

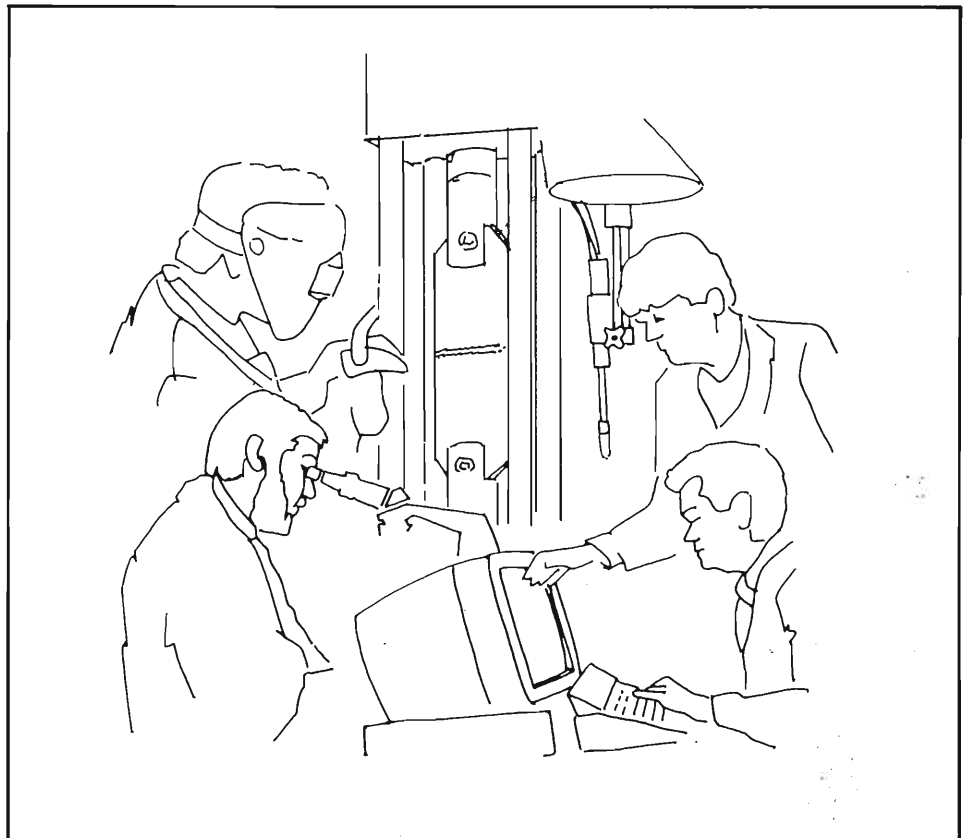
R1089

TC-I-A-532-93

Vacuümsolderen van Al en Al-legeringen
met laagsmeltende soldeersoorten; een
literatuuronderzoek.

Auteur: ir. H.H. van der Sluis

December 1993



Nederlands
Instituut voor
Lastechniek

TC-I-A-532-93

Vacuïmsolderen van Al en Al-legeringen
met laagsmeltende soldeersoorten; een
literatuuronderzoek.

Auteur: ir. H.H. van der Sluis

December 1993

Vacuümsolderen van Al en Al-legeringen met laagsmeltende soldeersoorten; een literatuuronderzoek.

Bestemd voor:

Nederlands Instituut voor Lastechniek

Krinksade 20

2251 KA Voorschoten

t.a.v. de voorzitter en de stuurgroepleden van de TC-I-A subcie 'Hoogtemperatuursolderen'

Auteur: ir. H.H. van der Sluis

Dit rapport is opgesteld namens de werkgroep "Al en Al-legeringen" waarin zitting hebben de heren:

A. Arun-Junai	IPL/TNO	P. Hanenburg	NPB
H.J. Bruggeman	VSC	C.C.J. Kaaschieter	IPL/TNO
W. Brouwer	FOM-A	A.W.M. Peeters	Mamesta
K.M. Broek	ECN	H.H van der Sluis	IPL/TNO
J. Hilderink	Holec		

Oplage 45

Datum: december 1993

Dit rapport is het resultaat van onderzoek uitgevoerd door het IPL/TNO in opdracht van het NIL.

SAMENVATTING

In het kader van het onderzoekprogramma 1991-1993 is een literatuuronderzoek uitgevoerd naar het (vacuüm) solderen van Al- en Al-legeringen met laagsmeltende soldeersoorten. Onder laagsmeltend wordt het verstaan : soldeersoorten met smeltpunten rond 500°C. Een belangrijk voordeel van deze laagsmeltende soldeersoorten is dat een grote groep constructieve Al-legeringen met lage smeltpunten (T_s liggend tussen 540 en 600°C) én aantrekkelijke mechanische of corrosie- bestandheidseigenschappen gesoldeerd kunnen worden. Het literatuuronderzoek is uitgevoerd aan de hand van gegevens uit:

- literatuurartikelen, publikaties
- octrooien
- fabrikanten informatie

Als belangrijkste uitkomst kan het volgende worden gesteld:

- Vacuümsolderen van Al-legeringen kan worden uitgevoerd met solderen op basis van Al-Ge-Si en Al-Ge-Ag systemen.
- Onder beschermgassolderen van Al-legeringen kan worden toegepast met een soldeer op basis van AlCuSiNi-X; dit soldeer is mogelijk ook als vacuümsoldeer toepasbaar.
- Hardsolderen met vloeimiddel van Al-legeringen is mogelijk met soldeersoorten op ZnAl-basis en op basis van AlZnSi (al dan niet met Cu toevoeging)

INHOUD

Samenvatting

1. Inleiding	5
2. Laagsmeltende soldeermaterialen t.b.v. het vacuümsolderen van Al en Al-legeringen	6
3. Laagsmeltende soldeermaterialen t.b.v. het solderen onder beschermgas van Al en Al-legeringen	8
4. Laagsmeltende soldeermaterialen t.b.v. het hardsolderen van Al en Al-legeringen	9
5. Conclusies	11
6. Aanbevelingen	11
7. Literatuurreferenties	12
8. Bijlagen (figuren en tabellen)	15

1 INLEIDING

Aluminium is een moeilijk soldeerbaar materiaal met een laag smeltpunt en een zeer bestendige, hoogsmeltende oxydehuid. Voor het solderen van aluminium worden agressieve vloeimiddelen toegepast die na het solderen moeilijk te verwijderen zijn. De kwaliteit van de verbinding wordt hierdoor nadelig beïnvloed t.g.v. gevaar voor corrosie. Hoogwaardige constructies vervaardigd uit aluminium dienen kwalitatief goede verbindingen te bevatten. Het toepassen van een vloeimiddelvrij proces kan hiertoe bijdragen. VacuÛmsolderen vormt een goed alternatief. Wel dienen dan daartoe geschikte soldeermaterialen en soldeerovens ter beschikking te zijn.

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

Het meest toegepaste soldeer is het B AlSi-4 type met een smeltraject liggend tussen 577 en 582°C en soldeertemperatuur van 582 tot 604°C. Dit type is niet geschikt voor het solderen in vacuÛm vanwege het te lage Mg-gehalte (0,1%); voor het succesvol toepassen als vacuÛmsoldeer dient het AlSi-type soldeer 1-2% Mg te bevatten. Echter, ook deze soldeertypen hebben een (te) hoge soldeertemperatuur zodat het probleem van de temperatuursbeheersing niet is opgelost.

In ontwikkeling zijnde laagsmeltende soldeermaterialen kunnen aan dit probleem tegemoet komen. Dit dient in het literatuuronderzoek te worden vastgesteld. Ook samenstelling en aanbrengwijze van laagsmeltend soldeer zijn naast de voorbehandeling van het aluminium belangrijke parameters in de toepassing van deze soldeersoorten.

Het zal duidelijk zijn dat het kunnen toepassen van laagsmeltende soldeersoorten (smeltemperatuur < 525°C) een aanzienlijke verruiming betekent van het toepassingsgebied van de aluminiumlegeringen. Met name die legeringen die om sterkte- of corrosiebestandheidsredenen zeer aantrekkelijk zijn te worden toegepast in hoogwaardige constructies, maar voor de bestaande soldeersoorten een te laag smeltpunt hebben. Dit geldt des te sterker als de lastechniek ook geen bruikbare alternatieven kan bieden. Een grote groep aluminiumlegeringen komt dan beschikbaar om in constructies te worden toegepast waarin hoogwaardige verbindingen moeten worden gemaakt (zie ook tabellen 1a en 1b).

2 LAAGSMELTENDE SOLDEERMATERIALEN T.B.V. HET VACUÛMSOLDEREN VAN AL EN AL-LEGERINGEN.

In de literatuur worden vele publikaties (2, 4, 6, 10, 30-35) aangetroffen die het vacuÛmsolderen van Al en Al-legeringen beschrijven. Echter in al deze publikaties wordt uitgegaan van een soldeermateriaal met een hoogsmeltende ($T_L=577^\circ\text{C}$) samenstelling op basis van Al en Si. In (11) wordt melding gedaan van onderzoek naar potentiële laagsmeltende soldeermaterialen. Van de onderzochte combinaties Al-Si-In, Al-Si-Y en Al-Si-Ge voldoet alleen de laatstgenoemde: met de samenstelling AlGe60Si5 wordt een soldeer verkregen dat bij 549°C vloeit. Toevoeging van het element Y (en vermoedelijk ook In) moet de bevochtiging verbeteren [16].

In een patent [20] worden soldeersoorten in het AlSiGe systeem vastgelegd terwijl in [16] sprake is van een Al_{67,5}Ge₃₀Si_{2,5} soldeer met een smelttraject liggend tussen $424-520^\circ\text{C}$. Ook in de patenten [22-24] worden samenstellingen genoemd van de systemen Al-Ge en (met Ag in) Al-Ge-Ag met een laag smeltpunt.

In [12] is onderzoek gedaan naar het systeem Al-Ge-Ag; de samenstelling van legeringen met een smeltpunt liggend tussen $415-422^\circ\text{C}$ worden in tabel 2 weergegeven.

Opvallend in deze legeringen zijn de hoge gewichtsgehalten aan de dure metalen Ag en Ge (bijv. Ge kost 2000DM/kg). Een hoog respectievelijk laag Al-gehalte bij een ongeveer gelijk laag Ge-gehalte geeft samenstellingen met smelttrajecten: $412-538^\circ\text{C}$ resp. $419-643^\circ\text{C}$ (zie fig. 1).

Variatie in samenstelling aan de Al-rijke kant leidt niet direct tot grote veranderingen in smeltpunt (zie fig. 2). Röntgenografisch onderzoek toont aan dat de eutectische legering uit α -Al en Ge bestaat met voorts een niet-kubische ζ -fase (Ag_2Al). Voorts vertonen Al en Ge geen roosteruitbuigingen (dus geen substitutioneel mengkristalvorming) terwijl geen zuiver Ag wordt aangetroffen in de structuur. M.a.w. enig bros gedrag van deze eutectische legeringen mag worden verwacht. In [12] wordt desondanks de Ag-Ge-Al-legering voorgesteld als hardsoldeer om o.a. op Al toe te passen.

Het systeem Al-Ge-X, waarbij X = Si of Y werd (en wordt nog steeds) in Duitsland onderzocht om na te gaan of het bruikbare soldeermaterialen kan opleveren. In [13,14] wordt het systeem AlGeSi onderzocht. In de samenstelling AlGe₃₀Si₄ werd dit materiaal als foliesoldeer op AlLi(8090) en AlZn(7475) legeringen toegepast zowel in vacuÛm als in een argonatmosfeer [13]. Solderen werd bij 535°C gedurende 10 min in een vacuÛm van 5×10^{-5} mbar uitgevoerd (Ook 530°C is mogelijk, echter dan dient de soldeertijd 30 min te bedragen daar bij een kortere tijd veel fouten in de naad optraden). Een nadeel is dat het soldeer t.g.v. een sterke Ge-diffusie in de Al-legering zeer erosief is en tot een brede soldeernaad leidt. In het systeem AlGeSi bieden de aanwezigheid van Ge en Si goede mogelijkheden voor de ontwikkeling van een soldeerlegering daar Ge en Si volledig mengbaar zijn, terwijl in evenwichtstoestand slechts 2 fasen optreden: Al-

mengkristal (α) en (Ge, Si)-mengkristal ζ . In niet evenwichtstoestand zijn dit 3 fasen: Al mengkristal(α), Ge en Si. Bovendien zijn smelttemperaturen (T_L) onder de 500°C bereikbaar ondanks dat Ge ($T_L = 938^\circ\text{C}$) en Si hoogsmeltende elementen zijn. De eutectische temperatuur voor Al-Ge neemt met toenemend Si-gehalte toe van 424 tot 578°C [14, 15].

Als veelbelovende systemen worden in [16] ook Al-Cu-Pd en Al-Cu-Ge genoemd; verwacht wordt dat de ternaire smeltpunten van deze legeringen - in bepaalde samenstellingen - lager liggen dan de smeltpunten van de binaire systemen waar de ternaire systemen uit opgebouwd worden. Optimale legeringssamenstellingen worden verwacht door aan de Al-Cu-Pd of Al-Cu-Ge systemen elementen als Mg, Si, Y en Bi toe te voegen (voor Al-Cu-Pd ook Ge).

3 LAAGSMELTENDE SOLDEERMATERIALEN T.B.V. HET SOLDEREN ONDER BESCHERMINGSGAS VAN AL EN AL-LEGERINGEN

Een systeem dat recent in ontwikkeling is als laagsmeltend soldeer is de quartenaire legering AlSiCuNi. In [17, 18, 19] wordt bericht over onderzoek aan het soldeer AlCu₂₀Si₅Ni₂-X waarbij X = smeltpunt dalend element. Het smeltgebied voor dit soldeertype ligt tussen 490-520°C [18] met soldeertemperaturen liggend tussen 500 en 540°C [19]. Een vervaardigingswijze van dit soldeertype is die volgens de 'meltspinning' methode; hierbij wordt een folie verkregen die maximaal 60 mm breed is (dikte van de folie wordt niet vermeld).

Het solderen wordt uitgevoerd in een atmosferische oven die constant op temperatuur (530°C) wordt gehouden. Ter voorkoming van oxydatie wordt een tegenstroom van zuivere N₂ (O₂ < 1 ppm) toegepast (zie figuur. 3). Vooraf worden het basismateriaal en het soldeer gereinigd volgens procédés zoals in figuur 4 wordt aangegeven. Na deze reiniging wordt de soldeerfolie direct voorzien van een elektrochemisch aangebrachte Ni- en Ag-laag. Deze lagen bieden bescherming en voorkomen een te snelle reactie tussen soldeer en basismateriaal tijdens het opwarmen. Zodoende wordt ontmenging van het soldeer t.g.v. diffusie voorkomen. In figuur 5 wordt de afschuifsterkte gegeven voor 5083 en 7475 legering gesoldeerd met een dergelijk soldeerfolie. Door tijdens het solderen (cyclus 530°C - 20 min) de soldeerverbinding aan te drukken met een druk van 2 MPa wordt een 50% (voor 5083) tot 300% (voor 7475) hogere afschuifsterkte verkregen. Het aandrukken tijdens solderen heeft een restporiegehalte tot gevolg van < 1 vol.procent.

In figuur 6 wordt een component bestaande uit 7475-legering gesoldeerd op de boven beschreven wijze getoond. Een doorsnede van een dergelijke 7475 verbinding weliswaar bij 520°C gesoldeerd wordt in figuur 7 gegeven.

De optie van dit soldeertype is dat het ook toepasbaar is als vacuümsoldeer: het restgas dient dan een zeer laag zuurstofgehalte te bevatten (O₂ < 1 ppm).

4 LAAGSMELTENDE SOLDEERMATERIALEN T.B.V. HET HARDSOLDEREN VAN AL EN AL-LEGERINGEN

In [28] wordt melding gedaan van het systeem Al-Zn als soldeerlegering voor het hardsolderen van Al en Al-legeringen. Van het systeem Al-Zn is bekend dat in de samenstelling 95% Zn en 5% Al een soldeer wordt verkregen met een eutectisch smeltpunt van 382°C. Volgens het fasediagram Al-Zn (fig. 8) zijn bij 382°C twee peritekten te verwachten: bij 99% Zn en 1% Al en bij 82,2% Zn en 17,8% Al. Bovendien kan bij 275°C een eutectoïde ontstaan bij 78% Zn en 22% Al. De bij deze temperatuur optredende 4 vaste fasen maken deze Al-Zn combinatie niet erg geschikt als soldeer. Uit mededelingen gedaan op het seminar waarvan [28] de paper is, blijkt het soldeer ZnAl5 toch met succes onder gebruik van een ZnCl₂-vloeimiddel is toegepast; soldeertemperatuur 420 -440°C bij een soldeertijd van 4-15 min. In dit onderzoek worden AlSi-soldeerverbindingen met ZnAl-verbindingen vergeleken. De onderzoekers komen tot de volgende uitspraken ten gunste van het ZnAl-systeem:

- een lagere soldeertemperatuur (420 -440°C t.o.v. 580 -610°C)
- betere sterkte- en hardheidswaarden
- Zn bevordert de corrosieweerstand.

Uit een persoonlijke mededeling [29] blijkt dat twee Al-basissoldeersoorten (als pasta) zijn ontwikkeld:

- AlZn45Si5 met $T_L = 530^\circ\text{C}$
- AlZn40Cu5Si5 met $T_L = 500^\circ\text{C}$

Het probleem bij de laagsmeltende solderen is over een geschikt vloeimiddel te kunnen beschikken; ook [28] rapporteert over dit probleem.

In [7, 8] wordt een groot aantal laagsmeltende Al-basissoldeermaterialen gegeven. Hierbij kunnen onderscheiden worden de AlSi-typen met toevoegingen van Mn, Ni, Fe en Mg; voorts de AlCu-typen met toevoegingen van Fe, Mn, Ni en Si. Een derde groep behoort tot het AlMg-type met toevoegingen van Cu, Si, Fe en Zn. De opgegeven smeltpunten liggen voor:

- AlSi-typen tussen 550 -570°C, zie ook tabel 3
- AlCu-typen tussen 525 -542°C, zie ook tabel 3
- AlMg-typen tussen 444 -505°C, zie ook tabel 3.

Met het systeem Al-Si-Cu zijn samenstellingen te bereiken met een smelttraject tussen 525 en 535°C ($T_{\text{solid}} = 540^\circ\text{C}$). Door toevoegingen van Zn en Mn worden nog lagere smeltemperatures bereikt (zie ook tabel 4).

In [8] worden Al-basisoldeersoorten met lage smeltemperatures gegeven voor de systemen:

Al-Si-Sn (met Cu-, Mn-, Cr-toevoeging)

Al-Si-Ge

Al-Sn-Mg

Al-Cu-Mg

Al-Sn (met Cu-, Mg-toevoeging)

Enkele van deze systemen zoals Al-Si-Sn, Al-Si-Cu en Al-Si-Ge zijn mogelijk ook onder vacuüm of beschermgas toepasbaar. De Mg-houdende typen hebben een te hoog gehalte aan Mg voor vacuümtoeepassingen vanwege te sterke verdamping; ook veroorzaakt Mg een sterke erosie van het moedermateriaal. Deze erosie wordt verminderd en de sterkte wordt verhoogd door toevoeging van elementen als Ni, Ge of Cu [8]; Cu verbetert het vloeï- en spleetvulvermogen. Onder beschermgas- of grofvacuümsolderen kan uitgevoerd worden met soldeer met 4-20% Si en 0,1-10% elementen als Bi, Sr, Ba, Sb, rest Al; ook dan kan sterke erosie optreden. Ter opbouw van een diffusiebarrierelaag wordt dan een Mn-houdend basismateriaal aanbevolen. Echter volgens [10] valt de invloed van bovengenoemde elementen (Bi, Sr, Ba, Sb) op de bevochtiging in vacuüm tegen; uit experimenten bleek dat alleen Sr een positieve invloed had, hetgeen uit thermodynamische berekeningen te verklaren is. In die zin mag ook een goede werking worden verwacht van elementen als Be (giftig!), Sc, Y en zeldzame aarden op de bevochtiging; bovendien verdampen deze elementen niet al te sterk in tegenstelling tot elementen als Mg, Cu, Sr en Li die ook de bevochtiging positief beïnvloeden. In de tabellen 5 en 6 wordt een overzicht gegeven van soldeersoorten die geschikt (kunnen) zijn voor het hardsolderen van Al en (laagsmelende) Al-legeringen.

5 CONCLUSIES

Uit het uitgevoerde literatuuronderzoek blijkt dat voor:

- het vacuümsolderen van Al-legeringen met een laag smeltpunt een aantal soldeermaterialen worden ontwikkeld; het gaat hier om soldeermaterialen van de systemen Al-Ge-Ag en Al-Ge-Si. Een belangrijke beperking voor de toepassing van deze materialen zijn de relatief dure metalen als Ag en Ge.
- het solderen onder beschermgas wordt thans een soldeer ontwikkeld in het systeem Al-Cu-Si-Ni; een samenstelling dat als foliesoldeer beschikbaar komt is het AlCu₂₀Si₅Ni₂-X (X = smeltpuntverlagend element) dat toegepast kan worden op Al-legeringen met een laag smeltpunt (soldeertemperaturen tussen 500 en 540°C). Afhankelijk van het element X zou dit soldeertype ook geschikt zijn voor vacuümsoldeertoepassingen.
- het hardsolderen met vloeimiddel is mogelijk bij temperaturen rond 550°C met AlZn₄₅Si₅ resp. AlZn₄₀Cu₅Si₅; wel dient beschikt te kunnen worden over een bij die temperaturen bruikbaar vloeimiddel. Ook typen op AlCu- en AlMg-basis bieden als soldeer mogelijkheden. Weinig is bekend over de praktische toepasbaarheid van de systemen Al-Si-Cu, Al-Si-Sn, Al-Sn-Mg en Al-Cu-Mg als laagsmeltend soldeermateriaal.

6 AANBEVELINGEN

Het verdient aanbeveling de ontwikkelingen op het gebied van de Al-Ge-Si en Al-Ge-Ag systemen als laagsmeltend soldeer te blijven volgen.

Voorts zal het soldeer AlCu₂₀Si₅Ni₂-X binnenkort commercieel beschikbaar komen, zodat onderzoek naar sterkte- en corrosiegedrag van gesoldeerde verbindingen wordt aanbevolen in het vervolprogramma 1995-1997.

Hardsoldeer op basis van AlZn₄₅Si₅- en AlZn₄₀Cu₅Si₅-soldeer zou onder beschermgas (zuivere N₂) onderzocht kunnen worden op bruikbaarheid zo lang nog geen geschikt vloeimiddel verkrijgbaar is.

INSTITUUT VOOR PRODUKTIE EN LOGISTIEK TNO (IPL)

Afd. Produktietechnologie



ir. H.H. van der Sluis

7 LITERATUURREFERENTIES

- [1] VM44/45 Zacht- en hardsolderen, FME/NIL 1973
- [2] VM82 Hoogtemperatuursolderen FME/NIL 1992
- [3] Aluminum brazing handbook, Aluminium Association Washington 1979
- [4] Aluminum fluxless vacuüm brazing, Aluminium Association Washington
- [5] Soldering manual AWS
- [6] Brazing handbook AWS 4e ed. ISBN0-87171-359-4
- [7] N.F. Lashko - V.S. Lashko - Avakyan
Brazing and soldering of metals, 2nd ed. Israel Program for Scientific Translations Ltd.
- [8] Metallische Lotwerkstoffe W. Müller DVS Verslag, Dusseldorf 1990 ISBN3-87155-125-2
- [9] ASM Handbook, vol2 2e ed. 1992
- [10] J.R. Terill, C.N. Cochran, J.J. Stokes, W.E. Haupin
Understanding the mechanisms of aluminum brazing. Welding Journal dec. 1971 p. 833-839.
- [11] W.J. Werner, G.M. Slaughter, F.B. Gurtner
Development of filler metals and procedures for vacuüm brazing of aluminum, Welding Journal Febr. 1972 p. 64-s - 70-s.
- [12] P.C. Schmidt, A. Weiss
Schmelzverhalten von Ag-Al-Ge-Legierungen nahe der eutektische Mischungen, Metall 32 H9 Sept. 1978 p. 911-913.
- [13] E. Lugscheider, L. Martinez
Löten hochfester Leichtmetall-Legierungen, DVS Berichte 125 Düsseldorf p.123-126.
- [14] E. Lugscheider, B. Kötzing
Untersuchungen in System Al-Ge-Si, DVS Berichte 148 Düsseldorf p. 277-281
- [15] Hui Song, Angus Hellawell
Solidification in the system Al-Ge-Si; the phase diagram, coring patterns, eutectic growth, and modification Metall Transact. A Vol 21A maart 1990 p. 733-740.
- [16] Entwurf Forschungsantrages 'Entwicklung von Lotlegierungen zum Fügen hochfester Aluminiumwerkstoffe in Vakuum AK12 Flussmittefreies Hartlöten von Aluminium'
U.G. V6.1 Hart- und Hochtemperaturlöten, DVS Düsseldorf 1986.
- [17] B. Heine, K.F. Sahn
Einfluss der Vorbehandlung auf die Qualität diffusionsgeschweisster bzw. mit niedrigschmelzendem lot hartgelöteter Al-legierungen, DVS Berichte 148 Düsseldorf p282-284
- [18] B. Heine

- Flussmittelfreies Hartlöten vor in der Luftfahrt verwendeten Aluminiumlegierungen mit niedrigschmelzendem Lot, Schweißen und Schneiden (45) 1993 H.8 p. 429-430
- [19] B. Richards
Low temperature Aluminium Brazes BABS News Spring 1993 p. 5.
- [20] IC Bulletin Filler alloys for fluxless brazing aluminum and aluminum alloys Union Carbide NTN-77/0423
- [21] OS2349966 Füll-Legierungen zum flussmittellose Hartlöten von Aluminium und von Aluminium Legierungen ZIS-Mitteilungen 1/75 p. 105
- [22] Patentschrift DD228196 A1 DDR 09-10-85
Al-Ge-Lötlegierungen und Verfahren zu ihrer Herstellung
- [23] Patentschrift DD228197A1 DDR 09-10-85 Al-Ge-Ag-Lötlegierungen und Verfahren zu ihrer Herstellung
- [24] Patentschrift DD228198A1 DDR 09-10-85 Verfahren zur Herstellung pulverförmiger Grundsubstanzen für Lote aus Al-Ge-Legierungen
- [25] EP0145933 A1 Eur.Pat. Applic.
Low temperature aluminum based brazing alloys
- [26] Q.Y. Zhang
Aluminum brazing process at intermediate temperature Netsu Shori 29 (6) 316-321.
- [27] Grishin V.L., Volchkov A.N. Aldoshnia EV
Special features of the brazing of aluminium-based composite materials Weld. Prod. Vol 26 no 8. Aug. 1979 p.22-24
- [28] B. Wielage, G. Neitz, H. Lange, J. Lebküchner-Neugebauer
Das Löten von Aluminium legerungen in der Industriellen Fertigung, DVS Berichte 132 Düsseldorf p.30-35.
- [29] Mededeling Degussa
- [30] E. Lugscheider, W.J. Quadackers
Flussmittelfreies Vakuumhartlöten von Aluminium Werkstoffen Schweißen und Schneiden 34 (1982) no. 8 p.365-369
- [31] I. Okamoto, T. Takemoto, K. Den
Vacuum Brazing of Aluminium Using Al-12% Si System Filler Alloy Trans. JWRI Vol 5 no. 1 1976 p.97-98.
- [32] Ibid, Trans. JWRI Vol 5 no. 2 p. 127-130
- [33] I. Okamoto, T. Takemoto
Vacuum Brazing of Aluminium (Report I) Trans. JWRI vol. 6 no. 1 1977 p.139-144
- [34] Ibid, Effect of Emery Paper Grinding
Trans. JWRI vol. 7 no. 1 1978 p. 135-141

- [35] I. Okamoto, T. Takemoto
Brazability of Aluminum using Al-Si Filler Alloys with Different Compositions and Microstructures Trans. JWRI Vol. 10 no. 2 1981, p.35-43.
- [36] VM 11 Lassen en hardsolderen van Al en Al-legeringen NIL/FME 1979.

8 BIJLAGE

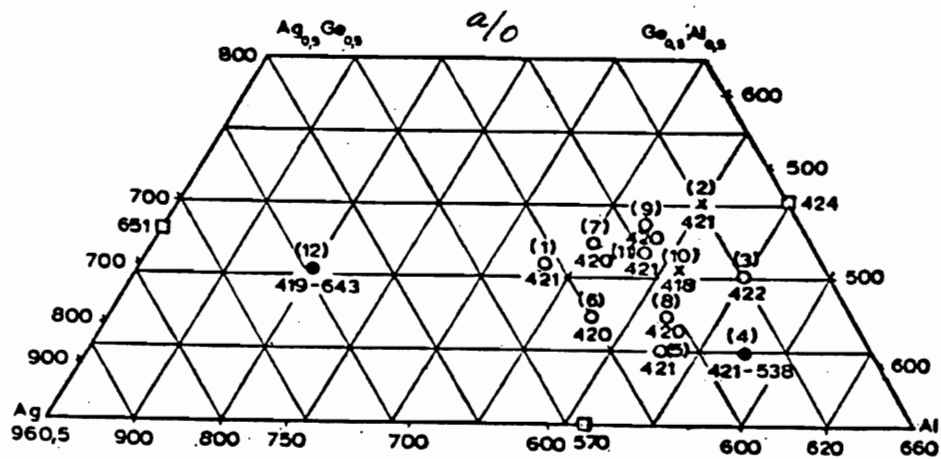


Fig. 1: Ternair diagram van het systeem Ag-Al-Ge. In het diagram zijn de legeringen aangegeven die vermeld worden in tabel 2; tevens zijn daarin de smelttemperaturen aangegeven. De open cirkels (o) stellen legeringen voor met een nagenoeg homogeen smeltgedrag; de gesloten cirkels (●) zijn legeringen die heterogeen smelten. De vierkanten (□) geven binaire eutectische samenstellingen aan. [12]

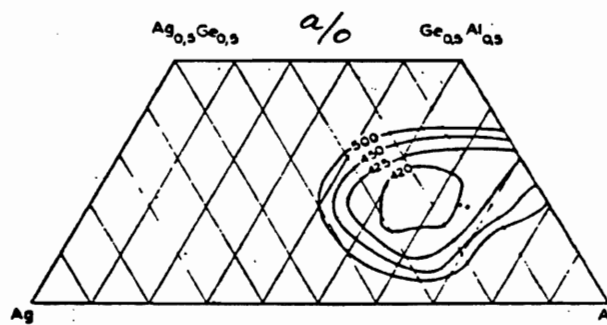


Fig. 2: Ternair diagram van het systeem Ag-Al-Ge waarin aangegeven worden de lijnen met de diverse smelttemperaturen T_M voor $T_M = 500, 450, 425$ en 420°C [12]

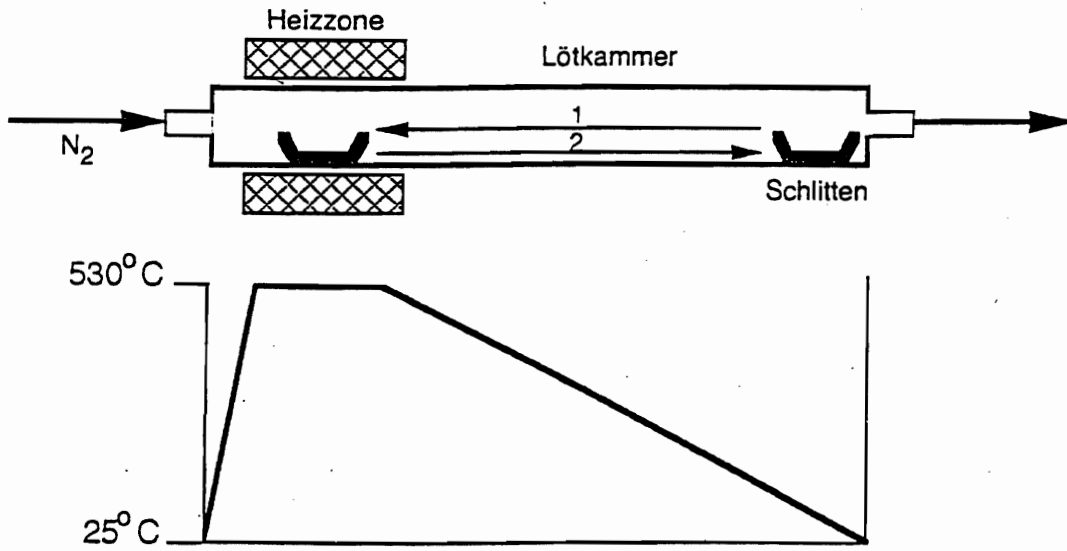


Fig. 3: Horizontale buisoven met N_2 -spoeling (99.999 N_2) [18]

Grundwerkstoff	Lot
NaOH 5%, 55 C, 60 sec	NaOH 5%, 55 C, 15 sec
H2O dest., 25 C, 60 sec	H2O dest., 25 C, 60 sec
HNO3 7%, 25 C, 60 sec	HNO3 7%, 25 C, 15 sec
H2O dest., 25 C, 60 sec	H2O dest., 25 C, 60 sec
Ethanol, 25 C, 60 sec	Ethanol, 25 C, 60 sec
Trocknen mit Fön	Trocknen mit Fön
	Galvanisches Vernickeln
	H2O dest., 25 C, 60 sec
	Galvanisches Versilbern
	H2O dest., 25 C, 60 sec
	Trocknen mit Fön
Trockenschrank, 60C, 6 min	Trocknen mit Fön

Fig. 4: Voorbehandeling van basismateriaal en soldeer [18]

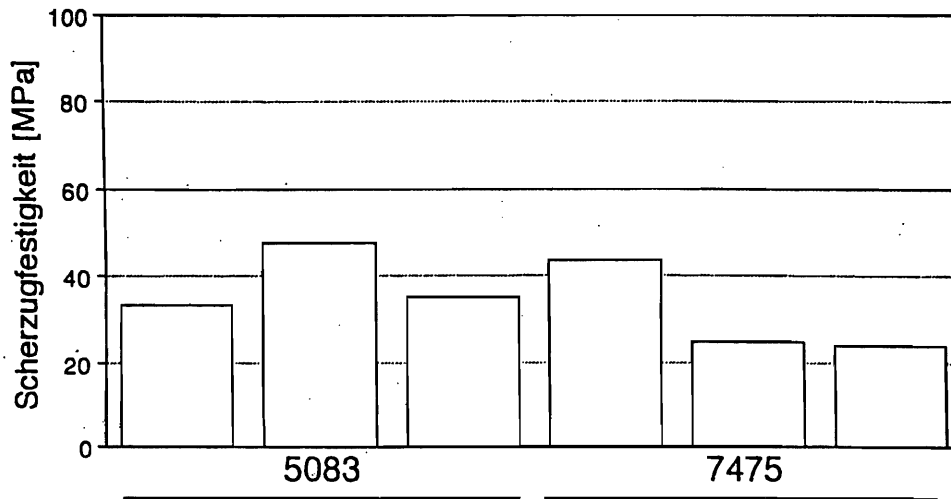


Fig. 5a: Afschuifsterkte bij kamertemperatuur voor 5083- en 7475-soldeerverbindingen; soldeertemperatuur 530°C/soldeertijd 20 min (zonder aandrukken) [18]
 5083: Al4,1Mg0,6Mn, 7475: Al5,7Zn2,3Mg1,8Cu

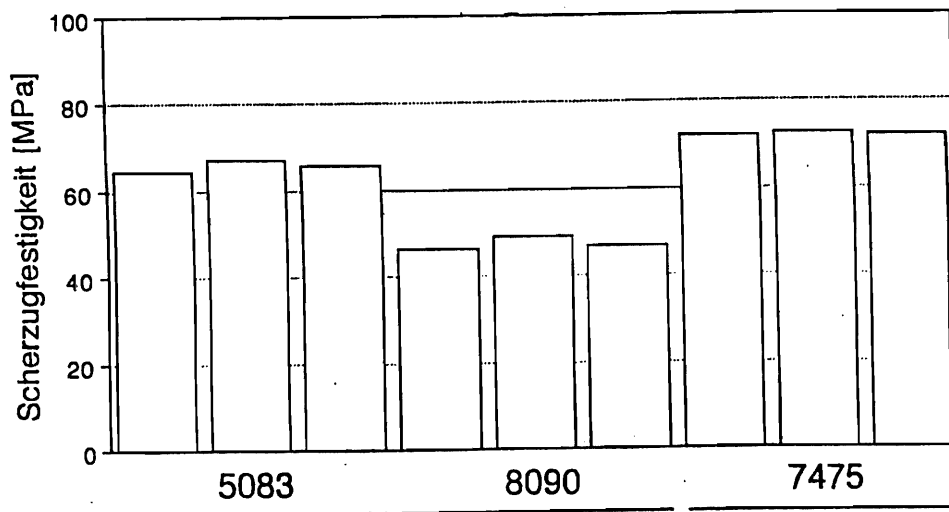


Fig. 5b: Afschuifsterkte bij kamertemperatuur voor 5083-, 8090- en 7475 soldeerverbindingen; soldeertemperatuur 530°C/soldeertijd 20 min (met aandrukken) [18]
 8090: Al2,5Li,1,3Cu0,8Mg

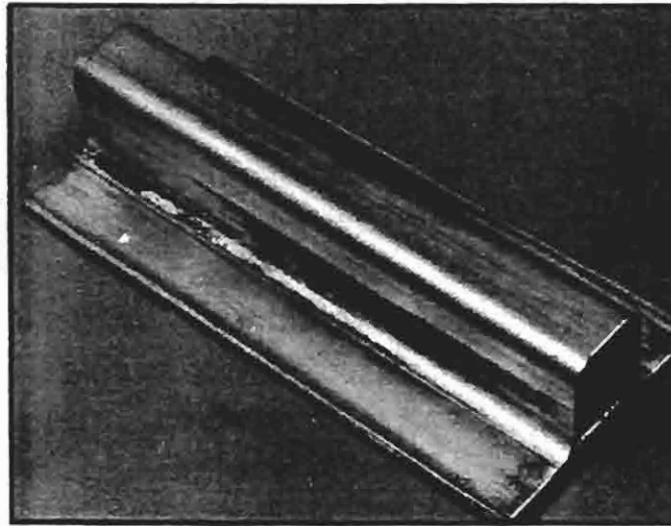


Fig. 6: Voorbeeld van een gesoldeerde component vervaardigd van Al5,7Zn2,3Mg1,8Cu-plaat [18]

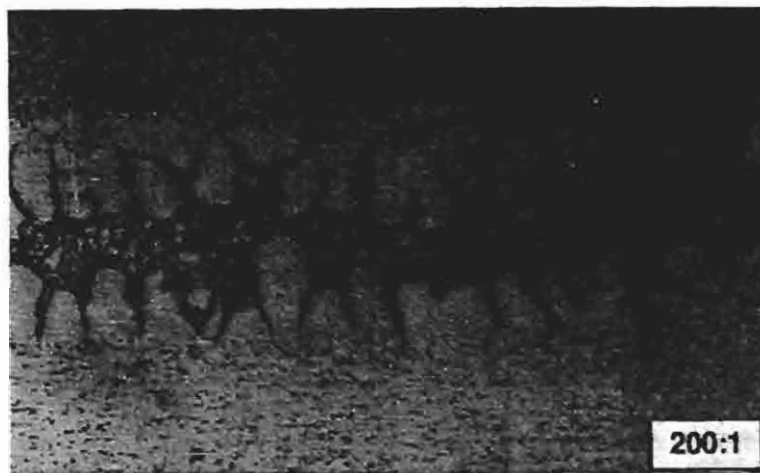


Fig. 7: Microstructuur van een bij 520°C gesoldeerde Al5,7Zn2,3Mg1,8Cu (7475)-verbinding [17]

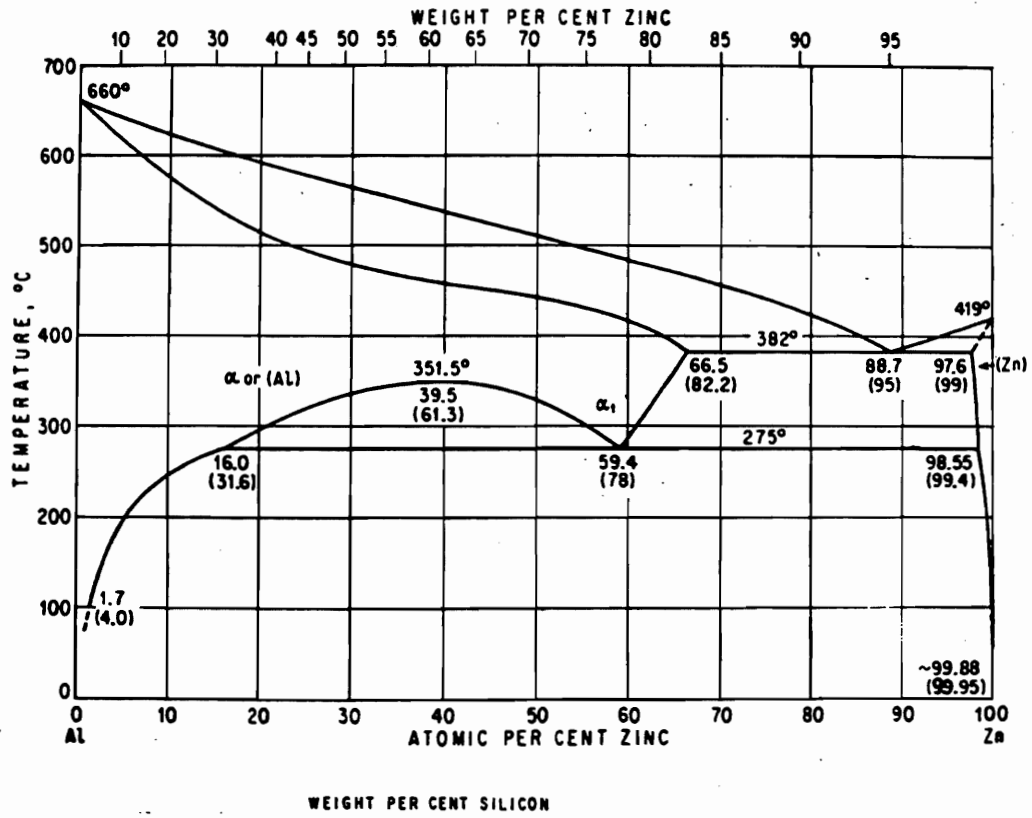


Fig. 8: Binair fasendiagram van het systeem AlZn [28]

Tabel 1a: Overzicht van Al-legeringssoorten (met ISO-codering) [9]

Type volgens AA-classificatie	ISO-codering	Smelt-traject (°C) T_S-T_L	T_S <600 °C	T_S <550 °C	T_S <525 °C	T_S <500 °C
1050	Al99,5	645-655				
1060	Al99,6	645-655				
1100	Al99,0Cu	643-655				
1350	E-Al99,5	645-655				
2011	AlCu6BiPb	540-643	x	x		
2014	AlCu4SiMg	507-638	x	x	x	
2017	AlCu4MgSi	513-640	x	x	x	
2024	AlCu4Mg1	500-638	x	x	x	
2090	AlCu2,7Li2,3	560-650	x			
2091	AlCu2,2Li2Mg1,5	560-670	x			
2117	AlCu2,5Mg	555-650	x			
2219	AlCu6Mn	543-643	x	x		
3003	AlMn1Cu	643-655				
3004	AlMn1Mg	630-655				
3005	AlMn1Mg0,5	638-655				
3105	AlMn0,5Mg0,5	635-655				
4043	AlSi5	575-632	x			
5005	AlMg1	632-655				
5050	AlMg1,5	625-650				
5052	AlMg2,5	607-650				
5056	AlMg5Cr	568-638	x			

Type volgens AA-classificatie	ISO-codering	Smelt-traject (°C) T_S-T_L	T_S <600 °C	T_S <550 °C	T_S <525 °C	T_S <500 °C
5083	AlMg4,5Mn0,7	590-638	x			
5086	AlMg4	585-640	x			
5154	AlMg3,5	593-643	x			
5356	AlMg5Cr	570-635	x			
5454	AlMg3Mn	600-645				
5456	AlMg5Mn	568-638	x			
6005	AlSiMg	610-655				
6053	AlMg1,3Si	575-650	x			
6061	AlMg1SiCu	580-650	x			
6063	AlMg0,7Si	615-655				
6101	E-AlMgSi	620-655				
6262	AlMg1SiPb	580-650	x			
6351	AlSi1Mg0,5Mn	555-650	x			
6951	AlMg0,6Si0,35Cu0,3	615-655				
7005	AlZn4,5Mg1,5Mn	607-646				
7049	AlZn8MgCu	475-635	x	x	x	x
7050	AlZn6MgCuZr	490-630	x	x	x	x
7072	AlZn1MgCuMn	640-655				
7075	AlZn5,5MgCu	475-635	x	x	x	x
7178	AlZn7MgCu	475-630	x	x	x	x
8090	AlLi2,5Cu1,3Mg1	600-655				

Tabel 1b: Overzicht van Al-legeringssoorten (zonder bekende ISO-codering) [9]

Type volgens AA- classificatie	Smelt- traject (°C) T_S-T_L	T_s <600 °C	T_s <550 °C	T_s <525 °C	T_s <500 °C
2018	507-638	x	x	x	
2025	520-640	x	x	x	
2036	555-650	x			
2124	500-638	x	x	x	
2218	505-635	x	x	x	
2618	550-638	x			
4032	532-570	x	x		
4045	575-600	x			
4343	577-613	x			
5252	607-650				
5254	593-643	x			
5457	630-655				
5652	607-650				
5657	638-657				
6066	565-645	x			
6070	565-650	x			
6105	600-650				
6151	590-650				
6201	607-655				
6253	600-650				
6463	615-655				

Type volgens AA-classificatie	Smelt-traject (°C) T_s-T_L	T_s <600 °C	T_s <550 °C	T_s <525 °C	T_s <500 °C
8017	645-655				
8030	645-655				
8176	645-655				

Tabel 2: Diverse samenstellingen in het Al-Ge-Ag-systeem [12]

Nr.	Ag (gew.%)	Ge (gew.%)	Al (gew.%)	T_s-T_L (°C)
1	54,5	25,3	20,2	421
2	22,1	44,7	33,2	421
3	22,4	32,8	42,8	422
4	37,0	16,6	46,4	421-538
5	52,1	13,9	34,0	420
6	55,7	18,7	25,6	420
7	45,3	31,2	23,5	420
8	45,8	20,4	33,8	420
9	35,5	36,9	27,6	420
10	36,7	30,2	33,1	418
11	39,3	31,9	28,8	421
12	75,5	18,1	6,4	419-643
13	35,8	30,0	34,2	414,5

Composition of eutectic, %								Melting point, °C
Al	Si	Cu	Mg	Ni	Mn	Fe	Zn	
86.8	12	—	—	—	1.2	—	—	570
84.3	11.8	—	—	3.9	—	—	—	568
87.0	12.5	—	—	—	—	0.5	—	557
82.06	12.97	—	4.97	—	—	—	—	550
67.2	—	32.5	—	—	—	0.3	—	542
67.4	—	29.6	—	—	3	—	—	538
68.9	—	28.6	—	2.5	—	—	—	532
63.5	5	31.5	—	—	—	—	—	525
66	—	1	33	—	—	—	—	449
65.25	0.75	—	34	—	—	—	—	448
65.5	—	1.5	33	—	—	—	—	445
71.25	—	—	26.5	—	—	2.25	—	437
43.6	—	—	26.4	—	—	—	30	478
43	—	—	43	—	—	—	14	448
63.1	—	29.7	7.2	—	—	—	—	501
65.5	—	1.5	33	—	—	—	—	445
64.8	4	28.1	3.1	—	—	—	—	501
62.8	0.45	29.6	7.15	—	—	—	—	505
65.3	0.3	1.5	32.9	—	—	—	—	444

Tabel 3a: Al-soldeersoorten met een eutectisch smeltpunt [7]

Composition of solder, %							Temperature °C		
Cd	Al	Si	Cu	Zn	Mn	Sn	Solidus	Liquidus	Soldering
—	67.5—64.5	5.5—6.5	27—29	—	—	—	525	535	540
—	52.2	3.5	20	24	0.3	—	—	470	495—505
—	51.2	3.5	25	20	0.3	—	—	480	495—505
—	61.2	3.5	20	15	0.3	—	—	500	500—530
15	63	7	10	—	—	5	—	550	570—600
—	80—76	7—9	13—15	—	—	—	525	540	—
—	72.5—71	7.5—8	20—21	—	—	—	525	537	—

Tabel 3b: Al-soldeersoorten met een smeltraject en soldeertemperatuurgebied [7]

Zusammensetzung %				T_{Sch} °C	
Al	Si	Sn	andere	T_{So}	T_{Li}
Rest	0,3...10	30...35	10...20 Cu	400	460
Rest	0,5...14	0,5...55	0,5...22 Cu; 0,05...1 Cr	400	540
Rest	3,5	—	36 Ge	422	486
66,5	5,5	—	28 Ge	440	460
63	—	26,5	10,5 Mg	450	500
64,3	—	—	28,6 Cu; 7,1 Mg	450	500
68,2	—	—	27,3 Cu; 4,5 Mg	450	500
78,5	—	11,5	5 Cu; 5 Mg	450	500
Rest	4	—	34 Ge	455	485
64,5	4,5	—	31 Ge	460	480
Rest	1...5	7...16	15...22 Cu	480	560
Rest	3,5	25	20 Cu; 1,5 Mn	490	500
Rest	10	13,5	—	520	560
Rest	6	—	28 Cu	525	525

Tabel 4: Al-soldeersoorten met een smeltraject [8]

Tabel 5: Overzicht laagsmeltende hardsoldeersoorten [7, 8]

Samenstelling	T _L (°C)	Samenstelling	T _L (°C)	T _{solid} (°C)
AlAg23Ge33	422	AlCu28,6Mg7,1	500	
AlGe55	424	AlZn40Cu5Si5	500	
AlMg26,5Fe2,25	437	AlCu29,7Mg7,2	501	
AlMg32,9Cu1,5Si0,3	444	AlCu28Mg3Si4	505	
AlMg33Cu1,5	445	AlCu29,6Mg7,15Si0,45	505	
AlMg43Zn14	448	AlCu28,1Mg3,1Si4	505	
AlMg34Si0,75	448	AlGe35Si3	509	
AlMg33Cu1	449	AlCu20Si5Ni2	520	
AlMg35	450	AlGe30Si4	521	535
AlSn30-35Cu10-20Si0,2-10	460	AlGe30Si5	523	
AlGe28Si5,5	460	AlCu29Si5,2	525	
AlCu20Zn24Si3,5Mn0,3	470	AlCu26Si6,5	525	
AlMg26Zn30	478	AlCu31,5Si5	525	
AlZn20Cu25Si3,5	480	AlZn45Si5	530	
AlZn10Cu20Si3,5Mn0,3	480	AlCu28,6Ni2,5	532	
AlGe40Si4	484	AlCu28Si6	535	
AlGe34Si4	485	AlCu20,5Si7,75	537	
AlGe36Si3,5	486	AlGe30Si2	540	
AlZn15Cu20Si3,5Mn0,3	500	AlGe16Si8	548	
AlSn26,5Mg10,5	500	AlCu33	548	
AlSn11,5Cu5Mg5	500	AlGe40Si5	-	549
AlSn21Cu20Si3,5Mn1,5	500	AlGe50Si5	-	549
AlCu27,3Mg4,5	500	AlGe60Si5	-	549

Tabel 6: Combinatie soldeermateriaal - werkstukmateriaal [36]

