddel is gezorgd dat het soldeer niet uitvloeit, waardoor het min of meer gedwongen wordt om in het sinterpoeder te penetreren. De temperatuur, nodig voor penetratie, bedraagt  $1025^{\circ}\text{C}$ . Door te veel spreiden van het soldeer is de vulling van het sinterpoeder niet hoger dan 30% tot 50%.

- roestvaststaalpoeder

Bij de combinatie soldeer met grofkorrelig roestvaststaalpoeder ( $70 - 105 \mu\text{m}$ ) treedt geen penetratie van het soldeer in het poeder op bij soldeertemperaturen gelijk aan of lager dan  $1050^{\circ}\text{C}$ . Bij het toepassen van poeder met een fijnere korrel ( $50-75 \mu\text{m}$ ) is wel soldeerpenetratie waarneembaar bij de soldeertemperaturen  $1025^{\circ}\text{C}$  en  $1050^{\circ}\text{C}$ . Het ontbreken van anti-vloeimiddel leidt tot een grote spreiding van het soldeer waardoor te weinig soldeer resteert om het sinterpoeder geheel te vullen.

3) BNi5 ( $T_s = 1080^{\circ}\text{C}$ ,  $T_1 = 1135^{\circ}\text{C}$ ) zie tabellen 13 en 14

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal.

De toegepaste sinterpoeders zijn:

- nikkelpoeder

Bij het toepassen van grove korrels van het sinterpoeder ( $75 - 105 \mu\text{m}$ ) treedt opname van het soldeer op vanaf de liquidustemperatuur. Een volledige vulling van het sinterpoeder treedt pas op bij solderen op  $1200^{\circ}\text{C}$  gedurende 15 minuten.

Het oppervlak blijft bij deze temperatuur ruw en korrelig. Korter solderen, 5 minuten in plaats van 15 minuten leidt tot een slechtere vulling van het sinterpoeder. Lang solderen (60 minuten) verbetert het resultaat bij  $1135^{\circ}\text{C}$  nauwelijks.

Het toepassen van een fijnere korrel ( $0 - 50 \mu\text{m}$ ) leidt tot een betere penetratie van het soldeer. Een glad en poriënvrij mengsel ontstaat echter niet. Op het oppervlak wordt als het ware een vel gevormd over de poreuze vulmassa heen. Bij solderen op  $1175^{\circ}\text{C}$  zijn de resultaten beter dan bij solderen op  $1150^{\circ}\text{C}$ . Bij  $1200^{\circ}\text{C}$  gedurende 5 minuten solderen penetreert het soldeer wel in het sinterpoeder maar de soldeertijd is te kort voor een goede

vulling. De soldeerproeven zijn in beide vacuumovens uitgevoerd. Duidelijke verschillen in resultaat zijn niet waarneembaar.

- roestvaststaalpoeder

Bij deze combinatie is de korrelgrootte van het sinterpoeder belangrijk. Grofkorrelig poeder (75 - 105  $\mu\text{m}$ ) leidt zowel bij 1135°C als bij 1200°C tot een korrelig en daardoor poreus resultaat. Het soldeer wordt wel in het poeder opgenomen. De combinatie vormt echter geen in elkaar vloeiende en dichte massa. Het toepassen van de korrelgrootte 50 - 75  $\mu\text{m}$  biedt geen verbetering.

Het gebruik van het fijnste poeder (0 - 50  $\mu\text{m}$ ) leidt tot een resultaat dat glad is aan de buitenzijde en geen poreusheid bevat. Dit geldt zowel voor een soldeertemperatuur van 1175°C als van 1200°C. Bij een soldeertemperatuur van 1150°C of lager is de vulling van het sinterpoeder niet volledig. Een kortere soldeertijd dan de hierboven toegepaste 15 minuten, bijvoorbeeld 5 minuten bij 1200°C heeft tot gevolg dat het soldeer niet volledig in het sinterpoeder is opgenomen. Het oppervlak is hierdoor grofkorrelig en poreus.

4) Nb150 ( $T_s = T_1 = 1055^\circ\text{C}$ ) zie tabel 15.

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal.

De toegepaste sinterpoeders zijn:

- nikkelpoeder

Nb150 is toegepast met sinterpoeder met een kleine korrelgrootte (0 - 50 $\mu\text{m}$ ). Bij de soldeertemperatuur van 1100°C is 5 minuten solderen voldoende om het sinterpoeder te vullen. Het uiterlijk na het solderen is glad. Bij solderen bij 1075°C wordt het sinterpoeder wel gevuld. Het oppervlak blijft grofkorrelig en ruw.

- roestvaststaalpoeder

Het soldeer penetreert sterk in het fijnkorrelig sinterpoeder (0-50  $\mu\text{m}$ ). Bij 1075°C en een soldeertijd van 15 minuten vult het soldeer het sinterpoeder geheel. Het oppervlak na solderen is glad. Hogere temperaturen om te solderen zijn niet nodig. Wel moet de soldeertijd niet te kort gekozen worden opdat het soldeer

voldoende tijd heeft om te penetreren in het sinterpoeder. Er zijn geen proeven uitgevoerd met grover roestvaststaalpoeder.

Bij soldeertemperaturen van 1100°C en 1125°C is het sinterpoeder niet volledig in staat om het soldeer vast te houden. Het soldeer vloeit gedeeltelijk uit over het oppervlak van het roestvaststalen plaatje.

5) BNi7 ( $T_s = T_l = 890^\circ\text{C}$ ) zie tabel 16.

De proeven zijn uitgevoerd op roestvaststaal.

Als sinterpoeder is roestvaststaalpoeder toegepast met de korrelgrootte 75 tot 105  $\mu\text{m}$ . Bij 1000°C vormt het soldeer samen met het sinterpoeder een geheel. Het uiterlijk is glad en glimmend.

Verschil tussen een soldeertijd van 5 minuten of van 15 minuten is niet waarneembaar.

## 7.2 T-proeven

### I Solderen in het smelttraject

<sup>1)</sup> Nb 170 ( $T_s = 970^\circ\text{C}$ ,  $T_l = 1050^\circ\text{C}$ )

De nummering van de proefstukken vangt aan bij 5, zie tabel 17. De T-proeven 5 en 6 zijn bij 1090°C gesoldeerd. De gekozen temperatuur is laag. De verbindingen zijn geheel poreus.

De T-proeven 7 en 8 zijn bij 1100°C gesoldeerd. De verbinding van proefstuk 7 is geheel poreus. Boven de naadbreedte van 450  $\mu\text{m}$  (plaats 45 mm vanaf de nulspleet) is het soldeer uit de naad gezakt. Proefstuk 8 is geheel dicht tot een naadbreedte van 250  $\mu\text{m}$  (op ca. 25 mm vanaf de nulspleet). Bij proefstuk 8 is het soldeer uit de naad gezakt boven de naadbreedte van 520  $\mu\text{m}$  (op 52 mm vanaf de nulspleet).

Van proefstuk 8 zijn twee preparaten vervaardigd.

Figuur 1 toont een naad van ca. 200  $\mu\text{m}$ . De verbinding toont geen poreusheid.

Figuur 2 toont een naadbreedte van ca. 400  $\mu\text{m}$ . In deze figuur stellen de zwarte plekken poreusheid voor. Daarnaast zijn in beide figuren de



donkere vlekken ongesmolten korrels en zijn de overgangszones, is met borium- en koolstofpenetratie in het AISI 316, te onderscheiden.

## II Solderen met een mengsel van soldeer en vulpoeder

### 1) Mengsel van 40%Ni + 60%BNi5

Uit tabel 17 blijkt dat 8 T-proeven volgens deze methode zijn gesoldeerd (proeven 9 t/m 16). Bij proeven 9 en 10 is de spleet bij een spleetbreedte van 800  $\mu\text{m}$  resp. 300  $\mu\text{m}$  geheel open. Bij proef 11 is dit bij een spleetbreedte van 700  $\mu\text{m}$  het geval. De spleet van proefstuk 12 is geheel gesloten.

Van de vier proefstukken zijn de verbindingen over grote lengten poreus en er zijn krimpscheuren ontstaan in de meniscus.

Dezelfde methode is op de proefstukken 13 t/m 16 uitgevoerd. Met dit verschil, dat de pasta bij de voorbereiding afgestreken is, zodat de overmaat pasta is weggenomen. Het oppervlak van de verbinding in de doorsnede is daardoor kleiner geworden zodat de krimpscheuren ook kleiner zijn geworden. Tevens ontstaat een gladder uiterlijk. De verbindingen zijn echter even poreus als van de proefstukken 9 t/m 12. Figuur 3 toont het verschil in krimpscheuren tussen proefstuk 12 (boven) en 16 (onder).

### 2) Mengsel van 30%BNi5 en 70%BNi2

Proefstuk 23 is met een mengsel van twee soldeerpoeders op een temperatuur van 1030°C gesoldeerd. Het resultaat van proefstuk 23 was evenals dat van de proefstukken 9 t/m 16 poreus.

## III Solderen met behulp van een sinterpoeder

### 1) Nb170 met nikkel als sinterpoeder.

Vier T-verbindingen (proefstukken 19 t/m 22) met een oplopende spleet tot 1 mm zijn met nikkelpoeder gesinterd. De korrelgrootte is achtereenvolgens 0-40, 40-50, 50-75 en 75-105  $\mu\text{m}$ . Het sinteren is uitgevoerd gedurende 15 minuten bij 1030°C. Figuur 4 geeft een beeld

van drie van deze T-proeven na het solderen. Van links naar rechts zijn weergegeven proefstuk 21, 22 en 19. Van T-proef 19 is de soldeernaad te zien met de hoogte tot waar het soldeer is opgestegen (wit), aangegeven met een pijl. Zo ook bij proefstukken 22 en 21. In tabel 18 zijn voor deze proefstukken de stijghoogte die aan de beide zijden zichtbaar zijn, weergegeven in de kolommen h1 en h2. Alle proefstukjes zijn op de soldeernaad doorgeslepen, zodat de afstand waarover de naad geheel is opgevuld met soldeer opgemeten kon worden. Kolom h3 geeft deze afstand weer.

Figuur 5 geeft een beeld van de doorsnede van proef 19 met een naadbreedte van 300  $\mu\text{m}$ . De verbinding vertoont geen poreusheid. De korrels zijn waarschijnlijk nikkelkorrels. Tijdens het solderen wordt door diffusie van het Nb170 soldeer een andere samenstelling aan de buitenkant van de korrels gevormd. Dit is als een rand zichtbaar. Tussen de korrels in bevindt zich een eutectische samenstelling; het soldeer. In het eutecticum bevindt zich een zwart aanetsende fase.

Figuur 6 toont een doorsnede, op grotere afstand van de nulspleet (ca. 4,5 cm), met een naadbreedte van 500  $\mu\text{m}$ . De verbinding is poreus. Tussen de korrels is soldeer aanwezig. Dit soldeer verbindt de korrels onderling.

### 7.3 Buisproeven

De gesoldeerde buisproeven zijn onderzocht met behulp van röntgenstraling. De microfocus röntgenbuis leverde geen bruikbare resultaten op omdat of de bewegingsonscherpte of de spreiding door de breedte van de opnamespleet wazige afbeeldingen veroorzaakte. Met de dubbele wand techniek zijn bruikbare resultaten verkregen. Per soldering zijn een of twee preparaten vervaardigd om de röntgenbeelden te interpreteren. Bij de resultaatbespreking zijn enkele voorbeelden opgenomen.

In tabel 19 zijn de resultaten van de uitgevoerde buisproeven vermeld.

## I Solderen in het smelttraject

1) Nb 170 ( $T_S = 970^\circ\text{C}$ ,  $T_L = 1105^\circ\text{C}$ )

Met dit soldeer zijn twee soldeerproeven uitgevoerd. Bij proef L is het soldeer uit de spleet weggezakt. Bij proef M is het soldeer in het bakje aangebracht. Tijdens het solderen is het soldeer in de spleet omhooggestegen. Bij de nulspleet is in het geval van proef M het soldeer tot bovenin de nulspleet gestegen (vloeilengte 297 mm). In de 1 mm brede spleet is het soldeer tot 23 mm respectievelijk 12 mm gestegen. In de 2 mm brede spleet is geen soldeer aanwezig. Bij proef L is de 2 mm brede spleet gevuld tot een hoogte van 35 mm. De nulspleet is tot bovenin gevuld. Aan de wand van de leeggelopen spleet hangen gestolde druppels soldeer.

## II Solderen met een mengsel van soldeer en vulpoeder

1) BAg72Cu780 ( $T_S = T_L = 780^\circ\text{C}$ ).

De proeven zijn uitgevoerd in koperen buizen. Bij de proefstukken G en I is dit zilversoldeer toegepast in combinatie met koperpoeder. Bij proef I is een roestvaststalen opvangbakje toegepast. Bij proef G is een koperen opvangbakje toegepast. Het resultaat is in beide gevallen gelijk. Het soldeer blijft wel achter in de nulspleet maar niet in de 2 mm brede spleet. Op de oppervlakken van de buizen zijn plaatselijk druppels van het soldeermengsel blijven hangen.

1) BNi2 ( $T_S = 970^\circ\text{C}$ ,  $T_L = 1000^\circ\text{C}$ )

De proeven zijn uitgevoerd in roestvaststalen buizen.

De toegepaste vulpoeders zijn:

- nikkelpoeder

Bij de proeven T (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ ) en U (korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$ ) is de spleet breder dan 3/4 mm gedeeltelijk leeggelopen. Het resterende soldeer bevindt zich met het vulpoeder tegen de binnenwand van de buitenste buis (zie figuur 7 en 8).

De nulspleet is in beide gevallen tot bovenaan gevuld, zij het dat bij proef T de binnenbuis licht kromgebogen is, waardoor er een soldeerfout is ontstaan van 78 mm stijghoogte tot 201 mm stijghoogte.

- roestvaststaalpoeder

Bij de combinatie met de korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ , proef N, is het zelfde verschijnsel waarneembaar als bij de proeven T en U met nikkelpoeder. Bij proef O (korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$ ) is de 2 mm brede spleet tot een hoogte van 37 mm gevuld. Bij 37 mm stijghoogte is het begin van een spleet tussen het soldeer en de binnenpijp gebin van een spleet tussen het soldeer en de binnenste buis waarneembaar. Daar waar het soldeermengsel is weggevloeid is nog wel een laag van het mengsel op de oppervlak van de buitenbuis aanwezig. Bij beide proeven is de nulspleet tot bovenaan (295 mm) gevuld met soldeer.

- BNi5

De maximale spleetbreedte bedraagt 3 mm.

De combinatie is beproefd omdat de verwachting is dat een combinatie van twee soldeersoorten een beter resultaat kan opleveren dan een soldeer met een zuiver metaal (zie literatuurartikel Mobley en Hoppin blz. 6).

Bij proefstuk 26 (korrelgrootte 0-75  $\mu\text{m}$ ) is de 3 mm brede spleet tot 117 mm boven het soldeerniveau en bij proefstuk 27 (korrelgrootte 75-105  $\mu\text{m}$ ) tot 75 mm boven het nulniveau gevuld.

Figuur 9 toont de doorsnede van proefstuk 26 op 1,5 cm boven soldeerniveau. Te zien zijn primaire en secundaire fasen.

3) BNi5 ( $T_S = 1080^\circ\text{C}$ ,  $T_L = 1135^\circ\text{C}$ )

De proeven zijn uitgevoerd in roestvaststalen buizen.

De toegepaste vulpoeders zijn:

- nikkelpoeder

Bij de proeven 24 (korrelgrootte 0-75  $\mu\text{m}$ ) en 25 (korrelgrootte 75-105  $\mu\text{m}$ ) zijn de kleinere buisdiameters toegepast, waarbij de maximale spleetbreedte 3 mm bedraagt. Proef 24 is wegens gebrek aan vulpoeder slechts tot 110 mm gevuld. Dit is tevens de vulhoogte na het solderen. Bij proefstuk 25 is de 3 mm brede spleet gevuld tot 305 mm. In beide gevallen is het mengsel poreus. Tussen het met een laag soldeer bedekte oppervlak van de buis en de poreuze massa van het

mengsel is een spleet ontstaan over vrijwel de gehele lengte van de gevulde soldeernaad.

- roestvaststaal .

Bij de proeven C (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ ) en D (korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$ ) is de 2 mm brede soldeerspleet gevuld tot vrijwel bovenaan (zie als voorbeeld figuur 10). De verbindingen bevatten veel poriën (zie figuur 11). Bij proef C treden naast de gevulde nulspleet soldeerfouten op.

4) Nb 150 ( $T_S = T_L = 890^\circ\text{C}$ )

De proeven zijn uitgevoerd in roestvaststalen buizen.

De toegepaste vulpoeders zijn:

- nikkelpoeder 0-50  $\mu\text{m}$ .

De 2 mm brede spleet van proefstuk K is vrijwel geheel leeggelopen. De nulspleet is tot bovenaan gevuld. Plaatselijk zijn restanten van het mengsel op het oppervlak van de buizen achtergebleven.

- roestvaststaalpoeder 0-50  $\mu\text{m}$  .

Bij het toepassen van roestvaststaalpoeder is na het solderen over de gehele lengte van de 2 mm brede soldeernaad een spleet aanwezig tussen het soldeermengsel en het oppervlak van de binnenste buis. Het mengsel vertoont weinig poriën. De nulspleet is tot bovenaan gevuld.

### III Het solderen met behulp van een sinterpoeder

#### 1) BAg72Cu780 ( $T_S = T_L = 780^\circ\text{C}$ )

De proeven zijn uitgevoerd in koperen buizen.

Het toegepaste vulpoeder is:

- koperpoeder (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ )

Het resultaat van proef H vertoont veel grote fouten in de verbinding.

De stijghoogte in de 2 mm brede spleet bedraagt 18 mm. Op enkele plaatsen is het soldeer gestegen tot 50 mm.

#### 2) BNi2 ( $T_S = 970^\circ\text{C}$ , $T_L = 1000^\circ\text{C}$ )

De proeven zijn uitgevoerd in roestvaststalen buizen. De toegepaste vulpoeders zijn:

- nikkelpoeder

Het resultaat van de proeven van Victor (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ ) en W (korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$ ) is matig. De vloeilengte is klein (40 mm en 83 mm). Tussen de buitenste buis en het soldeer zijn fouten aanwezig. De röntgenbeelden van beide proeven vertonen veel lichte en dondere vlekken, hetgeen "veel fouten" aangeeft.

- roestvaststaalpoeder

Bij de proefstaven P (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ ) en Q (korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$ ) is het soldeer in de 2 mm brede spleet gestegen tot 214 respectievelijk 151 mm. In beide gevallen ziet het resultaat er goed uit. In beide proeven zijn in het met soldeer gevulde deel fouten aanwezig bijvoorbeeld direct naast de nulspleet. Over de verkregen stijghoogte zijn de poriën in het sinterpoeder goed met soldeer gevuld. De figuren 12, 13 en 14 geven het resultaat weer.

#### 3) BNi5 ( $T_S = 1080^\circ\text{C}$ , $T_L = 1135^\circ\text{C}$ )

De proeven zijn uitgevoerd in roestvaststalen buizen. De toegepaste vulpoeders zijn:

- nikkellagen

Bij de proeven 28 (korrelgrootte 0-40  $\mu\text{m}$ ), 29 (korrelgrootte 40-50  $\mu\text{m}$ ), 30 (korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$ ) en 31 (korrelgrootte 75-105  $\mu\text{m}$ ) zijn de kleinere buisdiameters toegepast. De soldeerspleet varieert

van 0-3 mm. Bij proef 28 bedraagt de stijghoogte in de 3 mm brede spleet 36 mm. De structuur van de verbinding is weergegeven in figuur 15. Boven deze stijghoogte is het sinterpoeder poreus. Bij proef 29 is de stijghoogte van de 3 mm brede spleet 55 mm. De structuur van de verkregen verbinding is weergegeven in figuur 16. Plaatselijk treden verschillen op in de verhouding tussen het soldeer en het sinterpoeder. Bij de proefstaven 30 en 31 is geen soldeer in het sinterpoeder opgenomen.

- roestvaststaalpoeder

De resultaten van de proeven A (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ ) en B (korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$ ) geven een stijghoogte in de 2 mm brede soldeerspleet te zien van 116 respectievelijk 293 mm. In de naden zijn enkele fouten aanwezig (zie figuur 17). De overgang tussen het poreuze deel C (figuur 18) en het gevulde deel (figuur 19) is goed waarneembaar. In het gevulde gedeelte zijn poriën aanwezig (zie figuur 19). De proeven E en F zijn ter vergelijking met A en B eerst gesinterd op 1175°C en vervolgens gesoldeerd. De structuur van de proeven E en F is vergelijkbaar met die van de proeven A en B. De stijghoogte van de proef met het fijne sinterpoeder (0-50  $\mu\text{m}$ ) is toegenomen door het voorsinteren tot 242 mm. Bij het sinterpoeder met de korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$  is het verschil verwaarloosbaar (A: 293 mm; E: 268 mm).

4) BNi7 ( $T_S = T_L = 890^\circ\text{C}$ )

De proeven zijn uitgevoerd in roestvaststalen buizen. Het toegepaste sinterpoeder is:

- roestvaststaalpoeder

De stijghoogte bij de proefstukken R (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ ) en S (korrelgrootte 50-75  $\mu\text{m}$ ) bedraagt respectievelijk 171 mm en 105 mm. Het röntgenbeeld vertoont over de gehele stijghoogte van beide proeven vlekken. Uit het microscopisch onderzoek blijkt dat plaatselijk de naad goed gevuld is maar op andere plaatsen zijn poriën en gaten aanwezig. De nulspleet van beide proefstukken is tot ongeveer 200 mm stijghoogte gevuld.

## 8. RESULTAAT BESPREKING

### 8.1 Spreidproeven

Het uitvoeren van spreidproeven onder een hoek van 30° is een geschikt wijze om een indruk te verkrijgen van de mogelijkheden of een soldeer of een combinatie van soldeer- en vulpoeder voor 'wide gap'-solderen toepasbaar is.

#### I Solderen in het smelttraject

Zowel soldeer CuGeNi als soldeer Nb170 bezitten een soldeertemperatuur waarbij het soldeer nagenoeg dan wel volledig gesmolten is maar nog niet uitvloeit onder invloed van de 30° helling. Voor CuGeNi bedraagt de temperatuur 950°C ( $T_L = 965^\circ\text{C}$ ). Ook 975°C of 1000°C is toelaatbaar. Voor Nb170 bedraagt de temperatuur 1125°C, vlak boven de liquidustemperatuur van 1105°C.

#### II Solderen met een mengsel van soldeer en vulpoeder

Veel combinaties leiden tot een slecht resultaat of vereisen een hogere soldeertemperatuur. Slechte resultaten zijn verkregen met de combinaties:

- BAg72Cu780 en zilverpoeder bij 825°C en 850°C
- BAg72Cu780 en roestvaststaalpoeder bij 825°C en 850°C
- BAg72Cu780 en nikkelpoeder bij 825°C en 850°C
- BNi2 en roestvaststaalpoeder onder 1100°C
- BNi5 en grofkorrelig roestvaststaalpoeder (korrelgrootte  $\geq 50 \mu\text{m}$ ) onder 1200°C
- Nb150 en fijnkorrelig roestvaststaalpoeder (korrelgrootte  $\leq 50 \mu\text{m}$ ) onder 1150°C
- BNi7 en grofkorrelig roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 75-105  $\mu\text{m}$ ) tot 1000°C



Aanvaardbare resultaten zijn verkregen met:

- BAg72Cu780 en koperpoeder bij zowel 825°C als 850°C
- (BNi2 en nikkelpoeder (korrelgrootte 75-105 µm) vermoedelijk tussen 1025°C en 1050°C)
- BNi5 en nikkelpoeder (korrelgrootte 0-50 µm en 75-105 µm) bij 1150°C
- BNi2 en roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 75-105 µm) bij 1100°C of hoger (bij voorkeur 1125°C toepassen)
- BNi5 en roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 0-50 µm) bij 1175°C of roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 75-105 µm) bij 1200°C
- Nb150 en roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 0-50µm) bij 1150°C
- Nb150 en nikkelpoeder (korrelgrootte 0-50 µm) bij 1065°C.

H. Zhuang, E. Lugscheider en J. Chen vermelden in hun rapport [II,6] de volgende soldeertemperaturen:

- BNi2 met nikkelpoeder: 1125°C
- BNi5 met nikkelpoeder: 1175°C
- BNi2 met rvs AISI 316: 1125°C
- BNi5 met rvs AISI 316: 1175°C

Ten opzichte van onze proeven is er weinig verschil met de combinatie soldeer met roestvaststaalpoeder ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ). De combinaties met nikkelpoeder zijn vermoedelijk aan de combinaties met roestvaststaalpoeder aangepast, n.l. in onze resultaten is waarneembaar dat de soldeertemperatuur voor roestvaststaalpoeder bij BNi2, BNi5 en Nb150 hoger ligt dan voor nikkelpoeder om een aanvaardbaar resultaat te verkrijgen.

### III Solderen met behulp van een sinterpoeder

Bij de spreidproeven, waarbij het soldeer boven het sinterpoeder is aangebracht, treedt vaak het probleem op dat het soldeer over het oppervlak spreidt. Met behulp van een anti-vloeimiddel is dit spreiden zoveel mogelijk tegengegaan. Spreiding van het soldeer is nadelig omdat dat de vulgraad van het sinterpoeder beperkt. Bij de beoordeling van het resultaat is dus in hoofdzaak gekeken naar het met soldeer gevulde

deel van het sinterpoeder. Dit deel moet een homogene en gesloten massa vormen met het soldeer.

Slechte resultaten zijn verkregen met de combinaties:

- BAg72Cu780 en zilverpoeder. Het zilverpoeder erodeert het koperen spreidproefplaatje. Het soldeer spreidt zeer sterk en vloeit onder andere onder het zilverpoeder door.
- BAg72Cu780 en roestvaststaalpoeder. De soldeertemperatuur van 850°C is te laag om het roestvaststaalpoeder te bevochtigen.
- BAg72Cu780 en nikkelpoeder. De soldeertemperatuur van 850°C is te laag voor de vorming van een gesloten mengsel.
- BNi2 en nikkelpoeder onder 1050°C. Het soldeer is onvoldoende in staat om in het nikkelpoeder te penetreren. De indruk bestaat dat door erosie van het nikkelpoeder de smelttemperatuur van het soldeer stijgt, zodat stolling optreedt.
- BNi2 en grofkorrelig roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 75-105 µm). Ook bij 1050°C treedt geen vulling van het sinterpoeder door het soldeer op. Bij de korrelgrootte 50-75 µm heeft het soldeer sterk de neiging om over het oppervlak van het spreidproefplaatje uit te vloeien in plaats van in het poeder te penetreren.
- BNi5 en nikkelpoeder tot 1175°C. Onafhankelijk van de korrelgrootte en de soldeertemperatuur (tot 1175°C) blijkt deze combinatie een slechte vulgraad te bezitten en is poreus. Ook hier lijkt smeltpuntverhoging een goed resultaat in de weg te staan. Het uiterlijk blijft korrelig.
- BNi5 en grofkorrelig roestvaststaalpoeder (zowel korrelgrootte 50-75 µm als 75-105 µm) ook bij 1200°C.
- Nb150 en fijnkorrelig nikkelpoeder (korrelgrootte 0-50 µm) onder 1075°C vanwege de te lage soldeertemperatuur ten opzichte van  $T_L = 1055^\circ\text{C}$ .
- BNi7 en grofkorrelig roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 75-105 µm) onder 975°C door de te lage soldeertemperatuur.

Aanvaardbare resultaten zijn verkregen met:

- BAg72Cu780 en koperpoeder. De voorkeur gaat uit naar de soldeertemperatuur van 850°C. De soldeertijd heeft weinig invloed op het resultaat.
- BNi5 en nikkelpoeder. Bij 1200°C met grofkorrelig nikkelpoeder (korrelgrootte 75-105 µm) blijft het uiterlijk korrelig, maar er treedt wel vulling op.
- BNi5 en roestvaststaalpoeder. Bij deze combinatie is, door een groter aantal proeven, de invloed van de korrelgrootte uitgebreider onderzocht. Goede resultaten zijn bereikt met een korrelgrootte van 0-50 µm bij soldeertemperaturen van 1175°C of hoger. Deze combinatie is dan ook verder onderzocht met de buisproef om na te gaan of stolling door opmenging optreedt.
- Nb150 en fijnkorrelig nikkelpoeder (korrelgrootte 0-50 µm) gesoldeerd bij 1100°C. Grovere korrels zijn niet toegepast.
- Nb150 en fijnkorrelig roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 0-50 µm) gesoldeerd bij 1100°C. Grovere korrels zijn niet toegepast.
- BNi7 en grofkorrelig roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 75-105 µm) bij 1000°C: met fijnkorrelige poeders is ook een goed resultaat te verwachten.

## 8.2 T-proeven

De T-proeven met een verlopende spleet leveren doseerproblemen op. Het vullen van een openstaande spleet en de vorming van een meniscus zijn weinig reproduceerbaar. Daarnaast leiden slink en krimp van het soldeer tot scheurvorming in de meniscus. Of een andere verhouding van het soldeer ten opzichte van het vulpoeder tot betere resultaten leidt is niet onderzocht. Tevens verschilt de vloeilengte van het soldeer in de naad met de vloeilengte in de door het sinterpoeder gevormde meniscus zoals uit tabel 18 blijkt.

De T-proeven zijn alleen destructief te onderzoeken. Zij lenen zich minder voor niet-destructief onderzoek. De methode is daarom verder niet onderzocht.

### 8.3 Buisproeven

De buisproeven lenen zich voor niet-destructief onderzoek met behulp van röntgenstraling. Het toepassen van de dubbele wandtechniek leidt tot resultaten waarmee een goede indruk verkregen wordt van de soldeernaad (zie de figuren 7, 10, 12 en 17). Het vervaardigen van een preparaat t.b.v. microscopisch onderzoek is noodzakelijk om het fotobeeld goed te kunnen interpreteren. Het onderzoek met behulp van de microfocusbuis heeft enkel wazige foto's opgeleverd. De methode is in principe wel geschikt, maar het bepalen van de juiste parameters voor de opname is een onderzoek op zichzelf. Daar met de dubbele wandtechniek bruikbare resultaten zijn bereikt is het onderzoek met de microfocusbuis in overleg met de stuurgroep beëindigd.

Bij het vervaardigen van preparaten van de buisproefstukken is gebleken dat bij het verspanen van een poreuze structuur de kans aanwezig is dat de poriën worden dichtgesmeerd. Hierdoor wordt de indruk gewekt alsof een volledig gesloten verbinding verkregen is. Voldoende lang schuren met een lichte druk is een methode om de uitgesmeerde laag te verwijderen.

#### I Solderen in het smelttraject

Bij het solderen met de zwaartekracht mee van niet-capillaire spleten met een soldeer in of vlak boven het smelttraject is het mogelijk om een 2 mm brede verticale spleet over een lengte van 35 mm te vullen met soldeer. Geheel volgens de verwachting is het niet mogelijk om deze spleet tegen de zwaartekracht in met soldeer te vullen. Bij capillaire spleten is het verschil tot een lengte van 300 mm niet aanwezig.

## II Solderen met een mengsel van soldeer en vulpoeder

Bij deze methode ontstaan twee problemen:

- 1) het soldeer reageert met het vulpoeder. Door de reactie, bijvoorbeeld opmenging of diffusie, stijgt de smeltemperatuur van het soldeer. Het geheel vriest vast en de poriën worden niet meer verder gevuld.
- 2) het soldeer reageert weinig met het vulpoeder. Enige reactie zal altijd optreden vanwege de bevochtiging. Indien het soldeer voldoende dunvloeibaar wordt vloeit het mengsel uit de spleet weg. De juiste soldeertemperatuur ligt meestal in een klein temperatuurgebied.

Slechte resultaten zijn met deze methode bereikt met de combinaties:

- BAg72Cu780 met koperpoeder
- BNi2 met nikkelpoeder
- BNi2 met fijnkorrelig roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ )
- BNi5 met nikkelpoeder
- BNi5 met roestvaststaalpoeder
- Nb150 met nikkelpoeder

Enige stijghoogte is bereikt bij de combinaties:

- BNi2 met BNi5 (117 mm en 75 mm in de 3 mm brede spleet)
- BNi2 met roestvaststaal met de korrelgrootte van 50-75  $\mu\text{m}$  (37 mm in de 2 mm brede spleet)

Boven de volledig gevulde spleet hangen druppels van het mengsel aan de binnenzijde van de buitenpijp.

De slechte resultaten kunnen verbeteren indien zowel de soldeertemperatuur als de opwarmingsnelheid naar de soldeertemperatuur aangepast worden. Methode II blijft vermoedelijk altijd een grote kans op soldeerfouten geven omdat:

- navoeding in de regel niet mogelijk is
- het moeilijk is om het mengsel juist voldoende, maar beslist niet teveel, te laten vloeien.

### III Het solderen met behulp van een sinterpoeder

Bij deze methode is voortijdige reactie tussen het sinterpoeder en het soldeer niet aanwezig. Op het moment dat de bevochtigingstemperatuur bereikt wordt kan het soldeer volledig in de capillairen van het sinterpoeder penetreren.

Slechte resultaten zijn verkregen met

- BAg72Cu780 en koperpoeder (korrelgrootte 0-50  $\mu\text{m}$ )
- BNi5 en nikkelpoeder met een korrelgrootte groter dan 50  $\mu\text{m}$
- BNi7 en roestvaststaalpoeder met de korrelgroottes van 0-50  $\mu\text{m}$  en 50-75  $\mu\text{m}$
- BNi2 met nikkelpoeder met de korrelgroottes 0-50  $\mu\text{m}$  en 50-75  $\mu\text{m}$ .

Aanvaardbare resultaten zijn verkregen met:

- BNi2 en roestvaststaalpoeder met de korrelgroottes 0-50  $\mu\text{m}$  en 50-75  $\mu\text{m}$  (stijghoogte 214 en 151 mm respectievelijk)
- BNi5 en nikkelpoeder met een korrelgrootte kleiner dan 50  $\mu\text{m}$  (stijghoogtes 36 en 55 mm)
- BNi5 en roestvaststaalpoeder met de korrelgroottes 0-50  $\mu\text{m}$  en 50-75  $\mu\text{m}$  bij 1175°C. (stijghoogtes 116 mm en 293 mm bij in een keer solderen en 242 mm en 268 mm bij gescheiden sinteren en solderen.

Dat het zilverkopersoldeer in combinatie met het koperpoeder een slecht resultaat zou opleveren was uit de spreidproeven al te verwachten. De penetratie van het soldeer in het sinterpoeder is slecht bij 850°C. De verschillen van BNi5 met de fijne nikkelkorrel ( $\leq 50 \mu\text{m}$ ) of met de grove nikkelkorrel ( $> 50 \mu\text{m}$ ) zijn opvallend. Er is geen herhalingsproef uitgevoerd. Het is mogelijk dat bij de grove korrel de toevoerspleet (folie 0,05 mm) te klein is geweest zodat deze spleet door het sinterpoeder is geblokkeerd. Bij de proeven met als code een letter is de toevoerspleet altijd 0,1 mm geweest.

Bij het soldeer BNi2 valt op dat de resultaten met roestvaststaalpoeder beter zijn dan met nikkelpoeder. Evenals bij de spreidproeven kan het zijn dat door erosie van het nikkelpoeder het smeltpunt van het soldeer te snel stijgt om een goede vulling te verkrijgen.

## 9. CONCLUSIE

- De proeven met BAg72Cu780 geven aan dat dit soldeer zich minder leent voor "wide gap" solderen rond 850°C.
- Solderen in het smelttraject biedt mogelijkheden om een "wide gap" te vullen indien "met de zwaartekracht mee" gesoldeerd wordt.
- Bij het "solderen met een mengsel van soldeer en vulmiddel" is de marge tussen een poreuze verbinding of een leeggelopen soldeernaad klein. Enig resultaat is bereikt met de combinatie van BNi2 en BNi5 en met BNi2 met roestvaststaalpoeder (korrelgrootte 50-75 µm).
- Bij het "solderen met een sinterpoeder" zijn de resultaten redelijk met de combinaties:
  - . BNi2 en roestvaststaalpoeder met de korrelgroottes 0-50 µm en 50-75 µm
  - BNi5 en nikkelpoeder met een korrelgrootte kleiner dan 50 µm.
  - . BNi5 en roestvaststaalpoeder met de korrelgroottes 0-50 µm en 50-75 µm.
- De 30° spreidproef levert een redelijke indicatie op van de mogelijkheden van een "wide gap" soldeer. Bij het solderen met een sinterpoeder moet worden voorkomen dat het soldeer teveel over het spreidproefplaatje uitvloeit, waardoor er te weinig soldeer in het sinterpoeder penetreert.
- De T-proef is een niet te adviseren proef omdat er teveel problemen zijn met het aanbrengen van een soldeermengsel of een sinterpoeder.
- De buisproef geeft een goede indicatie van het gedrag van een "wide gap" soldeer.
- Niet-destructief onderzoek met röntgenstraling volgens de dubbele wand techniek levert bruikbare resultaten op. In ieder geval blijft het noodzakelijk om de NDO-resultaten te verifiëren door destructief onderzoek op minimaal een doorsnede van een referentieproefstuk.

## 10. VERVOLGONDERZOEK

Het onderzoek geeft aan dat voor soldeertemperaturen onder 1100°C nog geen geschikt soldeer (methode 1) of geen geschikte combinatie van soldeer en vulpoeder (methode 2) of sinterpoeder (methode 3) gevonden

is. Naar de mening van de stuurgroep zal het vervolgonderzoek voor soldeertemperaturen onder 1100°C zich vooral richten op spleetbreedtes liggend tussen 0 en 0,5 mm die worden gesoldeerd volgens de methoden 1 en 2. Bredere spleten en solderen volgens methode 3 bezitten vanwege de moeilijker toepasbaarheid een lagere prioriteit.

Voor soldeertemperaturen boven 1000°C zijn toepasbare resultaten te verwachten bij:

- spleetbreedtes tussen 0 en 0,5 mm met solderen in het smelttraject (methode 1) en solderen met een vulpoeder in het soldeer (methode 2)
- spleetbreedtes tussen 0,5 - 3 mm met solderen met een al of niet vooraf in de spleet gesinterd poeder (methode 3).

Voor deze genoemde mogelijkheden zal het vervolgonderzoek zich richten op de invloed van:

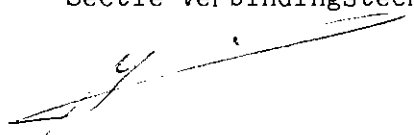
- de soldeertemperatuur
- de soldeertijd
- de korrelgrootte van het vul- of sinterpoeder

Op de treksterkte van de gesoldeerde verbindingen. De stuurgroep acht onderzoek naar methode 3 voor spleten tussen 0 mm en 0,5 mm en naar de methoden 1 en 2 voor spleten tussen 0,5 mm en 3 mm minder zinvol op grond van de in het vooronderzoek verkregen resultaten.

METAALINSTITUUT TNO

Afdeling Onderzoek en Ontwikkeling

Sectie Verbindingstechnieken



H.H. van der Sluis



## TABELLEN EN FIGUREN

Tabel 1: Het solderen in het smeltraject van CuGeNi op koper als werkstukmetaal volgens methode I.

proef stuk nr.	type vul- poeder	mengverhouding soldeer-vulpoeder	soldeer temp. °C	soldeer- tijd (m)	resultaat			
					oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
79	-	-	875	5		x	x	
80	-	-	900	5		x	x	
81	-	-	925	5	50%	50%	x	
82	-	-	950	5	x		x	
107	-	-	975	15	x		x	
108	-	-	1000	15	x		x	

Tabel 2: Het solderen in het smeltraject van Nb 170 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode I.

proef stuk nr.	type vul- poeder	mengverhouding soldeer-vulpoeder	soldeer temp. °C	soldeer- tijd (m)	resultaat			
					oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
43a	-	-	1025	15		x	x	
43b	-	-	1050	15		x	x	
43c	-	-	1075	15		x	x	
43d	-	-	1100	15	50%	50%	x	
43e	-	-	1125	15	x		x	
43f	-	-	1150	15	x			x
43g	-	-	1175	15	x			xx
74	-	-	1125	5	x		x	

Tabel 3: Het solderen van een mengsel van vulpoeder en BAg72Cu780 op koper als werkstukmetaal volgens methode II.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	verhouding soldeer - vulpoeder	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
46	Ag*	0-50	3:1	825	15		x		x
54	Ag*	0-50	3:1	850	15		x		x
47	Ag*	0-50	1:1	825	15		x		x
55	Ag*	0-50	1:1	850	15		x		x
44	Cu	0-50	3:1	825	15	50%	50%		x
52	Cu	0-50	3:1	850	15	50%	50%		x
45	Cu	0-50	1:1	825	15	te weinig soldeer t.o.v. vulpoeder			
53	Cu	0-50	1:1	850	15	te weinig soldeer t.o.v. vulpoeder			
72	Cu	0-50	3:1	825	5	50%	50%		x
50	RVS	0-50	1:1	825	15		x	x	
58	RVS	0-50	1:1	850	15		x	x	
99	Ni	0-50	3:1	825	15		x	x	
100	Ni	50-75	3:1	825	15		x	x	
103	Ni	0-50	3:1	850	15		x	x	
104	Ni	50-75	3:1	850	15		x	x	

\* veroorzaakt erosie van het koper.

Tabel 4: Het solderen van een mengsel van vulpoeder en BNi2 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode II

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	verhouding soldeer - vulpoeder	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	uitge- voerd in	resultaat			
							oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
9	Ni	75-105	3:1	1050	15	T.O.*	x			xx
10	Ni	75-105	3:1	1050	15	W.O.**	x			xx
11	Ni	75-105	3:1	1025	15	T.O.	50%	50%		x
12***	Ni	75-105	3:1	1050	15	T.O.	x		x	
13	Ni	75-105	3:1	1025	15	W.O.	50%	50%		x
14	Ni	75-105	3:1	1050	15	T.O.	x			xx
15	Ni	75-105	3:1	1000	15	W.O.		x	x	
77	Ni	75-105	3:1	1025	5	T.O.		x	x	

\* Torvac oven

\*\* Wentgate oven

\*\*\* Liggend gesoldeerd

Tabel 5: Het solderen van een mengsel van vulpoeder en BNi2 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode II.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	verhouding soldeer - vulpoeder	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
4	RVS	50-75	1:1	1050	15		x	x	
5	RVS	50-75	1:1	1025	15		x	x	
6	RVS	50-75	1:1	1000	15		x	x	
7	RVS	50-75	1:1	1025	15		x	x	
8	RVS	50-75	3:1	1025	15		x	x	
24	RVS	75-105	3:1	1000	15		x	x	
26	RVS	75-105	3:1	1025	15		x	x	
27	RVS	75-105	3:1	1050	15		x	x	
95	RVS	75-105	3:1	1075	5		x	x	
97	RVS	75-105	3:1	1100	5	x		x	
77	RVS	75-105	3:1	1025	5		x		
98	RVS	75-105	3:1	1125	5	x			x

Tabel 6: Het solderen van een mengsel van vulpoeder en BNi5 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode II.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	verhouding soldeer - vulpoeder	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat				
						oven	oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
16	Ni	75-105	3:1	1150	15	T.O.*	x			x
17	Ni	75-105	3:1	1135	15	W.O.**		x	50%	50%
18	Ni	75-105	3:1	1200	15	T.O.	x			x
19	Ni	75-105	3:1	1175	15	W.O.	x			x
33	Ni	75-105	3:1	1150	15	W.O.	x			x
32	Ni	75-105	3:1	1135	15	T.O.		x	50%	50%
35	Ni	75-105	3:1	1200	15	W.O.	x			x
34	Ni	75-105	3:1	1175	15	T.O.	x			x
83	Ni	75-105	3:1	1150	5	T.O.		x	x	
36	Ni	75-105	3:1	1135	60	T.O.	x			x
84	Ni	0-50	3:1	1150	5	T.O.		x	x	
40a	Ni	0-50	3:1	1150	15	T.O.	x		x	

\* Torvac oven

\*\* Wentgate oven

Tabel 7: Het solderen van een mengsel van vulpoeder en BNi5 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode II.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	verhouding soldeer - vulpoeder	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
1	RVS	50-75	1:1	1150	15		x	x	
2	RVS	50-75	1:1	1175	15		x	x	
3	RVS	50-75	1:1	1200	15		x	x	
20	RVS	75-105	3:1	1135	15		x	x	
21	RVS	75-105	3:1	1150	15		x	x	
22	RVS	75-105	3:1	1175	15		x	x	
23	RVS	75-105	3:1	1200	15	x		x	
39ab	RVS	0-50	3:1	1175	15	x		x	
85	RVS	0-50	3:1	1150	5		x	x	

Tabel 8: Het solderen van een mengsel van vulpoeder en Nb150 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode II.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	verhouding soldeer - vulpoeder	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
62	Ni	0-50	3:1	1075	15	x			x
66	Ni	0-50	3:1	1100	15	x			x
70	Ni	0-50	3:1	1050	15		x	x	
70a	Ni	0-50	3:1	1065	15	x		x	
89	Ni	0-50	3:1	1065	5		x	x	
60	RVS	0-50	3:1	1075	15		x	x	
64	RVS	0-50	3:1	1100	15		x	x	
68	RVS	0-50	3:1	1125	15		x	x	
86	RVS	0-50	3:1	1150	5	x		x	
90	RVS	0-50	3:1	1200	5	x			x

Tabel 9: Het solderen van een mengsel van vulpoeder en BNi7 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode II.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	verhouding soldeer - vulpoeder	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	geen	vloei wel
29	RVS	75-105	3:1	950	15		x	x	
28	RVS	75-105	3:1	975	15		x	x	
25	RVS	75-105	3:1	1000	15	50%	50%	x	
87	RVS	75-105	3:1	1000	5		x	x	

Tabel 10: Het solderen van een sinterpoeder met BAg72Cu780 op koper als werkstukmetaal volgens methode III.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
					oppervlak gesloten	poreus	geen	vloei* wel
49	Ag	0-50	825	15		x	x	
57	Ag	0-50	850	15		x	x	
48	Cu	0-50	825	15	50%	50%	x	
56	Cu	0-50	850	15	x		x	
76	Cu	0-50	850	5	x		x	
51	RVS	0-50	825	15		x	x	
59	RVS	0-50	850	15		x	x	
101	Ni	0-50	825	15	50%	50%	x	
102	Ni	50-75	825	15	90%	10%	x	
105	Ni	0-50	850	15	60%	40%	x	
106	Ni	50-75	850	15	95%	5%	x	

\* het soldeer vloeit wel uit over het oppervlak echter niet in combinatie met het sinterpoeder.

Tabel 11: Het solderen van een sinterpoeder met BNi2 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode III

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	opmer- kingen	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	vloei wel
15	Ni	75-105	W.O.*	1000	15		x	x	
11	Ni	75-105	T.O.**geen anti-vloei middel	1025	15		x	x	
13	Ni	75-105	W.O. geen anti-vloei middel	1025	15		x	x	
37	Ni	75-105	T.O.	1025	15	50%	50%	x	
14***	Ni	75-105	T.O.	1050	15	30%	70%	x	
10	Ni	75-105	W.O. geen anti-vloei middel	1050	15		x		x <sup>o</sup>
9***	Ni	75-105	T.O. geen anti-vloei middel	1050	15	20	80	x	x <sup>oo</sup>
12***	Ni	75-105	T.O. helling 0 <sup>o</sup>	1050	15		x	x	
78	Ni	75-105	T.O.	1025	5		x	x	

\* Wentgate oven

\*\* Torvac oven

\*\*\* horizontaal geslepen

<sup>o</sup> eromheen gevloeid<sup>oo</sup> gedeeltelijk eromheen gevloeid

Tabel 12: Het solderen van een sinterpoeder met BNi2 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode III.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	opmer- kingen	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
6*	RVS	50-75	geen anti- vloei middel	1000	15		x		x <sup>o</sup>
5*	RVS	50-75	geen anti- vloei middel	1025	15		x	x	
4*	RVS	50-75	geen anti- vloei middel	1050	15		x		x <sup>o</sup>
7	RVS	50-75	geen anti- vloei middel	1025	15		x		x <sup>o</sup>
24	RVS	75-105		1000	15		x	x	
26	RVS	75-105		1025	15		x	x	
27	RVS	75-105		1050	15		x	x	

<sup>o</sup> eromheen gevloeid

\* horizontaal geslepen

Tabel 13: Het solderen van een sinterpoeder met BNi5 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode III

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	opmer- kingen	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
32	Ni	75-105	T.O.*	1135	15	50%	50%	x	
17	Ni	75-105	W.O.**	1135	15	50%	50%	x	
33	Ni	75-105	W.O.	1150	15	50%	50%	x	
16	Ni	75-105	T.O.	1150	15	50%	50%	x	
34	Ni	75-105	T.O.	1175	15	50%	50%	x	
19	Ni	75-105	W.O.	1175	15	50%	50%	x	
35	Ni	75-105	W.O.	1200	15	x		x	
18	Ni	75-105	T.O.	1200	15	x		x	
36	Ni	75-105	W.O.	1135	60	50%	50%	x	
40	Ni	0-50	T.O.	1150	15	x***		x	
40a	Ni	0-50	T.O.	1150	15	x***		x	
42	Ni	0-50	T.O.	1175	15	x		x	
91	Ni	75-105	T.O.	1200	5	50%	50%	x	

\* Torvac oven

\*\* Wentgate oven

\*\*\* onder het gesloten oppervlak wel poreus

Tabel 14: Het solderen van een sinterpoeder met BNi5 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode III.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	opmer- kingen	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
						oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
1	RVS	50-75	2 lijnen boven elkaar	1150	15		x	x	
2	RVS	50-75	2 lijnen boven elkaar	1175	15	50%	50%	x	
3	RVS	50-75	2 lijnen boven elkaar	1200	15	x		x	
20	RVS	75-105		1135	15		x	x	
21	RVS	75-105		1150	15		x	x	
22	RVS	75-105		1175	15		x	x	
23	RVS	75-105		1200	15		x	x	
38a	RVS	0-50		1200	15	x		x	
38b	RVS	50-75		1200	15		x	x	
38c	RVS	75-105		1200	15		x	x	
39a	RVS	0-50		1175	15	x		x	
39b	RVS	50-75		1175	15		x	x	
39c	RVS	75-105		1175	15		x	x	
39ab	RVS	0-50		1175	15	x		x	
41	RVS	0-50		1150	15	50%	50%	x	
91	RVS	75-105		1200	5		x	x	
92	RVS	0-50		1175	5		x	x	

Tabel 15: Het solderen van een sinterpoeder met Nb150 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode III.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
					oppervlak gesloten	poreus	vloei geen	wel
63	Ni	0-50	1075	15	x		x	
67	Ni	0-50	1100	15	x		x	
71	Ni	0-50	1050	15		x	x	
71a	Ni	0-50	1065	15	50%	50%	x	
96	Ni	0-50	1100	5	x		x	
61	RVS	0-50	1075	15	x		x	
65	RVS	0-50	1100	15	x		x	
69	RVS	0-50	1125	15	x		x	
94	RVS	0-50	1075	5		x	x	



Tabel 16: Het solderen van een sinterpoeder met BNi7 op roestvaststaal als werkstukmetaal volgens methode III.

proef- stuk nr	type vul- poeder	korrel- grootte ( $\mu\text{m}$ )	soldeer- temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	soldeer- tijd (m)	resultaat			
					oppervlak		vloei	
					gesloten	poreus	geen	wel
29	RVS	75-105	950	15		x	x	
28	RVS	75-105	975	15	x		x	
25	RVS	75-105	1000	15	x		x	
88	RVS	75-105	1000	5	x		x	

Tabel 17: De resultaten van de T-proeven met verloopende spleet van 0 tot 1 mm (uitgezonderd 5, 6 en 9 die verlopen van 0-0,5 mm)

proef- stuknr.	soldeertype (mengverh.%)	methode	vulpoeder		soldeer-		resultaat (lengte in mm vanaf de nulspleet
			type (meng- verh.%)	korrel grootte ( $\mu\text{m}$ )	temp. ( $^{\circ}\text{C}$ )	tijd (m)	
5	Nb 170	1 h*			1090	30	poreus
6	Nb 170	1 v**			1090	30	poreus
7	Nb 170	1 h			1100	30	leeg boven 45 mm
8	Nb 170	1 v			1100	30	tot 25 mm dicht, rest poreus
9	BNi5 (60%)	2 v	Ni(40%)	0-75	1220	30	tot 13 mm dicht rest poreus
10	BNi5 (60%)	2 h	Ni(40%)	0-75	1220	30	poreus en scheuren
11	BNi5 (60%)	2 v	Ni(40%)	75-105	1220	30	poreus en scheuren
12	BNi5 (60%)	2 h	Ni(40%)	75-105	1220	30	poreus en scheuren
13	BNi5 (60%)	2 v	Ni(40%)	0-75	1220	30	poreus
14	BNi5 (60%)	2 v	Ni(40%)	75-105	1220	30	poreus
15	BNi5 (60%)	2 h	Ni(40%)	0-75	1220	30	poreus
16	BNi5 (60%)	2 h	Ni(40%)	75-105	1220	30	poreus
19	Nb 170	3***	Ni	40-50	1160	15	tot 28 mm gevuld
20	Nb 170	3***	Ni	50-75	1160	15	tot 31 mm gevuld
21	Nb 170	3***	Ni	75-105	1160	15	tot 18 mm gevuld
22	Nb 170	3***	Ni	0-40	1160	15	tot 13 mm gevuld
23	BNi2(70%)	2	BNi5 (30%)	75-105	1030	15	poreus

\* h = T-proef horizontaal

\*\* v = T-proef verticaal

\*\*\* vooraf 15 minuten sinteren op 1030 $^{\circ}\text{C}$ 

Tabel 18: Opstijghoogten in sinter/soldeerproeven Ni als sintermateriaal, Nb170 als soldeer

proefstuk T-proef	korrelgrootte	h1 (mm)	h2 (mm)	h2 (mm)
19	40 - 50 $\mu\text{m}$	74	72	28
20	50 - 75 $\mu\text{m}$	57	63	31
21	75 - 105 $\mu\text{m}$	62	67	18
22	105 - 125 $\mu\text{m}$	54	53	13

h1 en h2 = in de meniscussen; h3 = in de soldeernaad

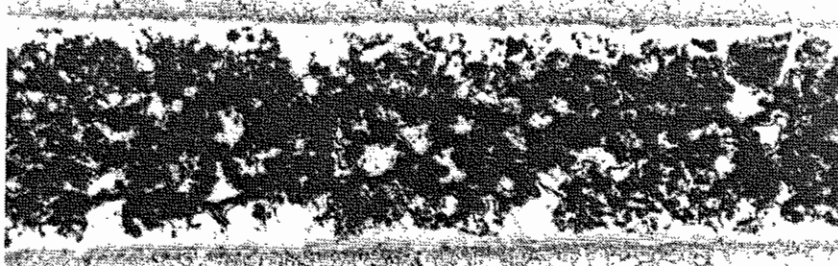
Tabel 19: De resultaten van de buisproeven met verlopende spleet. Bij de proefstukken gecodeerd met cijfers verloopt de spleet van 0-3 mm (door de kleinere buisdiameters). Bij de proefstukken gecodeerd met letters verloopt de spleet van 0-2 mm (grotere buisdiameters)

proef- stuk nr.	soldeertype (mengverh.%)	methode	vulpoeder		soldeer-		resultaat stijghoogte*** (mm)	opmerkingen
			type (meng- verh.%)	korrel grootte ( $\mu$ m)	temp. (°C)	tijd (m)		
24	BNi5 (60%)	2	Ni(40%)	0- 75	1225	15	110	spleet tussen wand en soldeer
25	BNi5 (60%)	2	Ni(40%)	75-105	1225	15	305	spleet tussen wand en soldeer
26	BNi2 (70%)	2	BNi5(30%)	0- 75	1100	10	117	mengfasen, geen korrels
27	BNi2 (70%)	2	BNi5(30%)	75-105	1100	10	75	mengfasen, geen korrels
28	BNi5	3	Ni*	0- 40	1175	60	36	zie figuur 8
29	BNi5	3	Ni*	40- 50	1175	60	55	zie figuur 9
30	BNi5	3	Ni*	50- 75	1175	60	0	geen penetratie
31	BNi5	3	Ni*	75-105	1175	60	0	geen penetratie
A	BNi5	3	RVS	0- 50	1175	30	116	poriën in de naad
B	BNi5	3	RVS	50- 75	1175	30	293	weinig poriën, enkele fouten
C	BNi5 (75%)	2	RVS (25%)	0- 50	1200	30	281	poriën
D	BNi5 (75%)	2	RVS (25%)	50- 75	1200	30	293	poriën
E	BNi5	3**	RVS	0- 50	1175	30	242	soldeerfouten en kleine poriën
F	BNi5	3**	RVS	50- 75	1175	30	268	weinig poriën en fouten
G	AgCu (75%)	2	Cu (25%)	0- 50	850	30	3	leeggelopen
H	AgCu	3	Cu	0- 50	850	30	18	veel grote fouten
I	AgCu (75%)	2	Cu (25%)	0- 50	850	30	0	leeggelopen
J	Nb150 (75%)	2	RVS (25%)	0- 50	1150	30	297	halfgevulde naad
K	Nb150 (75%)	2	Ni (25%)	0- 50	1100	30	7	plaatselijk wat mengsel
L	Nb170	1†	-	-	1125	30	35	naast 0-spleet sol- deerfouten
M	Nb170	1†	-	-	1125	30	0	stijging in de nul- spleet
N	BNi2 (75%)	2	RVS (25%)	0- 50	1125	30	0 (141)	laag soldeer met vul- poeder
O	BNi2 (75%)	2	RVS (25%)	50- 75	1125	30	37	laag soldeer met vul- poeder
P	BNi2	3	RVS	0- 50	1125	30	214	diverse foutjes
Q	BNi2	3	RVS	50- 75	1125	30	151	goed gevuld, enkele fouten
R	BNi7	3	RVS	0- 50	1000	30	171	gevuld, maar fouten.
S	BNi7	3	RVS	50- 75	1000	30	105	gevuld, maar fouten
T	BNi2 (75%)	2	Ni (25%)	0- 50	1025	30	0	spleet tussen soldeer en buis
U	BNi2 (75%)	2	Ni (25%)	50- 75	1025	30	0	spleet tussen soldeer en buis
V	BNi2	3	Ni	0- 50	1175	30	40	spleet tussen soldeer en buis
W	BNi2	3	Ni	50- 75	1175	30	83	veel fouten

\* = gesinterd op 1225°C - 30 minuten

\*\* = gesinterd op 1175°C - 30 minuten. Indien geen sterren geplaatst zijn bij methode 3 dan is het sinteren en het solderen in een cyclus uitgevoerd.

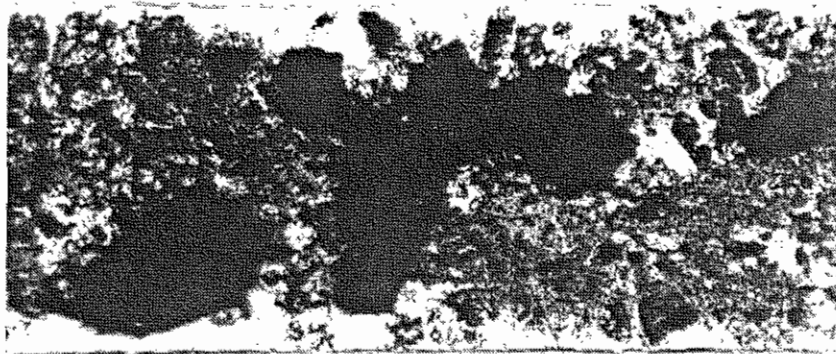
\*\*\* = waarover in soldeernaad buiten de nulspleet soldeer aanwezig is.



L 3948

V = 200x

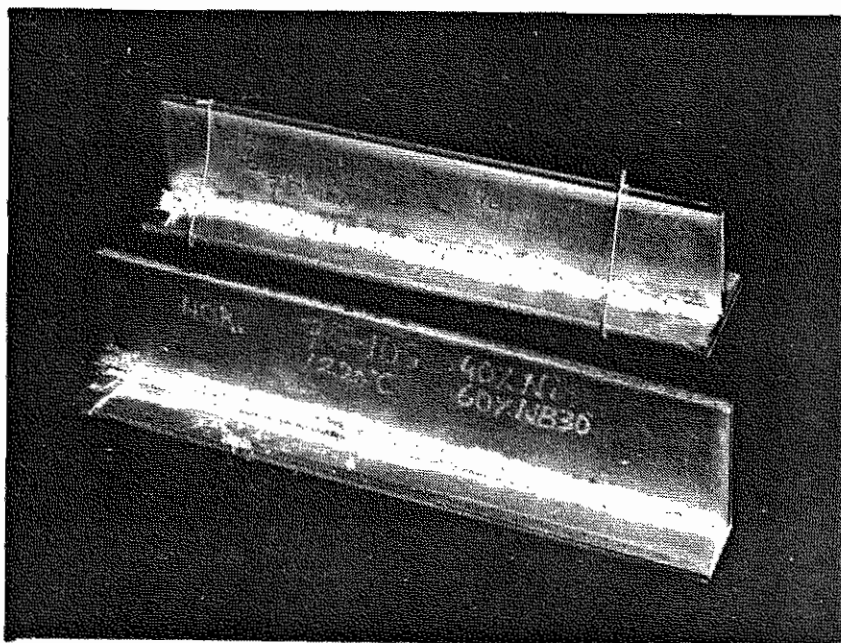
Figuur 1: T-proefstuk 8 Nb170 naad ca. 250  $\mu\text{m}$  (vrij van poreusheid) Methode I



L 3949

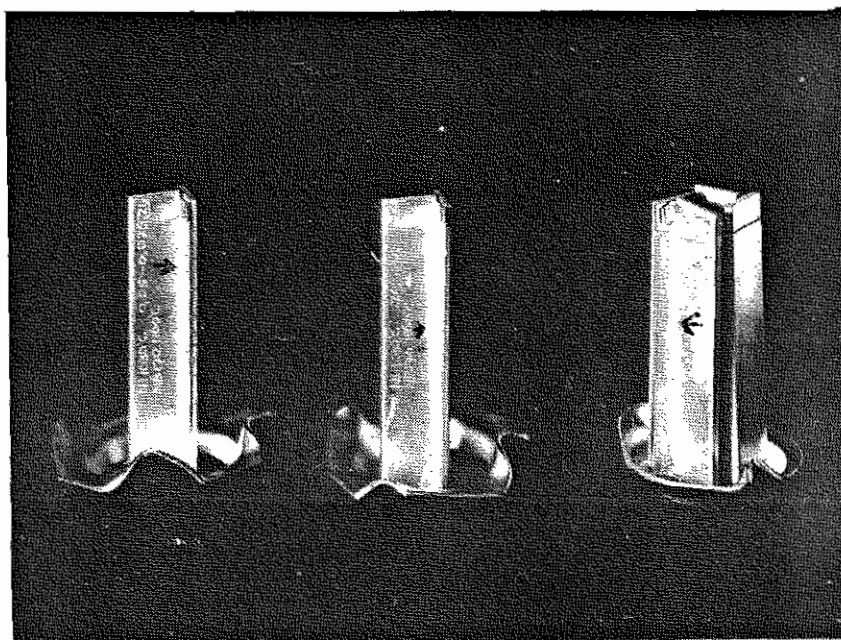
V = 200x

Figuur 2: T-proefstuk 8 Nb170 naad ca. 400  $\mu\text{m}$  (poreusheid aanwezig) Methode I



Figuur 3: Methode II 40% Ni en 60% BNi5  
boven proef 12  
beneden proef 16

840269



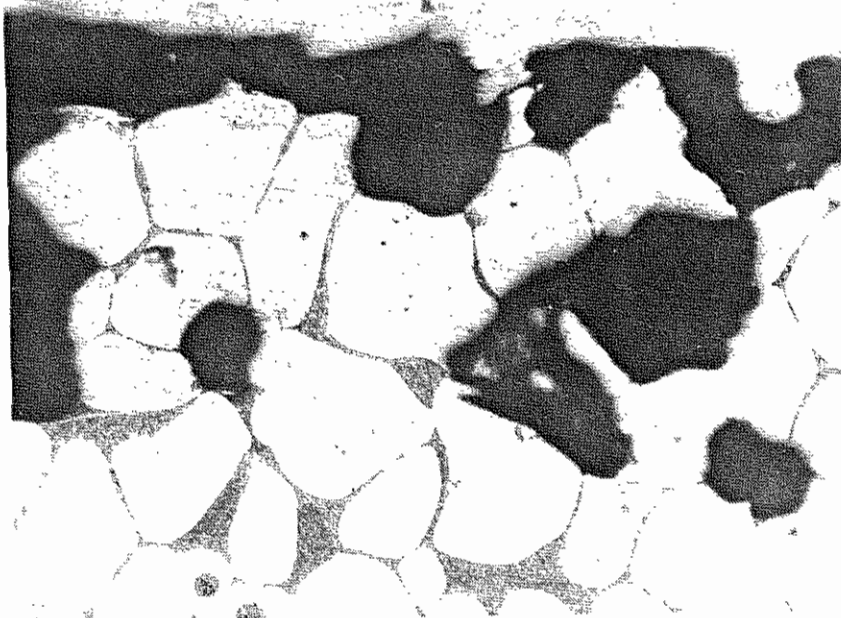
Figuur 4: Methode III, links 21, midden 22 en rechts 19

840270



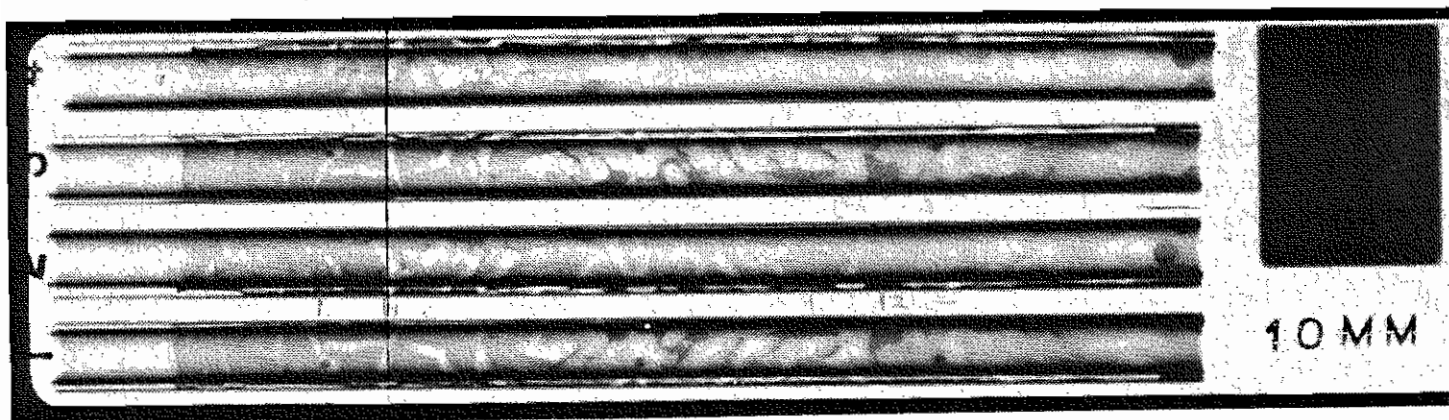
L 3964  
V = 200x

Figuur 5: Proefstuk 19 (Methode III), Ni en Nb170, naadbreedte 300  $\mu\text{m}$



L 3963  
V = 200x

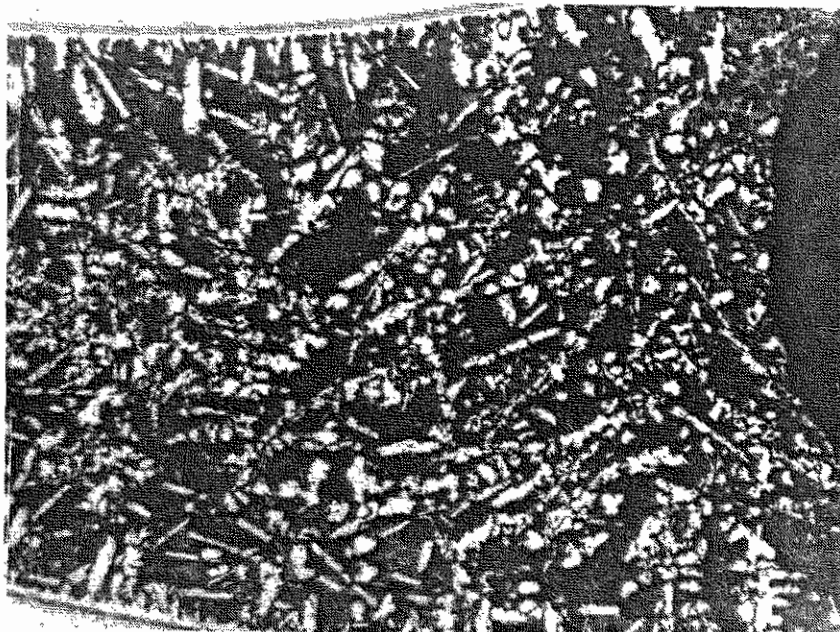
Figuur 6: Proefstuk 19 (Methode III), Ni + Nb170, naadbreedte 500  $\mu\text{m}$



Figuur 7: Afbeelding van de röntgenopname van proef T.  
Soldeer BNi2, vulpoeder nikkel (0-50  $\mu\text{m}$ ), Methode II,  
soldeertemperatuur 1025°C.



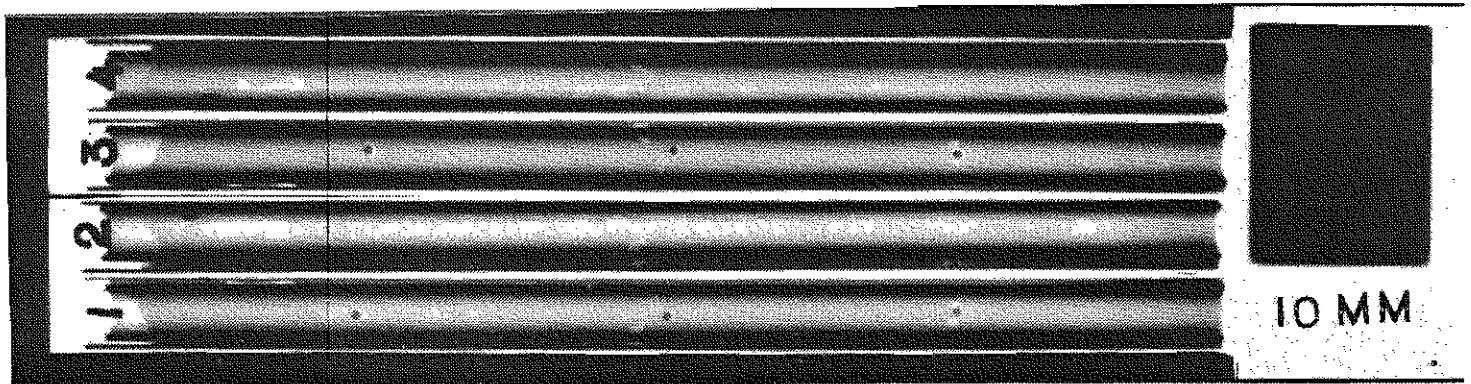
Figuur 8: De structuur ter hoogte van de zwarte lijn in figuur 7. De gevulde naad gaat op deze plaats over in een laag soldeer op de buitenzijde van de binnenste buis.



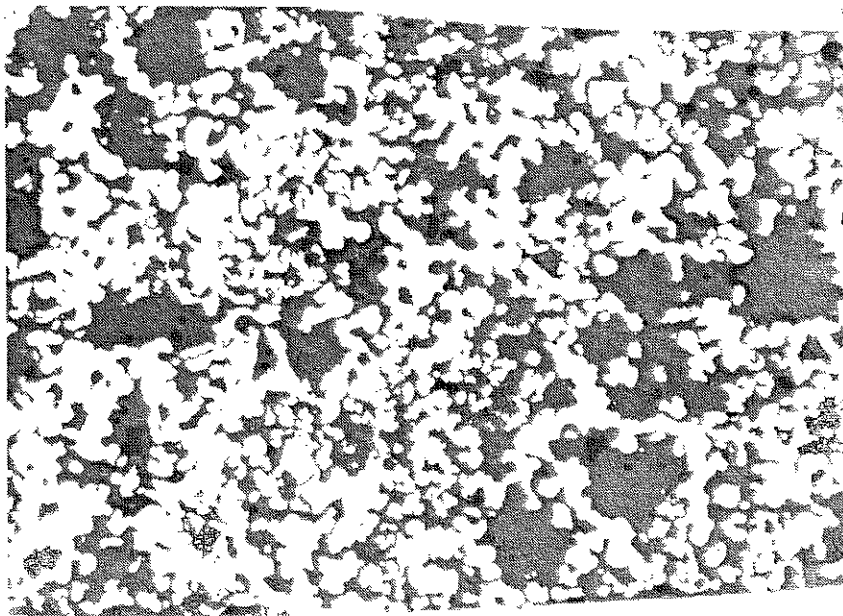
L 3962

V = 200x

Figuur 9: Prøefstuk 26, Methode II, 30% BNi5 en 70% BNi2



Figuur 10: Afbeelding van de röntgenopname van proef C, soldeer BNi5, vulpoeder roestvaststaal 0-50  $\mu\text{m}$ , Methode II, soldeertemperatuur 1200°C.



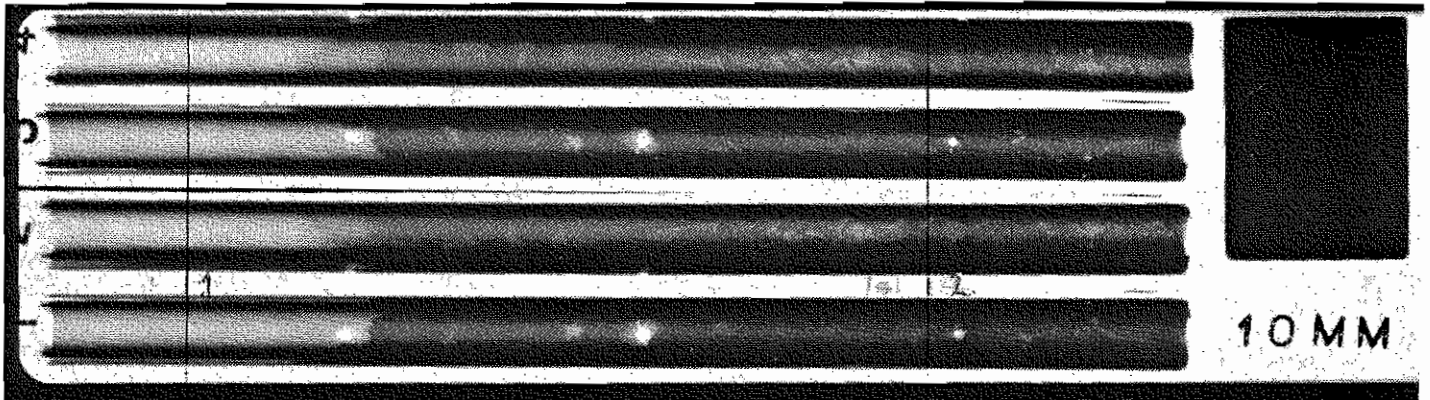
D 14956

C1

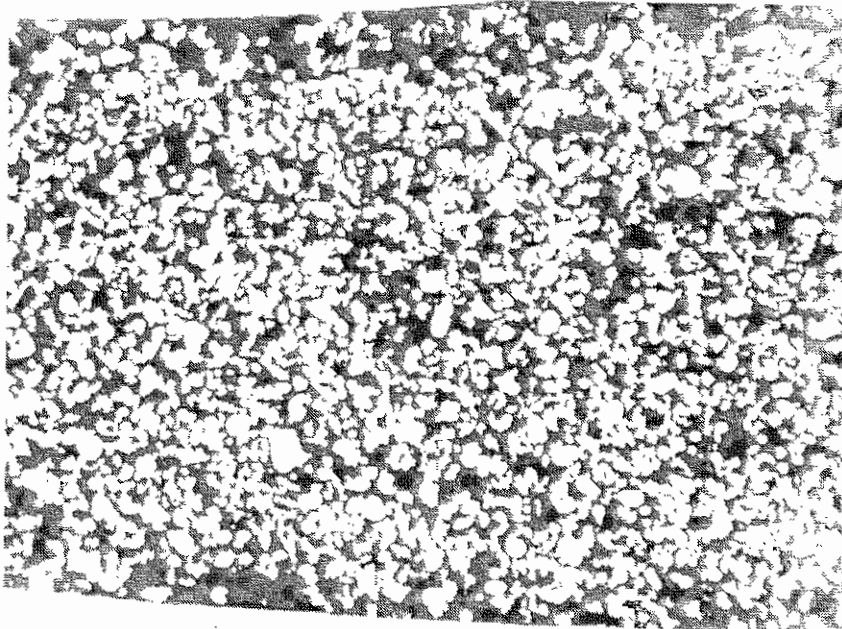
V = 100x

Figuur 11: De structuur ter hoogte van de zwarte lijn in figuur 10.  
De zwarte gebieden zijn de met inbedmassa gevulde poriën.





Figuur 12: Afbeelding van de röntgenopname van proef P.  
Soldeer BNi2 vulpoeder roestvaststaal 0-50  $\mu\text{m}$ .  
Methode III, soldeertemperatuur 1125°C.

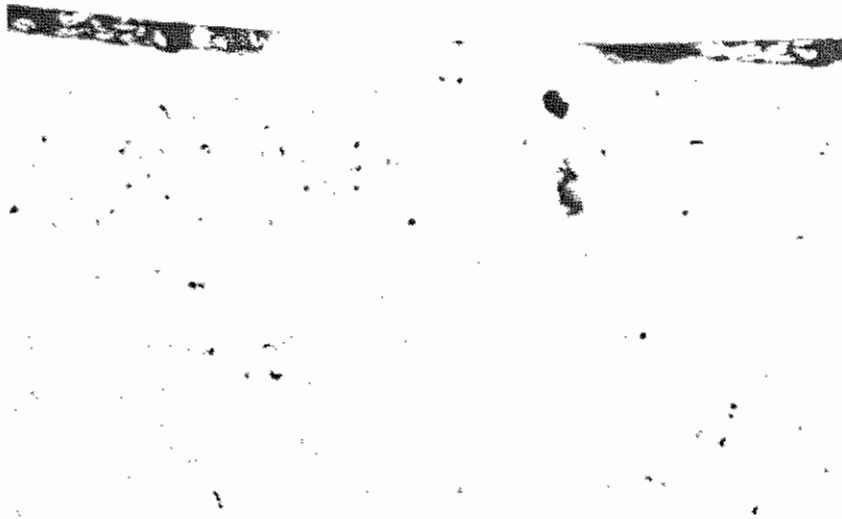


D 14958

P1

V = 100x

Figuur 13: De structuur ter hoogte van de zwarte lijn 1 in  
figuur 12. De zwarte gebieden zijn de met inbedmassa  
gevulde poriën.

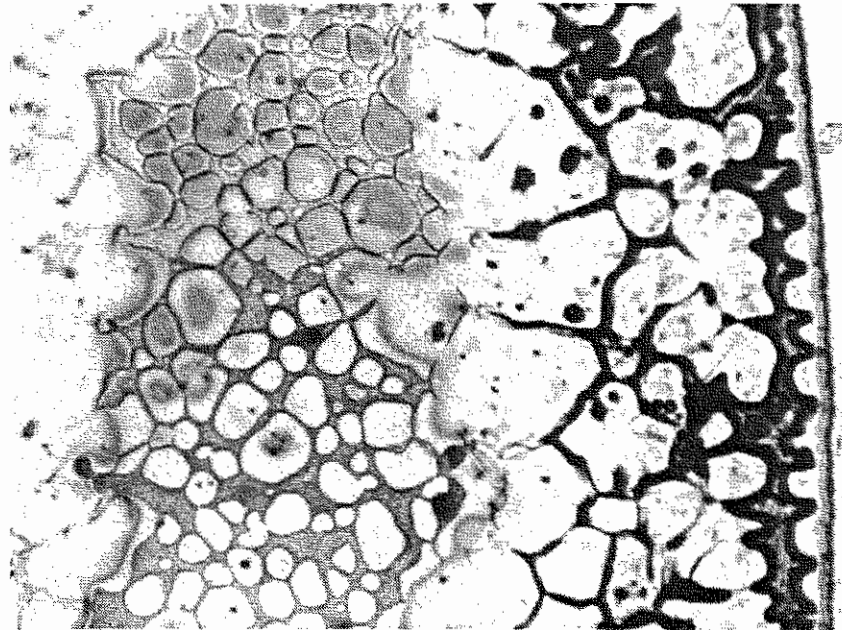


D 14961

P2

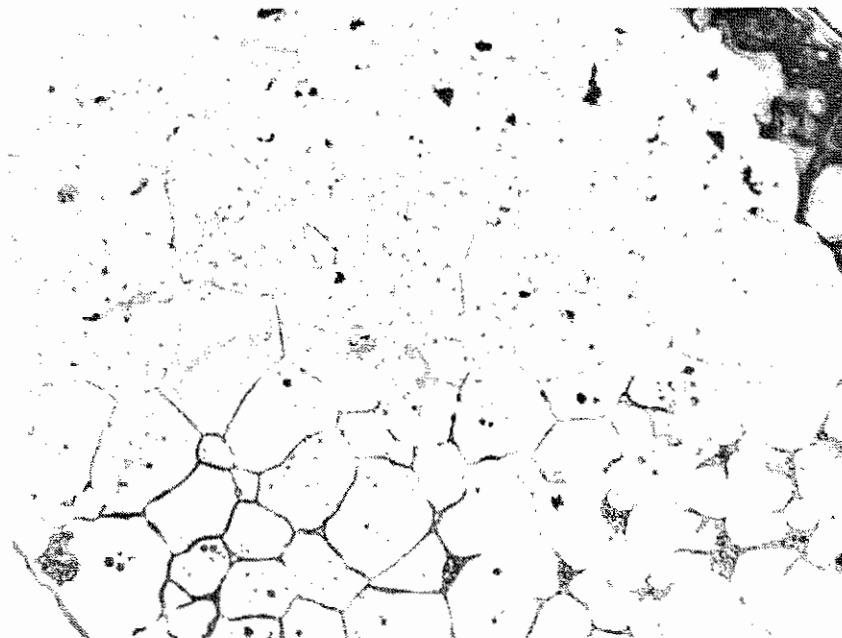
V = 100x

Figuur 14: De structuur ter hoogte van de zwarte lijn 2 in figuur 12. Tussen het soldeer en de binnenste buis zijn fouten aanwezig.



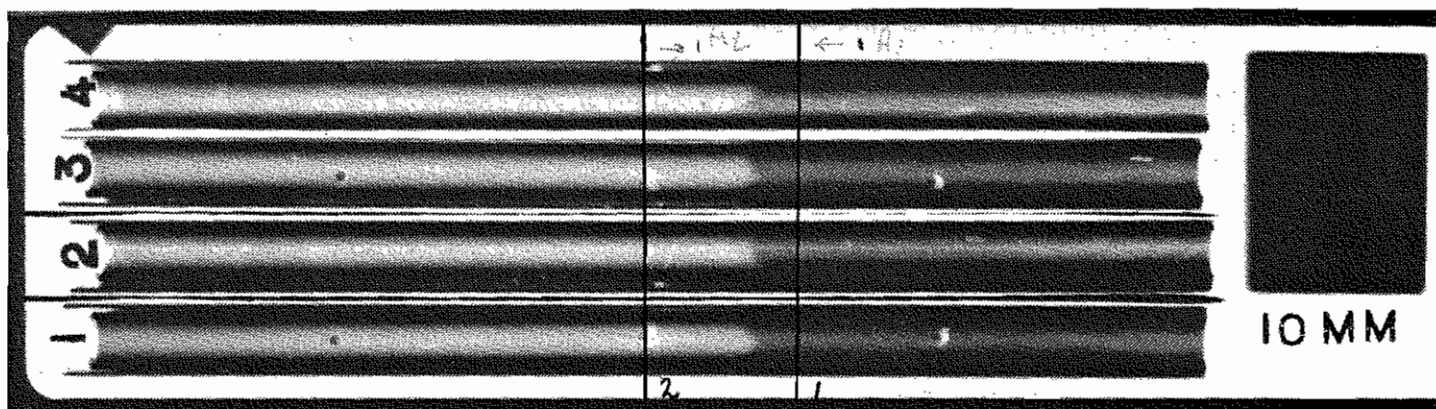
L 3960  
V = 200x

Figuur 15: Doorsnede proefstuk 28, methode III, gesinterd Ni ( $40\ \mu\text{m}$ )  $1225^\circ\text{C}$ ; gesoldeerd BNi5  $1175^\circ\text{C}$  op 35 mm hoogte spleetbreedte 0,5 mm.

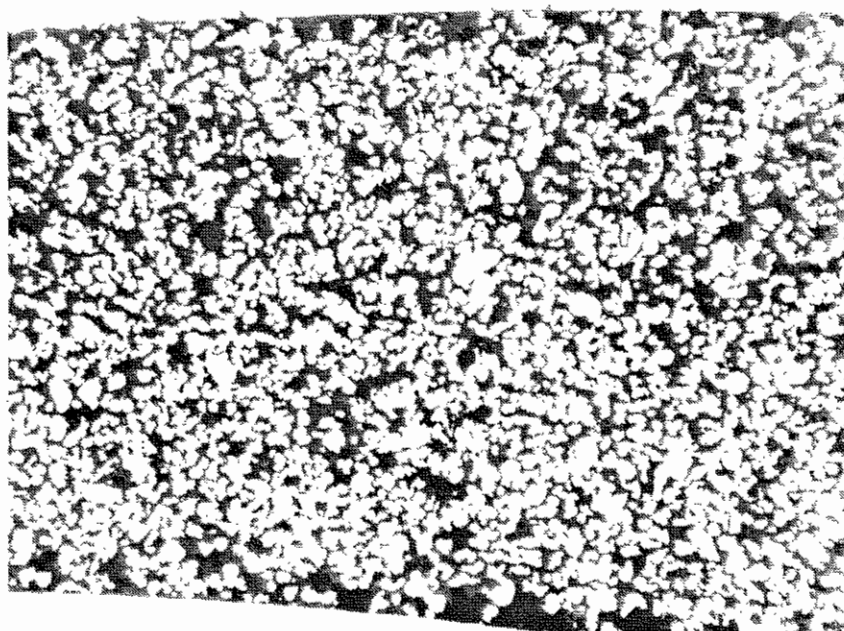


L 3961  
V = 200x

Figuur 16: Doorsnede proefstuk 29, Methode III, gesinterd Ni ( $40\text{-}50\ \mu\text{m}$ )  $1225^\circ\text{C}$ ; gesoldeerd BNi5  $1170^\circ\text{C}$  op 45 mm hoogte, spleetbreedte 0,6 mm.



Figuur 17: Afbeelding van de röntgenopname van proef A, soldeer BNi5, vulpoeder roestvaststaal (0-50  $\mu\text{m}$ ), Methode III, soldeertemperatuur 1175 °C.

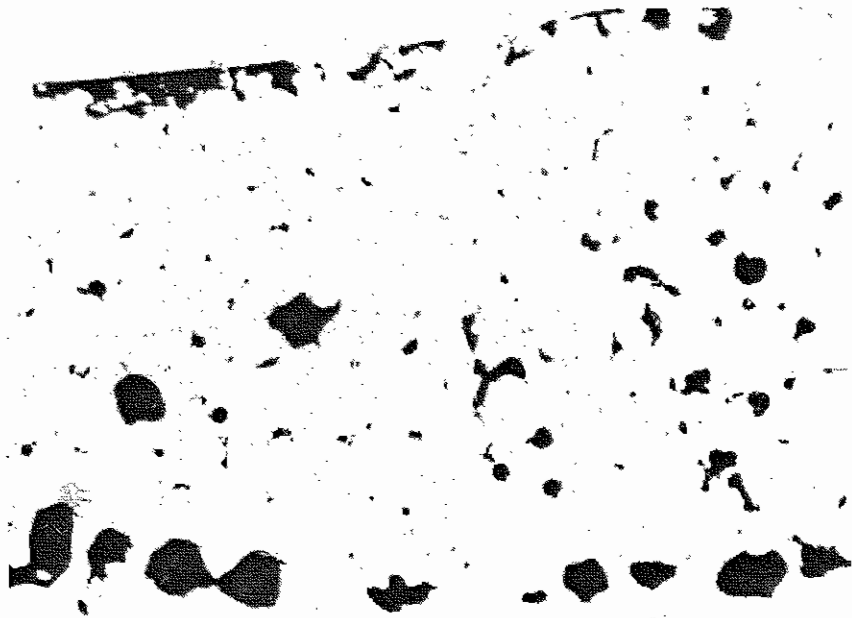


D 14959

A2

V = 100x

Figuur 18: De structuur ter hoogte van de zwarte lijn 2 in figuur 17. De zwarte gebieden zijn de met inbedmassa gevulde poriën.



D 14960

A1

V = 100x

Figuur 19: De structuur ter hoogte van de zwarte lijn A1 in figuur 17. De zwarte gebieden zijn de met inbedmassa gevulde poriën.

In het onderstaande schema zijn alle uitgevoerde 30° spreidproeven samengevat.

Methode I is het solderen in het smelttraject.

Methode II is het solderen met een mengsel van soldeer- en vulpoeder.

Methode III is het solderen met het vulpoeder (sinterpoeder) in de soldeernaad en het soldeer op een doseerplaats.

De soldeertemperaturen, waarbij een aanvaardbaar resultaat verkregen is, zijn onderstreept.

Methode	Soldeertype	Vulpoeder met korrelgrootte ( $\mu\text{m}$ )	Toegepaste soldeertemperaturen ( $^{\circ}\text{C}$ )
I	CuGeNi	-	875; 900; 925; <u>950</u> ; <u>975</u> ; 1000
I	Nb170	-	1025; 1050; 1075; <u>1100</u> ; <u>1125</u> ; 1150; 1175
II	BAG72Cu780	Ag 0- 50	825; 850
II	BAG72Cu780	Cu 0- 50	825; <u>850</u>
II	BAG72Cu780	RVS 0- 50	825; <u>850</u>
II	BAG72Cu780	Ni 0- 50	825; 850
II	BAG72Cu780	Ni 50- 75	825; 850
II	BNi2	Ni 75-105	1000; <u>1025</u> ; <u>1050</u>
II	BNi2	RVS 50-75	1000; <u>1025</u> ; <u>1050</u>
II	BNi2	RVS 75-105	1000; 1025; 1050; 1075; <u>1100</u> ; <u>1125</u>
II	BNi5	Ni 0- 50	<u>1150</u>
II	BNi5	Ni 75-105	1135; <u>1150</u> ; 1175; 1200
II	BNi5	RVS 0- 50	1150; <u>1175</u>
II	BNi5	RVS 50- 75	1150; <u>1175</u> ; 1200
II	BNi5	RVS 75-105	1135; 1150; 1175; <u>1200</u>
II	Nb150	Ni 0- 50	1050; <u>1065</u> ; 1075; 1100
II	Nb150	RVS 0- 50	1075; <u>1100</u> ; 1125; 1150; 1200
II	BNi7	RVS 75-105	950; 975; 1000
III	BAG72Cu780	Ag 0- 50	825; 850
III	BAG72Cu780	Cu 0- 50	825; <u>850</u>
III	BAG72Cu780	RVS 0- 50	825; <u>850</u>
III	BAG72Cu780	Ni 0- 50	825; 850
III	BAG72Cu780	Ni 50- 75	825; 850
III	BNi2	Ni 75-105	1000; 1025; 1050
III	BNi2	RVS 50- 75	1000; 1025; 1050
III	BNi2	RVS 75-105	1000; 1025; 1050
III	BNi5	Ni 0- 50	1150; 1175
III	BNi5	Ni 75-105	1135; 1150; 1175; <u>1200</u>
III	BNi5	RVS 0- 50	1150; <u>1175</u> ; <u>1200</u>
III	BNi5	RVS 50- 75	1150; <u>1175</u> ; <u>1200</u>
III	BNi5	RVS 75-105	1135; 1150; 1175; 1200
III	Nb150	Ni 0- 50	1050; 1065; 1075; <u>1100</u>
III	Nb150	RVS 0- 50	1075; <u>1100</u> ; 1125
III	BNi7	RVS 75-105	950; 975; <u>1000</u>

