

Zacht- en hardsolderen

vm 126

VWM

Zacht- en hardsolderen

vm 126



Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
Telefoon: (079) 353 11 00
Telefax: (079) 353 13 65
E-mail: info@fme.nl
Internet: www.fme.nl

© Vereniging FME-CWM/december 2008

Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
afdeling Technologie en Innovatie
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon: 079 - 353 11 00
telefax: 079 - 353 13 65
e-mail: info@fme.nl
internet: www.fme.nl

Zacht- en hardsolderen

toelichting

Voor u ligt de voorlichtingspublicatie "Zacht- en hardsolderen". Deze voorlichtingspublicatie is bedoeld voor allen die te maken hebben of te maken krijgen met de techniek van solderen. Daarbij moet worden gedacht aan bijvoorbeeld constructeurs, ontwerpers, lastechnici, werkvoorbereiders, enzovoorts.

Deze voorlichtingspublicatie is een update van een tweetal bestaande voorlichtingspublicaties, te weten:

- VM 44: "Hard- en zachtsolderen 1 - Algemeen" (1974) en
- VM 45: "Hard- en zachtsolderen 2 - het solderen van metalen en keramiek" (1974);

Deze publicaties zijn indertijd opgesteld door commissie VC-VIII van het NIL in samenwerking met de FME.

De update was noodzakelijk, daar zich in de afgelopen jaren een groot aantal belangrijke ontwikkelingen heeft voorgedaan op het gebied van soldeertechnieken.

Het Materials Innovation Institute (M2i), voorheen opererend als het NIMR (Netherlands Institute of Metals Research) heeft geld ter beschikking gesteld om deze nieuwe publicatie te laten opstellen en aan te passen aan de stand der techniek. De FME heeft de coördinatie daarvan op zich genomen en voor de aanpassing van de inhoud van deze voorlichtingspublicatie het NIL ingeschakeld.

samengesteld door

Ing. H.H. van der Sluis (adviseur NIL).

Als co-lezers hebben opgetreden ing. Th. de Haan (Corus RD&T) en ing. J. v.d. Sanden (SKF-MDC), terwijl ir. E. Brom (Mat-Tech) en G. Groenendijk (HoekLoos) eveneens een wezenlijke bijdrage hebben geleverd aan de totstandkoming van deze voorlichtingspublicatie.

technische informatie

Nederlands Instituut voor Lastechniek

- bezoekadres Boerhaavelaan 40, Zoetermeer
- correspondentie-adres Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER
- telefoon 088 - 400 85 60
- telefax 079 - 3531 11 78
- e-mail info@nil.nl
- website www.nil.nl

informatie over en bestelling van VM-publicaties, Praktijkaanbevelingen en Tech-Info bladen

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

- bezoekadres Boerhaavelaan 40, Zoetermeer
- correspondentie-adres Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER
- telefoon 079 - 353 11 00 / 353 13 41
- telefax 079 - 353 13 65
- e-mail info@fme.nl
- website www.fme.nl

Inhoud

1 Algemeen	7	5 Constructieve aspecten (naadvormen)	40
1.1 Inleiding	7	5.1 Inleiding	40
1.1.1 Zacht-, hard-, hoogtemperatuur- en lassolderen	7	5.2 Soldeerconstructies	40
1.1.2 Bevochtiging	7	5.3 Spleetafmetingen	43
1.1.3 Invloedsfactoren	7	5.3.1 Rekenvoorbeeld	44
1.1.4 Vloeimiddel en beschermende atmosfeer	8	5.3.2 Aanbevolen spleetbreedten	44
1.1.5 Vergelijking met smeltlassen	8	5.4 Oppervlaktegesteldheid	44
1.1.6 Toepassingsgebied	8	5.5 Ontwerp van soldeerverbindingen	44
1.2 Overzicht en verklaring van gebruikte termen bij het solderen	9	6 Kwaliteitsbeheersing	45
2 Soldeermethoden	12	6.1 Kwalificatie van de soldeerprocedure	45
2.1 Inleiding	12	6.2 Controle op de naleving	45
2.2 Overwegingen bij de keuze van de soldeermethode	12	6.3 Keuring	45
2.2.1 Technische factoren	12	6.3.1 Destructieve onderzoekmethoden	46
2.2.2 Economische factoren	13	6.3.2 Niet-destructieve onderzoekmethoden	46
2.3 Indeling van de soldeermethoden	13	7 Veiligheid, gezondheid en milieu	48
2.3.1 Solderen met de bout	15	7.1 Veiligheid	48
2.3.2 Solderen met de vlam	15	7.2 Gezondheid	48
2.3.3 Solderen in ovens	16	7.3 Milieu	49
2.3.3.1 Algemeen	16	8 Koper en koperlegeringen	51
2.3.3.2 Solderen in beheerste atmosfeer	16	8.1 Inleiding	51
2.3.4 Inductiefsolderen	19	8.2 Materiaalcombinaties	51
2.3.5 Weerstandsolderen	21	8.3 Eigenschappen	51
2.3.6 Dompelsolderen	22	8.3.1 Fysische eigenschappen	51
2.3.7 Bijzondere dompelsoldeermethoden	23	8.3.2 Chemische eigenschappen	51
2.3.7.1 Automatisering van het dompelsolderen	23	8.3.3 Metallurgische eigenschappen	51
2.3.7.2 Sleepsolderen	23	8.4 Voorbewerking	52
2.3.7.3 Golfsolderen	23	8.4.1 Naadvormen	52
2.3.8 Ultrasoon solderen	24	8.4.2 Voorbehandeling van de oppervlakken	52
2.3.9 Bijzondere verwarmingsmethoden	24	8.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	52
3 Soldeersoorten	26	8.6 Soldeermethoden	52
3.1 Inleiding	26	8.6.1 Soldeerprocedure	52
3.2 Zachtsoldeersoorten	26	8.7 Nabehandeling en controle	54
3.2.1 Loodhoudend tinsoldeer	26	9 Nikkel en nikkellegeringen	56
3.2.2 Loodvrij tinsoldeer	28	9.1 Inleiding	56
3.2.3 Tinantimoonsoldeer	28	9.2 Materiaalcombinaties	56
3.2.4 Tinbismutsoldeer	28	9.3 Eigenschappen	56
3.2.5 Tinzilveroldeer	28	9.3.1 Fysische eigenschappen	56
3.2.6 Tinkopersoldeer	28	9.3.2 Metallurgische eigenschappen	57
3.2.7 Tinzinksoldeer	28	9.4 Voorbewerking	57
3.3 Hardsoldeersoorten	28	9.4.1 Naadvormen	57
3.3.1 Aluminiumhardsoldeer	30	9.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	57
3.3.2 Zilverhardsoldeer	30	9.5.1 Soldeer	57
3.3.3 Koperfosforhardsoldeer	30	9.5.2 Vloeimiddel	58
3.3.4 Koperhardsoldeer	30	9.5.3 Beheerste atmosfeer	58
3.3.5 Koperzinkhardsoldeer	30	9.6 Soldeermethoden	58
3.3.6 Nikkel- en kobalthardsoldeer	30	9.6.1 Soldeerprocedure	58
3.3.7 Palladiurnhardsoldeer	30	9.7 Nabehandeling en controle	58
3.3.8 Goudhardsoldeer	30	10 Aluminium en aluminiumlegeringen	59
4 Vloeimiddelen	35	10.1 Inleiding	59
4.1 Inleiding	35	10.2 Materiaalcombinaties	60
4.2 Vloeimiddelen voor het zachtsolderen	35	10.3 Eigenschappen	60
4.2.1 Typen vloeimiddelen	35	10.3.1 Zachtsolderen	60
4.2.2 Keuze van het vloeimiddel	37	10.3.2 Hardsolderen	60
4.3 Vloeimiddelen voor het hardsolderen	38	10.3.3 Plateren, cladden	60
4.3.1 Typen vloeimiddelen	38	10.4 Voorbewerking	60
4.3.2 Keuze van het vloeimiddel	38	10.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	60
4.4 Verwijderen van vloeimiddelresten	38	10.5.1 Zachtsolderen	60
4.4.1 Zachtsoldeervloeimiddelen	38	10.5.2 Hardsolderen	61
4.4.2 Hardsoldeervloeimiddelen	38	10.6 Soldeermethoden	61
4.4.3 Nabehandelingen	38	10.6.1 Zachtsolderen	61
		10.6.2 Hardsolderen	61
		10.7 Nabehandeling en controle	63

11 Titaan en titaanlegeringen	64	15 Hardmetaal	76
11.1 Inleiding	64	15.1 Inleiding	76
11.2 Materiaalcombinaties	64	15.2 Materiaalcombinaties en eigenschappen	76
11.3 Eigenschappen	64	15.3 Eigenschappen	77
11.3.1 Zachtsolderen	64	15.4 Voorbewerking	77
11.3.2 Hardsolderen	64	15.4.1 Naadvormen	77
11.4 Voorbewerking	64	15.4.2 Voorbehandeling van de oppervlakken	77
11.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	64	15.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	77
11.5.1 Zachtsolderen	64	15.6 Soldeermethoden	78
11.5.2 Hardsolderen	64	15.7 Algemene richtlijnen	78
11.6 Soldeermethoden en nabehandeling	64	15.8 Nabehandeling en controle	78
12 Roestvast staal	66	16 Keramiek	79
12.1 Inleiding	66	16.1 Inleiding	79
12.2 Materiaalcombinaties	66	16.2 Materiaalcombinaties en eigenschappen	79
12.3 Eigenschappen	66	16.3 Voorbewerking	79
12.3.1 Fysische en mechanische eigenschappen	66	16.4 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	80
12.3.2 Chemische eigenschappen	67	16.5 Soldeermethoden	80
12.3.3 Metallurgische eigenschappen	67	16.6 Nabehandeling en controle	80
12.4 Voorbewerking	68	17 Andere hoogsmeeltende metalen	81
12.4.1 Naadvormen	68	17.1 Inleiding	81
12.4.2 Voorbehandeling van de oppervlakken	68	17.2 Molybdeen	81
12.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	68	17.2.1 Eigenschappen	81
12.5.1 Soldeer	68	17.2.2 Voorbewerking	81
12.5.2 Vloeimiddelen	69	17.2.3 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	81
12.5.3 Beheerste atmosfeer	69	17.2.4 Soldeermethoden	81
12.6 Soldeermethoden	69	17.3 Tantaal	81
12.6.1 Uitvoering soldeercyclus	69	17.3.1 Eigenschappen	81
12.7 Nabehandeling en controle	69	17.3.2 Voorbewerking	81
13 Gietijzer	70	17.3.3 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	81
13.1 Inleiding	70	17.3.4 Soldeermethoden	81
13.1.1 Toepassingen	70	18 Referenties	82
13.2 Materiaalcombinaties	70	Trefwoordenregister	84
13.3 Eigenschappen	71		
13.3.1 Fysische eigenschappen	71		
13.3.2 Chemische eigenschappen	71		
13.3.3 Metallurgische eigenschappen	71		
13.4 Voorbewerking	71		
13.4.1 Naadvormen	71		
13.4.2 Voorbehandeling van de oppervlakken	71		
13.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	71		
13.5.1 Soldeer	71		
13.5.2 Vloeimiddelen	72		
13.5.3 Beheerste atmosfeer	72		
13.6 Soldeermethoden	72		
13.6.1 Uitvoering soldeercyclus	72		
13.7 Nabehandeling en controle	72		
14 Koolstofstaal	73		
14.1 Inleiding	73		
14.1.1 Toepassingen	73		
14.2 Materiaalcombinaties	73		
14.3 Eigenschappen	73		
14.4 Voorbewerking	73		
14.5 Soldeermethoden	74		
14.6 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer	75		
14.7 Nabehandeling en controle	75		

Hoofdstuk 1

Algemeen

1.1 Inleiding

Solderen is een werkwijze waarbij zowel metalen als niet-metalen (bijv. keramiek en grafiet) worden verbonden door middel van een toevoegmetaal (soldeer), dat een lagere smelttemperatuur heeft dan die van de te verbinden metalen of niet-metalen. Het toevoegmetaal (soldeer) dient in gesmolten toestand het werkstukoppervlak te bevochtigen en hierop te hechten bij het stollen. Het werkstukmateriaal wordt niet tot smelten gebracht; wel zullen componenten uit het toevoegmetaal (soldeer) en die uit het werkstukmateriaal op het contactvlak soldeer-werkstuk met elkaar legeren of intermetallische verbindingen vormen.

1.1.1 Zacht-, hard-, hoogtemperatuur- en lassolderen

Solderen wordt onderscheiden in zacht-, hard-, hoogtemperatuur- en lassolderen.

Bij *zachtsolderen* heeft het toevoegmetaal (soldeer) een smeltpunt lager dan 450 °C.

Bij *hardsolderen* heeft het toevoegmetaal (soldeer) een smeltpunt hoger dan 450 °C en vult het gesmolten toevoegmetaal vult in het algemeen door capillaire werking de spleetvormige ruimte tussen de oppervlakken van de te verbinden metalen.

Bij *hoogtemperatuursolderen*, dat een variant is van hardsolderen, heeft het toevoegmetaal (soldeer) eveneens een hoger smeltpunt dan 450 °C en vult het gesmolten toevoegmetaal door capillaire werking de spleetvormige ruimte tussen de oppervlakken van de te verbinden metalen. Hoogtemperatuursolderen wordt in het algemeen uitgevoerd boven 800 °C in een beheerste atmosfeer (dit kan zijn een reducerend of inert gas of vacuüm) zonder dat een vloeimiddel wordt gebruikt.

Bij *lassolderen* heeft het toevoegmetaal (soldeer) een smeltpunt hoger dan 450 °C; de toegepaste naadvorm en de techniek komen overeen met die voor autogeen (= met de vlam) lassen of processen als TIG-, MIG- of laserlassen.

1.1.2 Bevochtiging

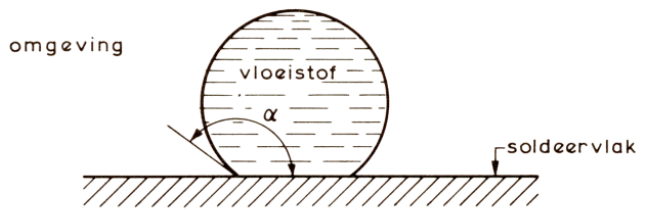
Het soldeer dient het werkstukmateriaal te *bevochtigen*. Dit is een wisselwerking tussen het gesmolten soldeer en het werkstukmateriaal, dat een voldoende hoge temperatuur bezit, waardoor het soldeer in staat wordt gesteld uit te vloeien op het werkstukmateriaal. Het *uitvloeien* van het soldeer kan worden beoordeeld naar de vorm van de begrenzing van de vloeistoffilm (zie figuur 1.1).

De bevochtigingshoek (α) is een maat voor het bevochtigend vermogen. Hoe groter de bevochtigingshoek, des te slechter is de bevochtiging en omgekeerd hoe kleiner de hoek des te beter is het bevochtigen.

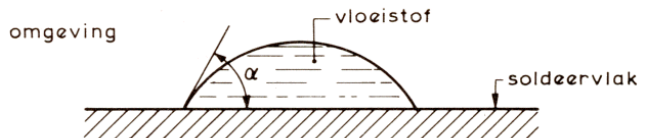
Als voorbeeld van slecht bevochtigen kan het gedrag van een druppel kwik op een glasplaat dienen (bevochtigingshoek 180°).

Het gedrag van een druppel vloeistof op een materiaaloppervlak wordt bepaald door het thermodynamisch evenwicht, dat met een vector-diagram kan worden weergegeven (figuur 1.2). Dit vector-diagram is ook van toepassing op een druppel soldeer dat zich op een metaaloppervlak bevindt.

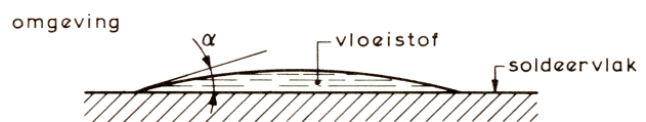
In het punt A van dit driefasige systeem (bestaande uit werkstuk, vloeibaar soldeer en omgeving) ontstaat een



slecht : b.v. waterdruppel op een vet oppervlak



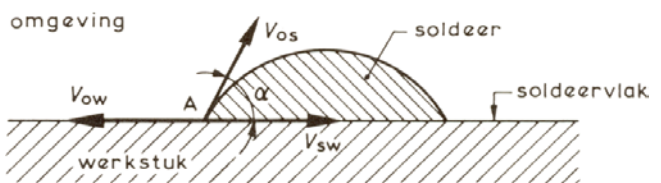
matig : b.v. druppel op een schoon oppervlak



goed : druppel op een voorbehandeld oppervlak

kleinere hoek α betekent betere bevochtiging

figuur 1.1 Bevochtiging



V_{os} = oppervlakspanning omgeving/vloeibaar soldeer

V_{ow} = oppervlakspanning omgeving/werkstuk

V_{sw} = grensvlakspanning vloeibaar soldeer/werkstuk

figuur 1.2 Vectordiagram van bevochtiging

evenwicht, dat wordt beheerst door drie spanningstoestanden. Het evenwicht is bereikt wanneer:

$$V_{ow} = V_{sw} + V_{os} \cdot \cos \alpha$$

Hierin is V_{ow} de kracht die het soldeer over het werkstuk verspreidt. Om een goede *hechting* te verkrijgen tussen soldeer en werkstukmetaal moet één van de componenten van het toevoegmetaal in staat zijn een legering of een intermetallische verbinding te vormen met een hoofdcomponent van het werkstukmetaal. Hierbij dient te worden opgemerkt, dat ten gevolge hiervan de samenstelling van het toevoegmetaal zich tijdens het soldeerproces kan wijzigen, waardoor de bevochtiging en het uitvloeien kan worden beïnvloed.

1.1.3 Invloedsfactoren

Enkele factoren die van invloed zijn op het uitvloeien van het soldeer over het werkstukoppervlak zijn:

- ▶ de toestand van het werkstukoppervlak;
- ▶ de soldeertemperatuur;
- ▶ de soldeertijd.

WERKSTUKOPPERVLAK

Het *werkstukoppervlak* moet schoon zijn en vrij van oxiden, aangezien beide het uitvloeien belemmeren en er dan sprake is van een slechte bevochtiging.

Verder is de ruwheid van het werkstukoppervlak van invloed. Over een (bij voorkeur in de vloeirichting) licht geruwd oppervlak vloeit het soldeer beter uit dan over een glad gepolijst oppervlak.

Dit komt doordat de oppervlaksgroefjes kleine capillairen vormen, die het uitvloeien versterken. Uit mechanische beproevingen is bovendien gebleken, dat de sterkte (hechting) van soldeerverbindingen van licht geruwde oppervlakken meestal hoger is dan van gepolijste oppervlakken vanwege vergroting van het hechtoppervlak.

SOLDEERTIJD EN SOLDEERTEMPERATUUR

De *soldeertijd* en de *soldeertemperatuur* zijn twee invloedsfactoren waartussen een wisselwerking bestaat. De soldeertijd is bepalend voor de mate waarin bij een bepaalde temperatuur de evenwichtstoestand wordt benaderd.

Naarmate bij hogere temperatuur wordt gesoldeerd, zal de evenwichtstoestand sneller worden bereikt, aangezien de uitvloeisnelheid toeneemt met de temperatuur. In de praktijk van het solderen zal vrijwel nooit een evenwichtstoestand worden bereikt, d.w.z. dat het soldeerproces voordat deze toestand wordt bereikt, wordt onderbroken en het afkoelen wordt ingezet. Bij een voor elk systeem karakteristieke temperatuur, de "kritische temperatuur", treedt een plotselinge verhoging van de uitvloeisnelheid op.

De soldeertemperatuur kan echter niet willekeurig hoog worden gekozen. De maximale soldeertemperatuur is die, waarboven schade wordt toegebracht aan het toevoegmetaal, het werkstuk of het vloeimiddel. Boven een bepaalde temperatuur gaan sommige vloeimiddelen ontlede of verkolen. Dit geldt in het bijzonder voor zachtsoldeer-vloeimiddelen. Slechte resultaten in de praktijk zijn dan ook vaak het gevolg van oververhitten of onkundig manipuleren met een verhittingsbron (bijvoorbeeld met een brander).

1.1.4 Vloeimiddel en beheerste atmosfeer

Bij het solderen wordt òf gebruik gemaakt van een *vloeimiddel*, òf gewerkt in een reducerende of beschermende *gasatmosfeer*, of in *vacuüm*.

Een *vloeimiddel* is een niet-metallisch product, meestal in de vorm van een zuur of zout, dat in koude toestand vóór het verhitten wordt aangebracht op de metaaloppervlakken, die vooraf voldoende zijn gereinigd. Het vloeimiddel is in staat om oxidefilms van het oppervlak te verwijderen en/of te voorkomen dat deze ontstaan.

Een *beschermende gasatmosfeer*, waarvan de samenstelling binnen vastgestelde grenzen wordt gehandhaafd, wordt toegepast om de te verbinden metalen en het toevoegmetaal te beschermen tegen oxidatie gedurende het verhitten. In een reducerende gasatmosfeer worden de oxidefilms, aanwezig op de te verbinden delen en het toevoegmetaal, gereduceerd voordat de soldeertemperatuur is bereikt.

Solderen in *vacuüm* is een werkwijze waarbij oxiden, bij hoge temperatuur en in afwezigheid van zuurstof, worden verwijderd en geen nieuwe oxidefilms worden gevormd. De verwijdering van de oxiden van het oppervlak kan plaatsvinden, doordat bij hoge temperatuur oxiden ontlede of verdampen. Voorts kunnen diffusie- en reductieprocessen met respectievelijk zuurstof en koolstof een rol spelen bij het verdwijnen van oxiden. Zo diffundeert de zuurstof van het aan een titaanoppervlak aanwezige titaanoxide in het titaan en reduceert de koolstof aanwezig in staal het aan

het oppervlak aanwezige ijzeroxide. Ook bij het hoge temperatuur "openspringen" van oxiden, door verschil in uitzetting met het werkstukmetaal, worden er door het afwezig zijn van zuurstof, op het onderliggende blanke metaal geen oxidefilms gevormd.

Het vloeimiddel of de beheerste atmosfeer spelen een overheersende rol. Wanneer hierbij een onjuiste keuze wordt gedaan, komen de materiaaloppervlakken tijdens het soldeerproces in een zodanige toestand, dat het uitvloeien van het soldeer slecht of nihil is. Het vloeimiddel of de beheerste atmosfeer kunnen hierbij een dubbele functie vervullen. Zoals eerder beschreven, is de voornaamste functie het schoonhouden van de metaaloppervlakken tijdens het gehele soldeerproces.

Een tweede functie is het verkleinen van de bevochtighoek door het in gunstige zin beïnvloeden van de fysische eigenschappen, die voor deze hoek bepalend zijn.

Bij het zacht- en hardsolderen wordt vrijwel altijd met een vloeimiddel gewerkt. Bij het hardsolderen in ovens wordt meestal geen vloeimiddel toegepast, terwijl bij het hoogtemperatuursolderen nimmer een vloeimiddel wordt gebruikt (zie § 2.5 "Solderen in ovens").

Verwijderen van vloeimiddelresten die corrosie kunnen veroorzaken, is na het solderen noodzakelijk.

1.1.5 Vergelijking met smeltlassen

Tegenover het smeltlassen biedt het solderen (in het bijzonder het hard- en hoogtemperatuursolderen) de voordelen van minder kans op vervormingen en lagere inwendige spanningen. Deze voordelen worden groter naarmate gelijkmatiger wordt verhit en afgekoeld. Bovendien kunnen door het solderen meer verbindingen gelijktijdig tot stand worden gebracht.

Evenzo zijn combinaties van werkstukmaterialen (bijv. roestvast staal aan keramiek) met ver uiteenlopende fysische en chemische eigenschappen mogelijk. Ten slotte kunnen met het solderen verbindingen worden verkregen, gebruikmakend van de capillaire werking van het vloeibare soldeer, op plekken die in feite op geen enkele andere wijze zijn te bereiken.

1.1.6 Toepassingsgebied

Met betrekking tot het toepassingsgebied kan worden gezegd dat :

- ▶ *zachtsolderen* wordt toegepast in de blikverwerkende industrie, de elektrotechnische industrie (o.a. voor gedrukte bedradingen), de installatiesector (gas en water), bij de bouw van radiateurs en voor eenvoudige gebruiksartikelen met uiteenlopende bestemming;
- ▶ *hardsolderen* wordt vooral toegepast in de apparaten- en machinebouw (o.a. warmtewisselaars en turbines), de installatiesector, de rijwielindustrie en bij de vervaardiging van gereedschappen (bijv. hardmetaal aan staal).
- ▶ *hoogtemperatuursolderen* wordt vooral toegepast in de apparaten- en machinebouw (o.a. warmtewisselaars, turbines, uitlaatklephuizen t.b.v. dieselmotoren), de lucht- en ruimtevaartindustrie (bijv. honingraatafdichtingen, ingewikkelde raketonderdelen e.d.), in de elektrotechnische industrie (o.a. keramiek-metaalverbindingen), in de automobiellindustrie (o.a. radiateurs, oliekoelers) en bij de vervaardiging van apparatuur voor wetenschappelijk onderzoek.
- ▶ *lassolderen* wordt in het algemeen toegepast bij reparaties van gietijzeren en gegoten aluminium onderdelen, in de meubelindustrie bij het solderen van stalen buizen en profielen. Tevens vindt het lassolderen plaats bij het verbinden van onderdelen en hulpstukken van smeedbaar gietijzer aan staal. Een vorm van lassolderen

die tegenwoordig een sterk groeiende toepassing vindt bij de bouw van dakdelen van autocarosserieën, is het lasersolderen van dunne plaatdelen en het MIG-solderen van verzinkt staal.

1.2 *Overzicht en verklaring van gebruikte termen bij het solderen*

De hiernavolgende lijst in tabelvorm bevat termen die bij het hardsolderen, zachtsolderen, hoogtemperatuursolderen en lassolderen worden gebruikt. Bij elke term is de Engelse, Franse en Duitse vertaling vermeld.

	Term (Nederlands, Engels, Frans, Duits)	Verklaring
1	Solderen	Een werkwijze waarbij metalen delen worden verbonden door middel van een toevoegmetaal, dat een lagere smelttemperatuur heeft dan die van de te verbinden metalen. Het toevoegmetaal dient in gesmolten toestand het werkstukoppervlak te bevochtigen en hierop te hechten bij het stollen. Het werkstukmateriaal wordt niet tot smelten gebracht. Het gesmolten toevoegmetaal trekt in het algemeen door de capillaire werking in de spleetvormige ruimte tussen de oppervlakken van de te verbinden metalen.
	Brazing, soldering and braze welding	
	Brasage	
	Löten	
2	Zachtsolderen	Een werkwijze waarbij metalen delen worden verbonden door middel van een toevoegmetaal, dat een lagere smelttemperatuur heeft dan die van de te verbinden metalen, doch lager dan 450 °C. Het toevoegmetaal dient in gesmolten toestand het werkstukoppervlak te bevochtigen en hierop te hechten bij het stollen. Het werkstukmetaal wordt niet tot smelten gebracht.
	Soldering	
	Brasage tendre	
	Weichlöten	
3	Hardsolderen	Een werkwijze waarbij metalen delen worden verbonden door middel van een toevoegmetaal, dat een lagere smelttemperatuur heeft dan die van de te verbinden metalen, doch hoger dan 450 °C. Het toevoegmetaal dient in gesmolten toestand het werkstukoppervlak te bevochtigen en hierop te hechten bij het stollen. Het werkstukmetaal wordt niet tot smelten gebracht.
	Brazing	
	Brasage fort	
	Hartlöten	
4	Hoogtemperatuursolderen	Een werkwijze waarbij metalen delen worden verbonden in een beheerste atmosfeer door middel van een toevoegmetaal, dat een lagere smelttemperatuur heeft dan die van de te verbinden metalen, doch meestal hoger dan 800 °C. Het toevoegmetaal dient in gesmolten toestand het werkstukoppervlak te bevochtigen en hierop te hechten bij het stollen. Het werkstukmetaal wordt niet tot smelten gebracht. Het gesmolten toevoegmetaal trekt in het algemeen door de capillaire werking in de spleetvormige ruimte tussen de oppervlakken van de te verbinden metalen. Er wordt geen vloeimiddel gebruikt.
	High temperature brazing	
	Brasage à haute température	
	Hochtemperaturlöten	
5	Lassolderen	Een werkwijze waarbij metalen delen worden verbonden door middel van een toevoegmetaal, dat een lagere smelttemperatuur heeft dan die van de te verbinden metalen, doch hoger dan 450 °C. Het toevoegmetaal dient in gesmolten toestand het werkstukoppervlak te bevochtigen en hierop te hechten bij het stollen. De techniek van de werkwijze komt overeen met autogeen lassen, waarbij hier echter het werkstukmetaal niet tot smelten wordt gebracht.
	Braze welding	
	Soudobrasage	
	Schweissslöten - fugenlöten	
6	Capillair zacht-, hard- of hoogtemperatuursolderen	Zacht-, hard- of hoogtemperatuursolderen van een capillaire spleet of naad.
	Capillary soldering, brazing or high temperature brazing	
	Brasage tender ou fort à joint capillaire	
	Spaltlöten mit Weich-, Hart- oder Hochtemperaturlot	
7	Zacht- of hardsolderen met toevoegmetaal aangebracht tijdens de verhitting	Zacht- of hardsoldeermethode, waarbij de te verbinden metalen eerst worden verwarmd tot de soldeertemperatuur, waarna het toevoegmetaal vloeibaar wordt gemaakt door contact met de te verbinden metalen.
	Soldering or brazing with filler metal added whilst heat is applied	
	Brasage tendre ou fort avec apport de métal pendant le chauffage	
	Weich- oder Hartlöten mit angesetztem Lot	

	Term (Nederlands, Engels, Frans, Duits)	Verklaring
8	Zacht-, hard- of hoogtemperatuursolderen met vooraf aangebracht toevoegmetaal	Zacht-, hard- of hoogtemperatuursoldeermethode waarbij de te verbinden delen en het toevoegmetaal, gewoonlijk vlak bij de naad geplaatst, gezamenlijk worden verhit tot de soldeertemperatuur. De benodigde hoeveelheid toevoegmetaal wordt vooraf vastgesteld, hetzij in pastavorm, hetzij met voorgevormde delen.
	Soldering, brazing or high temperature brazing with preplaced filler metal	
	Brasage tender ou fort avec métal d'apport préalablement mis en place	
	Weich-, hart- oder hochtemperaturlöten mit vorher Einlage der Zusatzwerkstoff	
9	Dompelsolderen	Hard- of zachtsoldeermethode waarbij de te verbinden delen tot soldeertemperatuur worden verhit, door deze te dompelen in gesmolten toevoegmetaal, dat tevens de naad vult. De delen kunnen al dan niet zijn voorverwarmd.
	Dip soldering or brazing	
	Brasage tendre ou fort au trempé	
	Tauchlöten	
10	Vloeimiddel	Een niet-metallisch product dat wordt aangebracht op de metaaloppervlakken, die vooraf voldoende zijn gereinigd. Het is in staat oxidefilms van het oppervlak te verwijderen en/of te voorkomen dat deze ontstaan.
	Flux	
	Flux	
	Flussmittel	
11	Beheerste (beschermende) soldeeratmosfeer	Een atmosfeer, waarvan de samenstelling binnen vastgestelde grenzen wordt gehandhaafd, die de te verbinden metalen en het toevoegmetaal beschermt tegen oxidatie gedurende het verhitten. In vele gevallen is deze atmosfeer in staat de oxidefilms van de te verbinden delen en het toevoegmetaal te reduceren of te doen uiteen vallen voordat de soldeertemperatuur is bereikt.
	Controlled (protective) soldering or brazing atmosphere	
	Atmosphère contrôlée de brasage	
	Schutzgasatmosphäre beim löten	
12	Bevochtiging	Een wisselwerking tussen het gesmolten toevoegmetaal en het werkstukmetaal, op voldoende hoge temperatuur waardoor het toevoegmetaal goed kan uitvloeien op het werkstukmetaal.
	Wetting	
	Mouillage	
	Benetzung	
13	Soldeertemperatuur	Minimum temperatuur die moet worden bereikt aan het grensvlak tussen werkstukmetaal en het gesmolten toevoegmetaal, opdat dit laatste zich kan verspreiden en een verbinding vormen met het werkstukmetaal.
	Working temperature	
	Température de travail	
	Arbeitstemperatur	
14	Bevochtigingstemperatuur	Temperatuur waarop het werkstukmetaal moet worden gebracht opdat het gesmolten toevoegmetaal het werkstukmetaal kan bevochtigen. De bevochtigingstemperatuur kan binnen zekere grenzen liggen.
	Wetting temperature	
	Température de mouillage	
	Benetzungstemperatur	
15	Maximum soldeertemperatuur	Temperatuur waarboven schade wordt toegebracht aan het toevoegmetaal, het werkstuk of het vloeimiddel.
	Maximum soldering or brazing or temperature	
	Température maximale de brasage	
	Maximale Löttemperatur	
16	Spleet	Ruimte om te vullen met toevoegmetaal, tussen twee samenstellende delen, waarvan de oppervlakken op een juiste wijze zijn voorberekt voor het zacht-, hard-, hoogtemperatuur- of lassolderen.
	Joint	
	Joint	
	Spalt	
17	Spleetbreedte	Een opening, gewoonlijk met constante breedte, tussen de zacht of hard te solderen oppervlakken.
	Clearance/gap	
	Jeu	
	Spaltbreite	
18	Capillaire spleet	Spleet waarvan de spleetbreedte op soldeertemperatuur bij zacht- en hardsolderen klein is en die in het algemeen niet groter is dan 0,25 mm; bij hoogtemperatuursolderen in het algemeen niet groter is dan 0,05 mm.
	Capillary joint	
	Joint capillaire	
	Kapillarspalt	

	Term (Nederlands, Engels, Frans, Duits)	Verklaring
19	Soldeernaaddikte	De gewoonlijk constante afstand, tussen de oppervlakken der verbonden delen na het solderen. De soldeernaaddikte verschilt in het algemeen met de aanvankelijke spleetbreedte (zie hoofdstuk 5: Constructieve aspecten).
	Joint/seam thickness	
	Epaisseur du joint brasé	
	Lötnahtdicke	
20	Gelassoldeerde naad	Een verbinding met vrijwel dezelfde vorm als bij smeltlassen voorkomt.
	Braze welded joint	
	Joint de soudobrasage	
	Lötschweissnaht	
21	Sterkte van de hechting (treksterkte) van een zacht-, hard-, hoogtemperatuur-, of lassoldeerverbinding (volgens overeengekomen afspraak)	De waarde, die wordt verkregen door de breuklast, bij een gespecificeerd proefstuk, dat onder gespecificeerde omstandigheden is ge(las)soldeerd met een gegeven toevoegmetaal, te delen door het oppervlak van de dwarsdoorsnede van het proefstuk (zie DIN 8525, blz. 1; voor hoogtemperatuursoldeerverbindingen, zie DIN 8525, blz.3).
	Conventional strength of the bond (tensile strength) of a soldering, brazing high temperature, soldering or braze welding filler metal	
	Résistance d'accrochage conventionelle (résistance à la tension) d'un métal d'apport de brasage	
	Konventionelle Haft(Zug)festigkeit vom Zusatzwerkstoff einer Weichlöt-, Hartlöt-, Hochtemperaturlöt, oder Lotschweissnaht.	
22	Schuifsterkte van het toevoegmetaal voor solderen	De waarde, die wordt verkregen door de breuklast, bij een gespecificeerd proefstuk, dat onder gespecificeerde omstandigheden is gesoldeerd met een gegeven toevoegmetaal, te delen door het oppervlak van het proefstuk dat is gesoldeerd (zie DIN 8525, blz. 2).
	Conventional shear strength of a soldering, brazing, high temperature filler metal	
	Résistance au cisaillement conventionelle d'un métal d'apport de brasage	
	Konventionelle Scherfestigkeit vom Weichlot, Hartlot und Hochtemperaturlot	

Hoofdstuk 2

Soldeermethoden

2.1 Inleiding

Het solderen kan onder meer plaatsvinden volgens de hierna genoemde methoden:

- ▶ solderen met de bout (boutsolderen);
- ▶ solderen met de vlam (vlamsolderen);
- ▶ solderen in ovens (ovensolderen);
- ▶ inductiefsolderen;
- ▶ dompelsolderen;
- ▶ weerstandsolderen;
- ▶ bijzondere soldeermethoden, bijv. solderen met de laser (lasersolderen).

Voor iedere soldeermethode geldt de voorwaarde, dat de te solderen oppervlakken en het soldeer homogeen op de vereiste soldeertemperatuur moeten worden gebracht. Bij een temperatuurverschil ter plaatse van de soldeernaad zal het soldeer steeds geneigd zijn naar de plaats met de hoogste temperatuur te vloeien.

2.2 Overwegingen bij de keuze van soldeermethode

Deze keuze wordt bepaald door technische en economische factoren. Nadat is vastgesteld welke methoden technisch kunnen worden toegepast, moeten economische factoren de meest rationele soldeermethode bepalen.

2.2.1 Technische factoren

VORM, AFMETINGEN EN/OF NADEN

Vorm, afmetingen en/of naden van het te solderen werkstuk kunnen tot gevolg hebben, dat bepaalde soldeermethoden niet of lastig zijn toe te passen. Indien een betrekkelijk groot deel van het werkstuk op soldeertemperatuur moet worden gebracht, is een soldeermethode met plaatselijke verhitting minder effectief en heeft solderen in een oven of dompelsolderen de voorkeur. Omgekeerd zal bij het solderen, waarbij betrekkelijk weinig werkstukmetaal behoeft te worden verwarmd, een soldeermethode met zeer plaatselijke verhitting de voorkeur verdienen, bijv. inductiefsolderen of solderen met de vlam, bout of laser.

EIGENSCHAPPEN VAN HET WERKSTUKMETAAL

Speciale soldeermethoden kunnen noodzakelijk zijn als gevolg van de chemische, fysische en mechanische eigenschappen van het werkstukmetaal, bijv. reactiesolderen bij aluminium, vanwege een moeilijk te reduceren oxide-laag of laser- of inductief solderen vanwege een vereiste geringe plaatselijke warmte-inbreng ter behoud van de mechanische eigenschappen van het werkstukmetaal.

KOUDVERSTEVIGDE EN VEREDELDE METALEN

Metalen, die hun eigenschappen hebben verkregen door koude vervorming of door een warmtebehandeling, kunnen deze eigenschappen geheel of ten dele verliezen bij verhitting tot de soldeertemperatuur.

Bepaalde soldeermethoden, zoals weerstand- en inductief solderen, bieden de mogelijkheid om de nadelige invloed te beperken tot de soldeerplaats.

CARBIDE-UITSCHEIDING

Bij austenitische roestvaste staalsoorten kan bij temperaturen tussen 450 en 850 °C schadelijke carbide-uitschei-

ding plaatsvinden, waardoor later interkristallijne corrosie kan ontstaan. De snelheid en de mate van de carbide-uitscheiding nemen toe met de temperatuur en de verblijfsduur in het genoemde temperatuurgebied. Men moet daarom een zodanige methode kiezen dat de verblijfsduur in het kritische temperatuurgebied zo kort mogelijk is. Indien wordt gesoldeerd met een soldeer met een hoge soldeertemperatuur worden de carbiden opgelost en kan de uitscheiding worden onderdrukt door snel af te koelen. Door austenitische roestvaste staalsoorten van een L-kwaliteit (koolstofgehalte = 0,03%) te gebruiken, kunnen carbide-uitscheidingen in het 450-850 °C gebied worden voorkomen. Ook Ti- en Nb-gestabiliseerde austenitische roestvaste staalsoorten zijn voor dit doel te gebruiken, echter de Ti-gestabiliseerde soorten kunnen bevochtgingsproblemen geven vanwege het in deze staalsoorten aanwezige titaanoxide.

STABILITEIT VAN DE OXIDEN

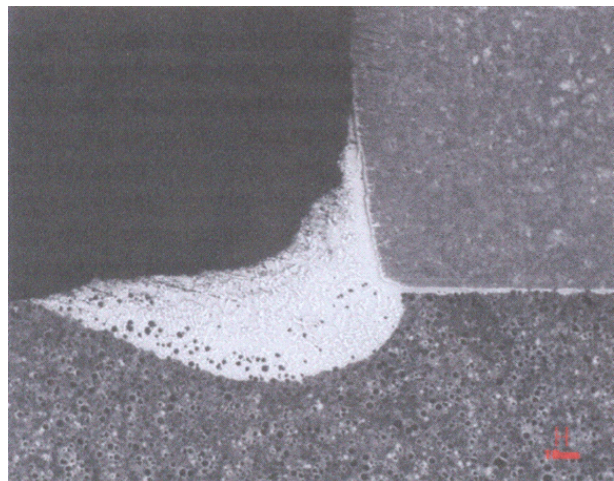
Voor het solderen worden de oxiden van het te solderen oppervlak verwijderd. De desondanks nog op het oppervlak aanwezige oxiden, alsmede de oxiden die tijdens het solderen worden gevormd, kunnen veelal door een vloeimiddel of een reducerende atmosfeer (bijv. oxiden van chroom) worden verwijderd. Oxiden van o.a. aluminium en titaan zijn moeilijker te verwijderen, zodat men - indien dergelijke elementen in belangrijke mate in het werkstukmetaal aanwezig zijn - is aangewezen op bijv. vooraf chemisch verwijderen van deze oxiden aan het oppervlak en vervolgens solderen in hoogvacuüm.

WATERSTOFBROSHEID

Sommige metalen, waarvan koper en zilver voorbeelden zijn, zijn gevoelig voor waterstofbrosheid, indien zij zuurstof bevatten en verhit worden in een atmosfeer waarin waterstof aanwezig is. De zuurstof zal reageren met de waterstof tot waterdamp, hetgeen hoge drukken tot gevolg heeft in het materiaal en tot scheurvorming kan leiden (z.g. waterstofziekte).

LEGERINGSVORMING

Onder legeringsvorming wordt verstaan het oplossen van het werkstukmetaal in het soldeer t.g.v. diffusie van elementen (componenten) uit het soldeer in het werkstukmetaal. Dit kan bij overmatige legeringsvorming aanleiding geven tot "wegspoelen" van werkstukmetaal in de directe omgeving van de soldeernaad en leiden tot vermindering van eigenschappen als sterkte, ductiliteit en lekdichtheid. Dit verschijnsel wordt erosie genoemd (figuur 2.1).



figuur 2.1 Voorbeeld van "erosie" (foto SKF-MDC)

Tevens kan penetratie van vloeibaar soldeer op de korrelgrenzen in het werkstukmetaal optreden, hetgeen leidt tot inhomogeniteit in het werkstukmetaal in de directe omgeving van de soldeernaad. Bij bepaalde combinaties van werkstukmetaal en soldeer kunnen bovendien brosse, intermetallische verbindingen in de soldeernaad en op het grensvlak soldeer-werkstuk worden gevormd.

Door legeringsvorming tussen soldeer en werkstukmetaal kan de smeltemperatuur van het soldeer stijgen, waardoor stolling met als gevolg slechte spleetvulling optreedt. De mate, waarin deze legeringsvorming plaatsvindt is afhankelijk van:

- ▶ temperatuur;
- ▶ tijdsduur;
- ▶ samenstelling soldeer;
- ▶ samenstelling werkstukmetaal.

SMELTTRAJECT VAN HET SOLDEER

In het algemeen zijn solderen met een breed smelttraject niet geschikt voor een langzame verhittingsmethode. Als een soldeer met een breed smelttraject vóór de verhitting is aangebracht en de soldeertemperatuur te langzaam wordt bereikt, zal ontmenging van het soldeer plaatsvinden. Het gedeelte dat bij lagere temperatuur smelt vloeit in de naad, terwijl het gedeelte dat bij hogere temperatuur smelt, achter blijft. Ontmenging kan worden tegengegaan door:

- ▶ een snelle verhittingsmethode (inductief-, zoutbad- of weerstandsolderen) toe te passen, indien het soldeer vooraf is toegevoegd;
- ▶ bij het bout- of vlamsolderen met de hand pas dán soldeer toe te voegen, wanneer het werkstuk de soldeertemperatuur heeft bereikt.

DAMPDRUK VAN HET SOLDEER

Solderen die elementen bevatten met een hoge dampdruk bij de soldeertemperatuur, zoals zink en cadmium, komen niet in aanmerking voor solderen in vacuüm. Dit geldt tevens voor werkstukken, die moeten worden gesoldeerd in vacuüm, omdat hierbij de mogelijkheid bestaat van uitdampen van deze elementen, waardoor de kwaliteit van het vacuüm in de oven c.q. de lektheid van de verbinding nadelig wordt beïnvloed.

2.2.2 Economische factoren

Nadat op grond van technische overwegingen is vastgesteld welke soldeermethoden kunnen worden toegepast, is een kostenvergelijking nodig om na te gaan, welk soldeermethode uit economisch oogpunt de voorkeur verdient. De kostprijs van een soldeerverbinding is afhankelijk van:

- ▶ **VASTE KOSTEN** als gevolg van afschrijving, renteverlies, onderhoud en verwachte bezettingsgraad van de geïnvesteerde apparatuur;
- ▶ **VARIABELE KOSTEN**:
 - voorbereiding en voorbehandeling;
 - energieverbruik;
 - verbruik van vloeimiddel, reinigingsmiddel en hulpmiddelen ;
 - verbruik aan soldeer;
 - eventuele nabewerking;
 - kwaliteitbeheersing (inspectie/controle/keuring);
 - opslagkosten van voorraad;
 - transportkosten;
 - personele kosten loon.
- ▶ **UITVALPERCENTAGE** (risicofactor)
Het uitvalpercentage wordt onder meer bepaald door de volgende factoren: lekkage, soldeerdooorloop, beschadigingen, maatafwijkingen, onvoldoende reiniging, afwijkende onderdelen.

Bij grote investeringen wordt de economie van de soldeermethode voornamelijk bepaald door de bezettingsgraad. De bezettingsgraad is afhankelijk van het aantal producten dat door gebruikmaking van de geïnvesteerde apparatuur (jaarlijks) wordt gesoldeerd. De bezettingsgraad is te definiëren als de jaarlijkse productie gedeeld door de geplande jaarlijkse capaciteit. Bij het solderen in ovens of met soldeermachines hebben dan ook overwegend de vaste kosten invloed op de kostprijs.

Naast het solderen zelf komen de kosten van de voorbereiding en voorbehandeling (variabele kosten) n.l.:

- ▶ verspanende bewerkingen;
- ▶ oppervlaktebehandeling;
- ▶ aanbrengen van het soldeer;
- ▶ aanbrengen van hulpstukken.

2.3 Indeling van de soldeermethoden

In tabel 2.1 worden alle soldeermethoden weergegeven. Zij zijn ingedeeld naar smeltemperatuur en verhittingswijze c.q. de wijze van warmteoverdracht tijdens het solderen.

tabel 2.1 Indeling van soldeermethoden naar smeltemperatuur en verhittingswijze

Indeling solderen (vrij naar DIN 8505 Teil 3)		
smeltemperatuur	verhittingswijze	soldeermethode
zacht-solderen < 450 °C	vast lichaam	boutsolderen
		bloksolderen
		rolsolderen
	vloeistof	soldeerbadsolderen
		golsolderen
		sleepsolderen
		ultrasoon solderen
		dampfase solderen
	gas	vlamsolderen
		heetgassolderen gasovensolderen
	straling	infraroodsolderen
		lasersolderen
	elektrische stroom	inductiefsolderen
		weerstandsolderen
ovensolderen		
hard-solderen > 450 °C	vloeistof	soldeerbadsolderen
		zoutbadsolderen
	gas	vlamsolderen; gasovensolderen
	gasontlading	boogsolderen
	straling	infrarood solderen
		lasersolderen
	elektrische stroom	inductiefsolderen
		weerstandsolderen
ovensolderen in lucht		
reducerend gasovensolderen		
hoogtemperatuur-solderen > 800 °C	straling	inert gasovensolderen
		infraroodsolderen in reducerend gas
		infraroodsolderen in inert gas
		infraroodsolderen in vacuüm
		lasersolderen in reducerend gas
		lasersolderen in inert gas
		lasersolderen in vacuüm
	elektrische stroom	elektronenstraalsolderen
		inductiefsolderen in reducerend gas
		inductiefsolderen in inert gas
		inductiefsolderen in vacuüm
		ovensolderen in reducerend gas
		ovensolderen in inert gas
		ovensolderen in vacuüm

In Nederland veel toegepaste soldeermethoden worden weergegeven in tabel 2.2. Een aantal van deze veel toegepaste soldeermethoden wordt in deze paragraaf beschreven en toegelicht. Voor een uitgebreidere beschrijving van de methoden bij het zachtsolderen, zoals bijv. golf-, dampfase-, infrarood-, laser- en heetgassolderen wordt verwezen naar VM 93 "Microsolderen" en voor een uitgebreidere beschrijving van de methoden bij het hoogtemperatuursolderen zoals bijv. oven-, inductief- en infraroodsolderen wordt verwezen naar VM 82 "Hoogtemperatuursolderen".

tabel 2.2 Veel toegepaste soldeermethoden

Overzicht processen	Methode beschreven in:
ZACHTSOLDEREN	
boutsolderen	§ 2.3.1
vlamsolderen	§ 2.3.2
golfsolderen	§ 2.3.7.3
dampfasesolderen(VPS)	§ 2.3.9
infraroodsolderen(oven)	§ 2.3.9
soldeerbadsolderen(oven)	§ 2.3.6
inductiefsolderen	§ 2.3.4
weerstandssolderen	§ 2.3.5
lasersolderen	§ 2.3.9
ultrasoon solderen	§ 2.3.8
heetgassolderen	§ 2.3.9
HARDSOLDEREN	
vlamsolderen	§ 2.3.2
inductiefsolderen	§ 2.3.4
weerstandssolderen	§ 2.3.5
ovensolderen	§ 2.3.3
zoutbadsolderen(dompelsolderen)	§ 2.3.6
HOOGTEMPERATUURSOLDEREN	
ovensolderen in reducerend gas	VM 82
ovensolderen in inert gas	VM 82
ovensolderen in vacuüm	VM 82
inductiefsolderen in reducerend gas	VM 82
inductiefsolderen in inert gas	VM 82
inductiefsolderen in vacuüm	VM 82
infraroodsolderen in reducerend gas	VM 82
infraroodsolderen in inert gas	VM 82
infraroodsolderen in vacuüm	VM 82

2.3.1 Solderen met de bout

Kenmerk: Plaatselijke warmtetoever met eenvoudige middelen, waarbij de invloed van de warmte op de omgeving tot een minimum beperkt blijft (figuur 2.2).

Bij het solderen met de bout wordt de soldeerplaats op soldeertemperatuur gebracht door het contact tussen de verhitte soldeerbout en het (koude) werkstuk. De warmteoverdracht vindt hierbij hoofdzakelijk plaats door warmtegeleiding. Onafhankelijk van de wijze (vlam, oven, elektrisch) waarop de soldeerbout wordt verhit, moet deze, om goed te kunnen functioneren, aan verschillende voorwaarden voldoen, nl. :

- ▶ een zodanige vorm hebben, dat een goed contact met de soldeerplaats mogelijk is;
- ▶ een voldoende warmtecapaciteit bezitten om de soldeerplaats op soldeertemperatuur te brengen;

- ▶ gemaakt zijn van een metaal met een hoog warmtegeleidingsvermogen, dat weinig corrosiegevoelig is en/of gemakkelijk kan worden gereinigd;
- ▶ gemakkelijk door het soldeer kunnen worden bevochtigd t.b.v. het transport van gesmolten soldeer.



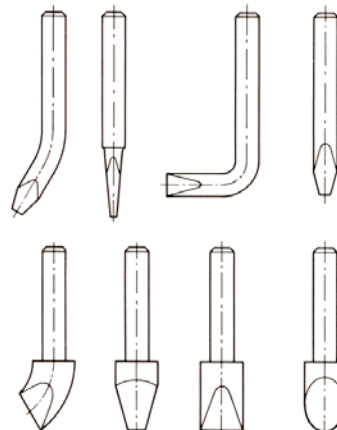
figuur 2.2 Boutsolderen (foto Weller)

Als materiaal voor soldeerbouten voldoet koper het beste. Het verhitten van de bout kan op verschillende manieren plaatsvinden, namelijk met behulp van een gasvlam, een benzinebrander, een oven of elektrisch met behulp van een in de bout opgenomen verwarmingselement. Wordt bijvoorbeeld met een niet-elektrisch verhitte bout gewerkt, dan wordt er tijdens het solderen alleen warmte afgevoerd en is telkens opnieuw verhitten van de bout nodig. Een gevolg hiervan is dat er geen constante bouttemperatuur is vanwege een steeds onderbroken warmtetoever.

Voor het continu solderen is een bout met constante verwarming nodig. Of deze verwarming met behulp van benzine, gas of elektriciteit plaatsvindt, is voor het solderen zelf niet belangrijk. Wel van belang kunnen zijn de eisen die worden gesteld aan de mate van comfort tijdens het solderen en mogelijke beperkingen die worden gesteld ten aanzien van het gebruik van een open vlam in verband met brandgevaar.

De bout met elektrische verwarming wordt hoofdzakelijk gebruikt in de elektrotechnische industrie, maar bijvoorbeeld ook voor sieraden en is, afhankelijk van de gewenste capaciteit, in diverse vermogens leverbaar. De vorm en afmetingen van de kop van de soldeerbout beïnvloeden de snelheid waarmee het werkstuk op soldeertemperatuur kan worden gebracht.

Sommige soldeerbouten zijn uitgevoerd met een verwisselbare kop (stiften), zodat de bout naar behoefte kan worden aangepast (figuur 2.3).



figuur 2.3 Enkele soldeerboutstiften

Soldeerbouten met vlamverwarming worden gebruikt in situaties waar een betrekkelijk grote warmteoverdracht in korte tijd moet plaatsvinden.

De soldeerbouten met vlamverwarming zijn over het algemeen gevoeliger voor beschadigen dan elektrisch verhitte bouten en genieten de voorkeur in situaties waar bijvoorbeeld moeilijk over elektriciteit kan worden beschikt. Zo worden grote vlamverwarmde soldeerbouten gebruikt bij het solderen van zinken dakgoten.

Gasverwarming biedt het voordeel van een goed regelbare, schone vlam.

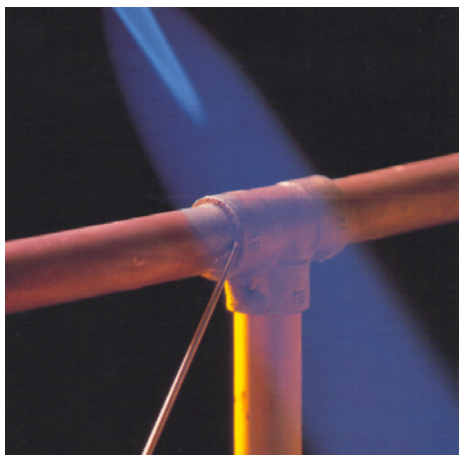
Solderen met de bout is echt handwerk, hoewel ook op dit gebied bijzondere uitvoeringen bestaan, bijvoorbeeld boutkoppen met ingebouwde soldeer- en vloeimiddel-toevoer. Een uitgebreid toepassingsgebied hebben deze bouten echter niet gevonden.

Punten die de aandacht verdienen zijn:

- ▶ alvorens te solderen moeten de te solderen oppervlakken grondig worden gereinigd en dienen andere belemmeringen voor het uitvloeien van het soldeer (bramen en scherpe hoeken) te worden weggenomen;
- ▶ de capaciteit en vorm van de soldeerbout moeten zijn aangepast aan de vorm en afmetingen van het werkstuk;
- ▶ de stand van de boutkop ten opzichte van het werkstuk beïnvloedt de warmteoverdracht. De vlakke gedeelten van de boutkop maken een grotere warmteoverdracht mogelijk (snellere opwarming) dan de snijlijn van de contactvlakken (de boutpunt) door het grotere contactoppervlak;
- ▶ een vuile boutkop moet worden gereinigd en zo nodig opnieuw worden vertind om te voorkomen dat de (koperen) boutkop oplost in het soldeer;
- ▶ kies een zo optimaal mogelijke bouttemperatuur, zodat de toegevoerde warmte zoveel mogelijk wordt geconcentreerd in de naad;
- ▶ bij het solderen met de bout moet het werkstuk worden verwarmd en het soldeer door het verwarmde werkstuk tot smelten worden gebracht; en niet door het soldeer tegen de bout te houden en zo tot smelten te brengen;
- ▶ indien een agressief vloeimiddel wordt gebruikt, dienen de resten van dit vloeimiddel na het solderen te worden verwijderd;
- ▶ de capaciteit en de vorm van de soldeerbout moeten worden aangepast aan de vorm en afmetingen van het werkstuk.

2.3.2 Solderen met de vlam

Kenmerk: Plaatselijke warmtetoevoer door middel van een brander (figuur 2.4).



figuur 2.4 Vlamsolderen (foto v/h Drijfhout)

Door de veelzijdigheid van toepassing en de eenvoud van werken neemt het solderen met de vlam, zowel bij het zacht- als het hardsolderen, een zeer belangrijke plaats in tussen alle andere soldeermethoden.

Het solderen moet worden uitgevoerd in een goed geventileerde ruimte. De taak van de soldeerder kan nog worden vereenvoudigd door met zorg een brander uit te zoeken en (eenvoudige) mallen ter beschikking te stellen, of door constructieve maatregelen te nemen, zoals zelfcenterende constructies of voorgemonteerde delen te gebruiken. De voorbereidingen - zoals de keuze van juiste spleetbreedte, het schoonmaken van de te solderen plaatsen, het gebruik van een geschikt vloeimiddel - moeten overeenkomstig andere soldeermethoden worden getroffen. Aan deze voorbereidingen wordt in de hoofdstukken 4 en 5 aandacht. Bij het solderen met de vlam wordt gebruik gemaakt van de warmte, die ontstaat bij verbranding van een gasmengsel. Van de voornaamste gassen is in tabel 2.3 de hoogste verbrandingstemperatuur weergegeven.

tabel 2.3 Hoogste verbrandingstemperatuur van enkele gassen

gassoort	hoogste verbrandingstemperatuur in °C	
	met lucht	met zuurstof
acetyleen	2325	3160
propaan	1925	2750
aardgas	1910	2720

Het afstellen van de acetyleen-zuurstofvlam is een eenvoudige zaak. Bovendien kan een eenmaal gekozen vlamafstelling worden gehandhaafd door het gadeslaan van het voor dat geval gekozen vlambeeld. Ter verduidelijking: van een neutrale vlam is het kenmerk de scherp begrensde afgeronde vlamkegel die een duidelijke informatie verschaft. Het op de juiste wijze afstellen van de vlam bij andere gassen (propaan, butaan, aardgas) is moeilijker, door het ontbreken van de genoemde kenmerkende eigenschap van het vlambeeld. In het algemeen wordt gesoldeerd met een neutrale vlam. Uitzonderingen, die een oxiderende vlaminstelling vereisen, zijn:

- ▶ het solderen met "lasbrons" (= messing);
- ▶ het solderen van materialen die gevoelig zijn voor waterstofbrosheid (waterstofziekte);
- ▶ het solderen van zinkhoudende koperlegeringen.

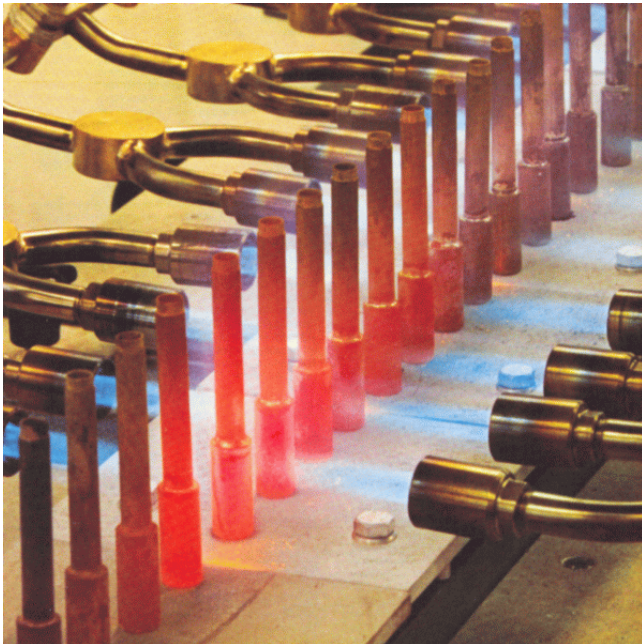
De functie van een adequaat vloeimiddel aangebracht op vooraf schoongemaakt materiaal, is het verwijderen van oxiden en het voorkomen van oxidatie tijdens het solderen. Het is bovendien een eenvoudig middel ter bepaling van de juiste soldeertemperatuur.

Op het ogenblik dat het vloeimiddel smelt, heeft de soldeerplaats bijna de soldeertemperatuur bereikt. Dit is voor de soldeerder een waarschuwing extra goed op te letten. Het op de juiste soldeertemperatuur brengen en tijdens het soldeerproces op deze temperatuur houden is een zeer belangrijke factor. Met enige ervaring is een goed resultaat gemakkelijk te bereiken. Zodra het werkstuk de juiste soldeertemperatuur heeft bereikt, wordt de soldeerstaaf - zo nodig met vloeimiddel bestreken en voorverwarmd door de pluim van de vlam - tegen het werkstuk gehouden. Op deze wijze wordt aan het werkstuk de nodige warmte onttrokken om het soldeer tot smelten te brengen. Het soldeer smelt, vloeit uit en wordt vervolgens in de nauwe spleet gezogen door de capillaire krachten, waardoor de spleet volledig met soldeer wordt gevuld. Het is dus niet de directe warmte van de vlam die het

soldeer doet smelten. Het risico van verhitting van het soldeer is namelijk oververhitting vanwege het relatief klein soldeervolume. Bij het verhitten van het werkstuk dient wel te worden gewaakt voor vroegtijdige verbranding van het vloeimiddel.

Bij sterke oververhitting van het soldeer, kunnen bepaalde legeringselementen uit het soldeer verdampen. Indien het soldeer afsmelt, voordat het werkstuk de soldeertemperatuur heeft bereikt, heeft dit eveneens tot gevolg dat het soldeer niet bevochtigt, maar gaat kogelen. Samengebond tot een kogel rolt het vloeibare soldeer over het werkstukoppervlak met als resultaat dat de spleet niet of onvolledig met soldeer wordt gevuld.

Bij grotere series te solderen producten kan men het soldeerproces mechaniseren (bijvoorbeeld carousel of transportbanden). De producten worden langs een vlammenfront gevoerd en zo op soldeertemperatuur gebracht, waarbij het zaak is, de temperatuur zo gelijkmatig mogelijk op de soldeerplaats(en) in het werkstuk op te bouwen (zie figuur 2.5).



figuur 2.5 Gemechaniseerd vlamsolderen (foto Degussa)

Een variant van vlamsolderen is het z.g. gasfluxsolderen. Hierbij wordt het vloeimiddel als een nevel met de acetyleen-zuurstof gasstroom door de brander met de vlam meegevoerd naar de soldeerplaats. Een van de kenmerken van deze methode is een vlam die een fel groen licht verspreidt door het oplichten van bepaalde elementen in het vloeimiddel. Voordeel is, dat tijdens verhitting bescherming tegen oxidatie wordt geboden op de plek waar de soldeerverbinding tot stand moet komen. Nadeel van de gasflux is dat het vloeimiddel niet ver in de soldeerspleet zal doordringen, waardoor geen of onvoldoende reductie van oxiden plaats vindt in diepere spleten en deze niet of moeilijk gevuld worden met soldeer. Met gasfluxsolderen worden stalen rijwielframes, meubels e.d. vervaardigd.

2.3.3 Solderen in ovens

2.3.3.1 Algemeen

Kenmerk: Het gehele werkstuk wordt op de vereiste soldeertemperatuur gebracht. In principe kan dus

in iedere oven worden gesoldeerd, mits de capaciteit voldoende is.

De ovens (figuur 2.6) kunnen elektrisch of gasverwarmd zijn. Onderscheid kan worden gemaakt in:

- ▶ niet-continu werkende ovens, zoals kamerovens, schachtovens en klokovens;
- ▶ continu werkende ovens, zoals transportbandovens en rolbaanovens.



figuur 2.6 Ovensolderen (foto Handy & Harman)

De niet-continu werkende ovens komen in aanmerking voor enkelstuks-fabricage, voor kleinere series en bij zeer grote werkstukken. Bij grotere series en bij productie tot ongeveer 125 kg/h worden meestal transportbandovens gebruikt. Bij zeer grote producties rolbaanovens.

De voordelen van het solderen in ovens zijn onder meer:

- ▶ een goed regelbare temperatuur (een gedwongen circulatie kan bij temperaturen tot 700 °C een gelijkmatige temperatuurverdeling nog verder bevorderen);
- ▶ per werkstuk kunnen een groot aantal naden in één keer worden gesoldeerd;
- ▶ goed reproduceerbare resultaten, waardoor minder kans op afkeur;
- ▶ de bediening is eenvoudig en kan in het algemeen in korte tijd worden aangeleerd;
- ▶ praktisch geen verspilling van soldeermateriaal door nauwkeurige dosering;
- ▶ bij een goede bezettingsgraad van de oven zijn lage energiekosten bereikbaar;
- ▶ geringe vervormingen door de gelijkmatige verwarming respectievelijk afkoeling;
- ▶ mogelijkheid tot hoge productiecapaciteit.

De investering enerzijds en de bezettingsgraad of beschikbaarheid anderzijds, kunnen soms doorslaggevend zijn voor de toepassing van deze soldeermethode.

2.3.3.2 Solderen in beheerste atmosfeer

Kenmerk: solderen in een reducerende, inerte of vacuüm-atmosfeer, waarvan de 'samenstelling' binnen vastgestelde grenzen wordt gehandhaafd. Deze atmosfeer beschermt de te verbinden delen en het soldeer tegen oxidatie en is in vele gevallen in staat oxidefilms te ontleden of te doen uiteenvallen, voordat de soldeertemperatuur is bereikt.

INLEIDING

Meestal zal bij het solderen in ovens gebruik worden gemaakt van een beheerste atmosfeer, ter voorkoming van oxidatie. Daardoor bereikt men dat:

- ▶ de werkstukken blank blijven;
- ▶ een vloeimiddel niet of slechts in minimale hoeveelheden vereist is;

- ▶ het reinigen van de gesoldeerde werkstukken niet meer nodig is;
- ▶ goedkopere soldeersoorten, zoals bijvoorbeeld koper, kunnen worden gebruikt, aangezien de hoogte van de soldeertemperatuur niet meer kritisch is ten opzichte van oxidatie van het werkstuk.

Vacuümvovens worden gebruikt wanneer men materialen gaat solderen met zeer stabiele oxiden en wanneer zeer hoge eisen aan de verbindingen worden gesteld. Een beheerste atmosfeer kan slechts worden gehandhaafd in een afgesloten ruimte. Binnendringen van lucht moet worden voorkomen door goede afdichtingen, of door te zorgen, dat er wordt gewerkt met een overmaat aan beschermend of reducerend gas.

Als regel is voor het solderen in beheerste atmosfeer een speciaal voor dit doel geconstrueerde oven nodig. Voor het bereiken van beheerste atmosferen kan gebruik worden gemaakt van:

- ▶ gasvormige zuren en zouten;
- ▶ reducerende gassen;
- ▶ beschermende gassen;
- ▶ onvolledig verbrand gas;
- ▶ een vacuüm met een druk $< 133,3 \text{ N/m}_2$ (1 mm Hg = 1,33 mbar).

TOELICHTING OP HET BEGRIJP BEHEERSTE ATMOSFEER

Gasvormige zuren en zouten hebben een reducerende werking, met als nadeel dat zowel het product als het

productiemateriaal (mallen e.d.) worden aangetast (bijvoorbeeld zoutzuur en boriumfluoride).

Reducerende gassen, die het materiaal niet corroderen, zijn waterstof en koolmonoxide. Deze kunnen echter wel door het materiaal worden opgenomen en daardoor invloed uitoefenen op de mechanische eigenschappen. Door onvolledige verbranding van aardgas, propaan of LPG (Liquified Petroleum Gas) - in een zogenaamde zuurstofarme exothermische gasgenerator - kan een beschermend of reducerend gasmengsel worden verkregen. Door ammoniak te kraken ontstaat een mengsel van stikstof en waterstof dat beschermend c.q. reducerend werkt (gekraakt ammoniak wordt ook wel bruin menggas genoemd).

In tabel 2.4 is een aantal van deze gassen opgenomen met hun samenstelling, dauwpunt en toepassingsgebied. Vacuüm wordt verkregen door de aanwezige lucht uit de ovenruimte weg te pompen.

BESCHERMENDE OF REDUCERENDE ATMOSFEER

Er bestaat een verschil tussen een beschermende en een reducerende atmosfeer. Beschermende gassen voorkomen oxidatie, maar werken niet reducerend. Alleen edelgassen zijn inert en verdienen als zodanig de voorkeur. Als beschermende gassen zijn te noemen: argon, helium, kool-dioxide, neon en stikstof. Bij het solderen in een beschermende atmosfeer is een vloeimiddel in het algemeen wel nodig. Een voordeel is, dat het vloeimiddel niet verbrandt,

tabel 2.4 Overzicht van gassen voor het solderen in beheerste atmosfeer

benaming	chemische samenstelling in vol. %				dauwpunt °C	opmerkingen	toepassingsgebied								
							koper ⁶⁾ /nikkel ⁴⁾	messing/brons	CuNiZn	edelmetaal	koolstofstaal		gelegeerd staal	roestvast staal	
	CO ₂	CO	H ₂	N ₂							C < 0,20%	C > 0,2%			
Exo-mager I	10...13	0...3	0...4	rest	+25	¹⁾	+								
Exo-mager II	-	-	-	-	+4	-	+								
Exo-mager III	-	-	-	-	-40	-	+								
Exo-rijk I				rest	+25	¹⁾		+		+					
Exo-rijk II	-	-	-	-	+4	-		+		+	+				
Exo-rijk III	-	-	-	-	-40	-		+	+	+	+				
Mono-arm CHN	0	0,5...0,7	0,5...0,7	rest	≤-40	¹⁾	+								
Mono-middel CHN	0	3...4	3...4	rest	≤-40	¹⁾					+	+			
Mono-rijk CHN	0	8...12	11...16	rest	≤-40	¹⁾			+			+	+		
Mono-arm HN	0	0	1...5	rest	≤-40	¹⁾	+	+		+		+	+		
Mono-rijk HN	0	0	10...20	rest	≤-40	¹⁾		+	+	+		+	+	+	
Endogas	0,1...1,0	14...23	30...40	rest	-10...+10	¹⁾							+	+	
Gekr. ammoniak	0	0	75	25	≤-40	²⁾		+	+					+	+
Waterstof	0	0	100	0	≤-40	^{3) 5)}								+	+
Menggas (niet brandbaar)	-	-	5...10	95...90	≤-40	^{2) 3)}	+			+		+	+		
Menggas (brandbaar)	-	-	25	75	≤-40	^{2) 3)}		+		+		+	+	+	
Stikstof	-	-	-	100	<0	^{1) 2) 3)}	+	+	+	+		+	+	+	
Argon	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+		+	+	+	+

1) Uitgangsgas: stadsgas, aardgas, propaan, LPG
2) Uitgangsgas: ammoniak
3) Meestal te betrekken uit stalen drukflessen
4) Gas dient S-vrij te zijn. Bij koper tevens niet te hoog H₂-gehalte i.v.m. waterstofbroshied
5) kan ook d.m.v. elektrolyse worden vervaardigd (zie ook mono-arm HN)
6) Bij zuurstofhoudend koper geen H₂ in de atmosfeer

+ = toe te passen gas

waardoor de standtijd wordt verlengd en de resten gemakkelijker te verwijderen zijn.
 Bij het solderen in een *reducerende atmosfeer* of in *vacuüm*, wordt geen vloeimiddel gebruikt, daar bij verhoogde temperatuur de reducerende atmosfeer het oxide ontleedt of in vacuüm het oxide uiteen valt.

OXIDATIE EN REDUCTIE

Bij verwarming van een metaal in lucht zal het metaal reageren met de daarin aanwezige zuurstof (oxidatie). De chemische reactie wordt als volgt voorgesteld:
 $2Me + O_2 \rightarrow 2MeO$

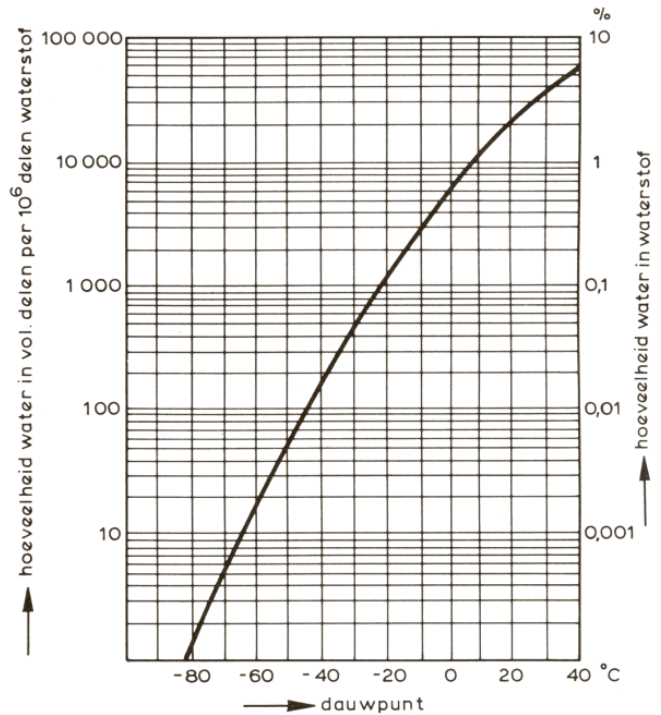
Bij verhitting van een metaal in waterstof verdwijnt de oxide van het oppervlak (reductie) volgens:
 $MeO + H_2 \rightleftharpoons Me + H_2O \uparrow$

Om de reductie te laten plaatsvinden, zal er voor moeten worden gezorgd, dat de reactie naar rechts verloopt. Hiervoor is nodig:

- ▶ een hoge temperatuur;
- ▶ een constante toevoer van zuiver gas;
- ▶ afvoer van de gevormde H₂O.

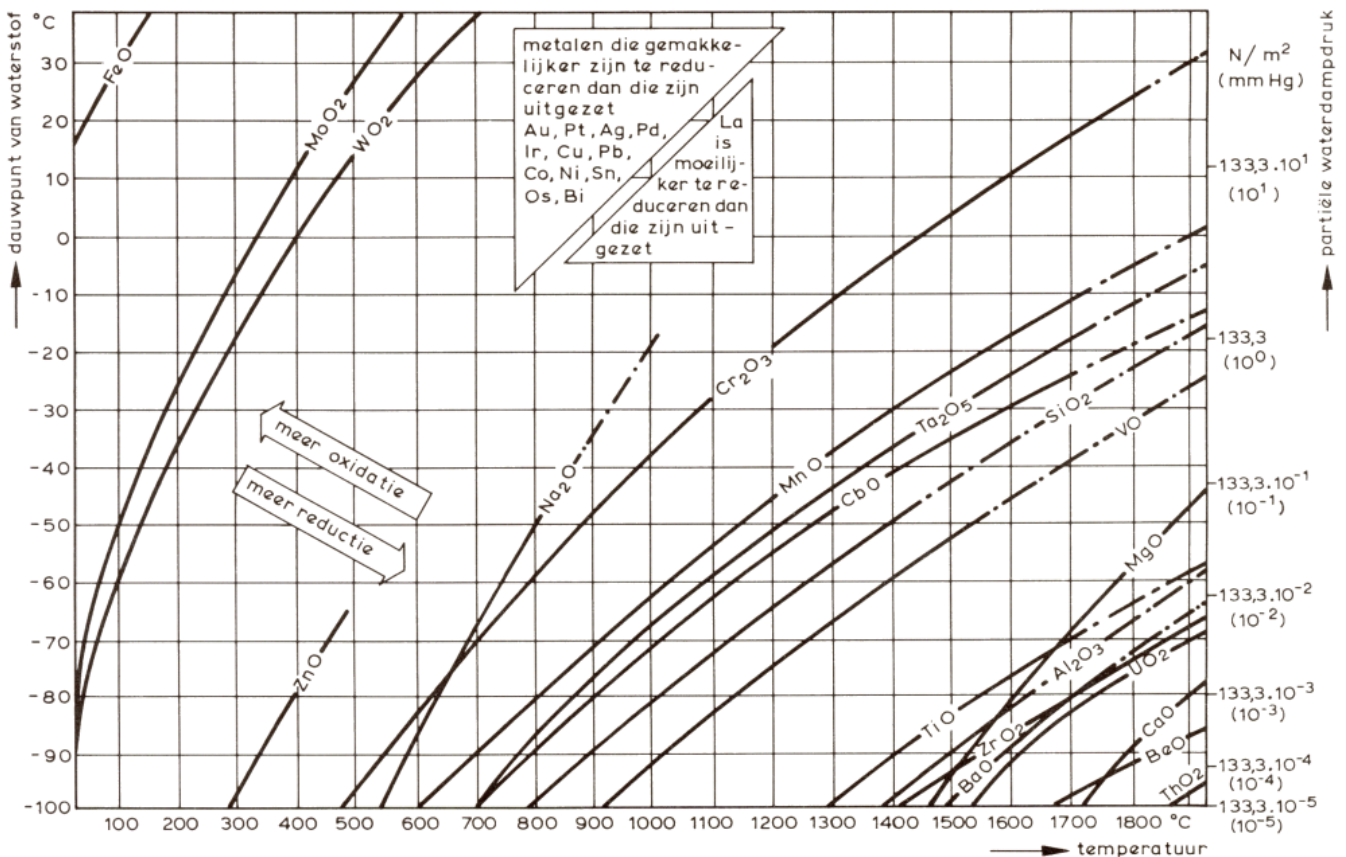
De zuiverheid van het gas wordt bepaald door het dauwpunt. Dit is de temperatuur, waarbij de partiële druk van de in het gas aanwezige waterdamp gelijk is aan de verzadigingsdruk (d.w.z. de temperatuur waarbij condensatie optreedt). Het verband tussen het dauwpunt en de hoeveelheid water in waterstof is aangegeven in figuur 2.7.

In figuur 2.8 zijn oxidatie-reductie evenwichtslijnen aangegeven voor verschillende zuivere metalen. Hieruit kan de temperatuur worden afgeleid, waarbij reductie begint, afhankelijk van de zuiverheid van het gas. Zo begint bijvoorbeeld de reductie van chromoxide in waterstof met



figuur 2.7 Dauwpunt afhankelijk van het watergehalte in waterstof

een dauwpunt van -50 °C bij een temperatuur boven 850 °C, terwijl dit in waterstof met een dauwpunt van -80 °C reeds bij een temperatuur 625 °C begint.



figuur 2.8 Metaal-metaaloxide evenwicht in zuivere waterstofatmosferen

Hoe verder we in de figuur naar rechts gaan, des te moeilijker zijn die oxiden te reduceren; d.w.z. deze vergen een hogere temperatuur en/of een lager dauwpunt.

De stabiliteit van de verschillende oxiden is niet alleen te verklaren door het verschil in oxidatiewarmte, doch berust evenzeer op een verschil in affiniteit, d.w.z. een verschil in bindingsneiging. De hiernavolgende reeks metalen is gerangschikt naar afnemende stabiliteit van hun oxide: lanthanium (La), beryllium (Be), magnesium (Mg), aluminium (Al), zirkonium (Zr), borium (B), titanium (Ti), silicium (Si), tantaal (Ta), niobium (Nb), chroom (Cr), zink (Zn), mangaan (Mn), tin (Sn), wolfram (W), molybdeen (Mo), ijzer (Fe), cadmium (Cd), bismut (Bi), osmium (Os), nikkel (Ni), kobalt (Co), lood (Pb), koper (Cu), iridium (Ir), palladium (Pd), zilver (Ag), platina (Pt) en goud (Au). Een vacuüm met een druk $< 1,33 \times 10^{-3}$ mbar (0,133 Pa; in oude eenheid: 10^{-3} torr) fungeert eveneens als een "reducerende" atmosfeer. Als mogelijke verklaringen hiervoor zijn te noemen:

- ▶ er vindt verdamping van het oxide plaats;
- ▶ er vindt dissociatie van het oxide plaats (uiteenvallen van het oxide);
- ▶ de zuurstof van het oxide diffundeert in het werkstukmateriaal (bijv. titaan);
- ▶ het oxide wordt gereduceerd door diffusie of reactie van de in het werkstukmateriaal aanwezige elementen, die een vluchtig oxide hebben (bijvoorbeeld koolstof, molybdeen en waterstof);
- ▶ het oxide springt open en gaat op het soldeer drijven.

Bij een reducerende gasatmosfeer is in de praktijk een dauwpunt van -80 °C als uiterste bereikbaar. Deze zuiverheid komt overeen met die van een vacuüm met een druk van $1,33 \times 10^{-3}$ mbar (0,133 Pa; in oude eenheid: 10^{-3} torr).

Een vacuüm van $1,33 \times 10^{-5}$ mbar ($1,33 \times 10^{-3}$ Pa; in oude eenheid: 10^{-5} torr) correspondeert met een dauwpunt van -100 °C en deze druk is praktisch bereikbaar. Uit de praktijk is gebleken, dat bij deze lage druk en een temperatuur van 1200 °C alle oxiden worden verwijderd.

MATERIAAL EN BEHEERSTE ATMOSFEER

De te solderen materialen zijn veelal legeringen. Het hoofdbestanddeel van de legering is niet altijd een maatstaf voor de vereiste ligging van het dauwpunt of de te stellen eisen aan de reducerende atmosfeer.

Koper kan bijvoorbeeld in oververhitte stoom blank worden gegloeid. CuZn (messing)-legeringen echter vergen een reducerende atmosfeer, waarvan het dauwpunt lager dient te liggen naarmate het Zn-gehalte hoger ligt vanwege het zinkoxide aanwezig op het oppervlak.

De chemische samenstelling van staal is eveneens van grote invloed op de eisen die moeten worden gesteld aan het reducerende gas.

Roestvast staal kan bijvoorbeeld pas worden gesoldeerd in waterstof of in een atmosfeer van gekraakte ammoniak ($75\% \text{H}_2 + 25\% \text{N}_2$) met een dauwpunt van minstens -30 °C. Is het roestvast staal echter gestabiliseerd met titaan, dan lukt dit door de aanwezigheid van het titaanoxide niet en moet het dauwpunt van de waterstof zo laag liggen, dat het praktisch onbereikbaar is (< -90 °C). In laatstgenoemde gevallen, waartoe ook de legeringen behoren met een hoog Ti- en Al-gehalte en de zogenaamde

"super alloys"*) is men genoodzaakt om een vloeimiddel te gebruiken, om te solderen in hoog vacuüm en dan vaak nog met een (chemische) oppervlakbehandeling vooraf. Bij de keuze van de soldeermethode dient naast de beheerste atmosfeer met name in vacuüm, voldoende aandacht te worden geschonken aan het te gebruiken hard- of hoogtemperatuursoldeer. De mogelijkheid bestaat, dat bij een zeer lage vacuümdruk en een zeer hoge soldeer-temperatuur, bepaalde elementen uit het soldeer verdampen, waardoor poreusheid kan ontstaan. In afnemende mate kan dit optreden, indien een of meer van de elementen cadmium, zink, antimoon, lood, mangaan, lithium, bismut, iridium, zilver of tin aanwezig zijn.

VEILIGHEIDSMATREGELEN

Van de beheerste atmosferen is (hoog)vacuüm het minst gevaarlijk. Atmosferen van waterstof en koolmonoxide, vermengd met lucht, zijn binnen wijde grenzen explosief. Stringente veiligheidsmaatregelen en strikte opvolging van de voorschriften zijn daarom vereist en een grote ervaring in het werken met dergelijke installaties is noodzakelijk. De explosiegrenzen van waterstof en koolmonoxide bedragen $4...75,6$ vol.%, resp. $12,5...74$ vol.% en de ontsteektemperaturen resp. 560 en 605 °C. Bij gebruik van deze gassen moet worden gezorgd, dat de oventemperatuur boven de ontsteektemperatuur ligt, alvorens het reducerend gas wordt toegelaten (principe van de waakvlam). Gassen als argon en stikstof, vaak toegepast bij het afkoelen van de ovenlading, verdringen zuurstof. Bij het openen en uitladen van de oven kunnen ze een verstikingsrisico veroorzaken voor het ovenpersoneel.

PRAKTIJKGEGEVENS

De voor het reduceren benodigde hoeveelheid waterstof is afhankelijk van het werkstukoppervlak, de dikte van de oxidehuid en de benodigde gassnelheid in de soldeernaden. De reductie is afhankelijk van de oventemperatuur en de zuiverheid van het gas (dauwpunt).

Normaal wordt per m^3 oveninhoud $30...100$ liter waterstof per minuut gebruikt bij een (soldeer)temperatuur die boven het evenwicht ligt.

De dauwpuntmeter in de uitlaat levert een aanwijzing voor het verloop van de reductie. De reductietijd bedraagt ongeveer 2 uur.

2.3.4 Inductiefsolderen

Kenmerk: Een zeer snelle plaatselijke verhitting door middel van een inductiespoel (figuur 2.9).

Het werkstuk wordt in het magneetveld van een ringvormige stroomgeleider gebracht. Door deze geleider, die inductor of werkspoel wordt genoemd, gaat een wisselstroom met een frequentie van $1000...10.000$ Hz (middelfrequent) of hoger dan 50.000 Hz (hoogfrequent). Hierdoor ontstaat rond de spoel een eveneens wisselend magneetveld. Dit veld veroorzaakt in het metaal dat daarin wordt gebracht, een inductiestroom, die door het Joule-effect het materiaal verhit. De indringdiepte van dit effect is afhankelijk van de frequentie en is geringer naarmate de frequentie hoger is. Voorts is de indringdiepte afhankelijk van de soortelijke weerstand en de magnetische geleidbaarheid van het te solderen werkstukmateriaal.

* De term "super alloys" ook wel superlegeringen genoemd wordt gebruikt voor een grote groep legeringen, die bij hoge temperatuur, zowel in sterkte als oxidatievastheid, superieur is ten opzichte van laaggelegeerd staal; zie ook VM 82 Hoogtemperatuursolderen.

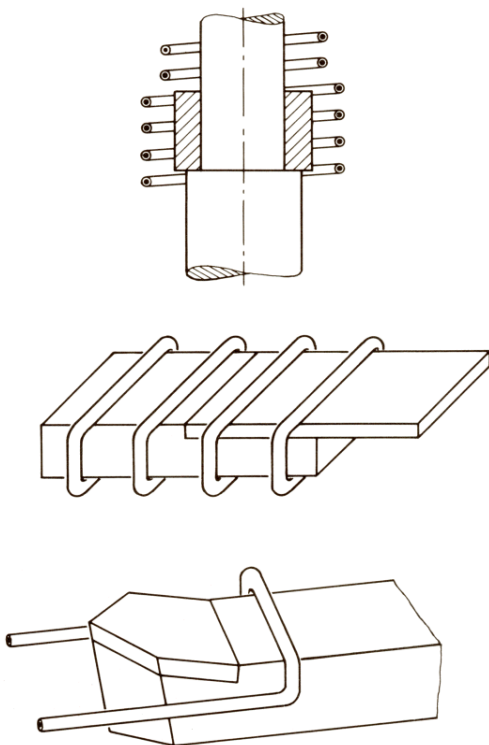
Er zijn drie groepen te onderscheiden:

- de nikkelbasislegeringen, bijv. $45\% \text{Ni}$, $15\% \text{Cr}$, $30\% \text{Co}$, $3\% \text{Mn}$, $2,2\% \text{Ti}$, $3,2\% \text{Al}$;
- de ijzerbasislegeringen, bijv. $53\% \text{Fe}$, $26\% \text{Ni}$, $15\% \text{Cr}$, $2\% \text{Ti}$, $0,2\% \text{Al}$;
- de kobaltbasislegeringen, bijv. $52\% \text{Co}$, $10\% \text{Ni}$, $20\% \text{Cr}$, $15\% \text{Mo}$.

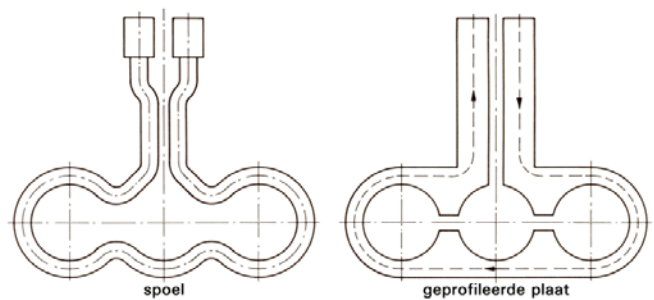


figuur 2.9 Inductiefsolderen (foto Handy & Harman)

Om op deze wijze te kunnen solderen, moet men beschikken over een generator met voldoende capaciteit (3 kW en hoger). De werkspoel moet een aan het product aangepaste vorm hebben (figuur 2.10), waardoor deze methode hoofdzakelijk geschikt is voor seriewerk. Het rendement van de verwarming is afhankelijk van de "koppeling" d.w.z. de positie van het werkstuk ten opzichte van de werkspoel (figuur 2.11). Bij een uitwendig aangebrachte



figuur 2.10 Product en vorm van de werkspoel



figuur 2.11 Een geprofileerde plaat geeft een betere "koppeling" met het werkstuk dan een spoel

werkspoel bedraagt het inductor-rendement 70...95%; bij een inwendig aangebrachte werkspoel 35...60% en bij een vlakke werkspoel 50...70%.

De voorbereiding van het werkstuk is identiek aan die bij andere soldeermethoden.

Hoewel inductiefsolderen in beheerste atmosfeer mogelijk is, wordt dit niet veelvuldig toegepast. Meestal werkt men met een vloeimiddel en vooraf geplaatst gevormd soldeer (soldeervormstukken), poeder of pasta.

De werkspoel moet zo worden geplaatst, dat het soldeer tot smelten wordt gebracht door de in het metaal ontwikkelde warmte. Werkstukken met grote verschillen in warmtecapaciteit, ter plaatse van de soldeernaad, zijn dikwijls lastig gelijkmatig te verwarmen.

Door een juiste frequentiekeuze en dosering van het vermogen, kunnen zeer korte soldeertijden worden bereikt.

Aantrekkelijkheden van het inductiefsolderen zijn:

- ▶ weinig oxidatie en weinig beïnvloeding van de structuur;
- ▶ door de snelle wijze van verhitten minder kans op optreden van erosie;
- ▶ lage energiekosten (door geringe indringdiepte en snel procesverloop);
- ▶ weinig of geen (krimp)vervorming;
- ▶ de bediening is eenvoudig en kan in het algemeen snel worden aangeleerd;
- ▶ goede reproductiemogelijkheid;
- ▶ geen aanlooptijd voor de productie (afgezien van de voorbereidingstijd van de werkspoel);
- ▶ leent zich goed voor automatisering.

Toepassing van *hoogfrequente wisselstroom*:

in het algemeen voor kleine en dunne werkstukken en geringe indringdiepte.

Toepassing van *middelfrequente wisselstroom*:

in het algemeen voor grotere werkstukken en grotere indringdiepte.

Voor het uitvoeren van berekeningen t.a.v. de indringdiepte en de ontwikkelde warmte worden enige formules en tabellen gegeven (tabel 2.5 en 2.6).

tabel 2.5 Indringdiepte S afhankelijk van materiaal en frequentie

materiaal	indringdiepte in mm		
	50 Hz	10 kHz	500 kHz
messing 620 °C	20	1,7	0,25
koper 620 °C	12	0,8	0,15
staal 620 °C $\mu = 40$	30	2,2	0,38
staal 900 °C $\mu = 1$	60	4	0,6

tabel 2.6 Soortelijke weerstand en permeabiliteit van enkele materialen

materiaal	chemische samenstelling in %														soortelijke weerstand $\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$	permeabiliteit μ
	Cu	Sn	Zn	Pb	Ni	Al	Mn	Fe	Si	Cr	C	Nb	Ti	Mo		
roodkoper	99,83	-	-	-	-	-	-	0,06	-	-	-	-	-	-	0,017	1,00005
messing 82	81,44	0,35	17,05	0,82	sporen		-	0,18	-	-	-	-	-	-	0,054	1,00002
aluminiumbrons	79,02	0,61	-	-	4,28	9,32	1,13	5,66	-	-	-	-	-	-	0,23	1,543
aluminiumbrons	85,47	-	-	-	1,09	9,89	0,41	3,12	-	-	-	-	-	-	0,23	1,194
Al Si 12	-	-	-	-	-	88	-	-	12	-	-	-	-	-	0,044	1,00006
gietijzer	6...7,5	-	-	-	13...15	-	0,7...1,2	rest	1,6...2,2	1,5...2	2,4...3	-	-	-	0,77	1,038
RVS AISi 304	-	-	-	-	8,63	-	-	rest	-	16,78	0,07	-	-	-	0,72	1,620
RVS AISi 310	-	-	-	-	22,98	-	-	rest	-	25,77	0,06	-	-	-	0,78	1,0039
RVS AISi 316	-	-	-	-	13,40	-	-	rest	-	18,39	0,05	-	-	2,14	0,74	1,0073
RVS AISi 321	-	-	-	-	8,51	-	-	rest	-	19,43	0,07	-	0,02	-	0,72	1,0513
RVS AISi 347	-	-	-	-	10,66	-	-	rest	-	17,30	0,07	0,60	-	-	0,72	1,0064

De indringdiepte δ kan worden berekend met de formule:

$$\delta = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f \cdot \mu}} \quad (\text{mm})$$

ρ = soortelijke weerstand in $\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

f = frequentie in Hz (1/s)

μ = relatieve permeabiliteit (magnetische geleidbaarheid)

De ontwikkelde warmte Q kan met behulp de volgende formule worden berekend:

$$Q = I^2 \cdot 4\pi^2 \cdot n \cdot l \cdot r \cdot \sqrt{\rho \cdot \mu \cdot f} \quad \text{in } 10^{-9} \text{ Watt}$$

I = spoelstroom in Ampère

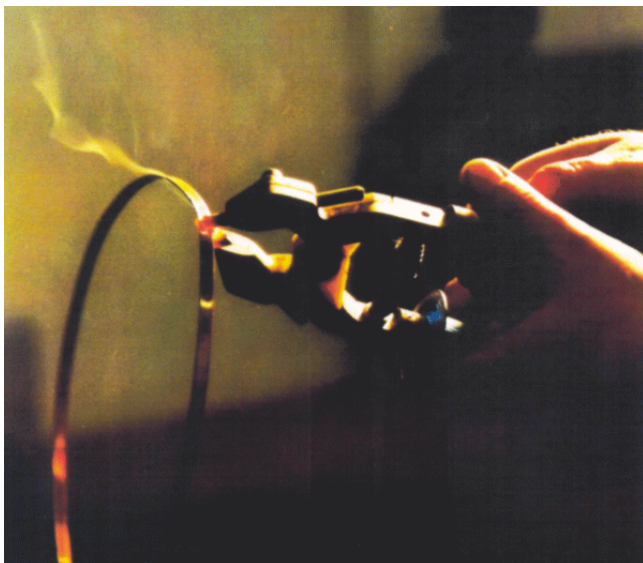
n = aantal wikkelingen per cm axiale spoellengte

r = de radius van het werkstuk in cm

l = de lengte van de spoel in cm.

2.3.5 Weerstandsolderen

Kenmerk: Snelle plaatselijke verwarming met eenvoudige apparatuur (figuur 2.12).



figuur 2.12 Weerstandsolderen (foto Degussa)

De gebruikte apparatuur vertoont veel overeenkomst met die voor het weerstandlassen (puntlassen). De soldeerplaats wordt verwarmd door de hoge elektrische stroom, die door het werkstukmateriaal wordt geleid.

De warmteontwikkeling is afhankelijk van stroomsterkte, weerstand en tijdsduur. De stroomsterkte ontstaat door een spanningsverschil aan te leggen tussen twee elektroden. De elektroden kunnen gevat zijn in één houder, die aan weerszijden van de soldeerplaats tegen het materiaal wordt gedrukt (figuur 2.13). Het is ook mogelijk om de soldeertafel als de ene en een beweegbare houder als de andere elektrode te laten fungeren.

Men werkt ook wel met een tangconstructie en, behalve met staf of blokvormige elektroden, ook met rollen, zodat een gesoldeerde "rolnaad" kan worden gevormd. De verwarming van de soldeerplaats kan verder direct of indirect geschieden, doch is meestal een combinatie van beide:

- ▶ directe verwarming vindt plaats indien de warmteontwikkeling hoofdzakelijk ontstaat door de weerstand, die de elektrische stroom in het werkstukmateriaal ondervindt.
- ▶ indirecte verwarming vindt plaats, indien hoofdzakelijk de in de contactblokken of elektroden ontwikkelde warmte door warmtegeleiding aan het werkstukmateriaal wordt overgedragen.

N.B. Ter plaatse waar de elektroden contact maken kan oververhitting optreden.

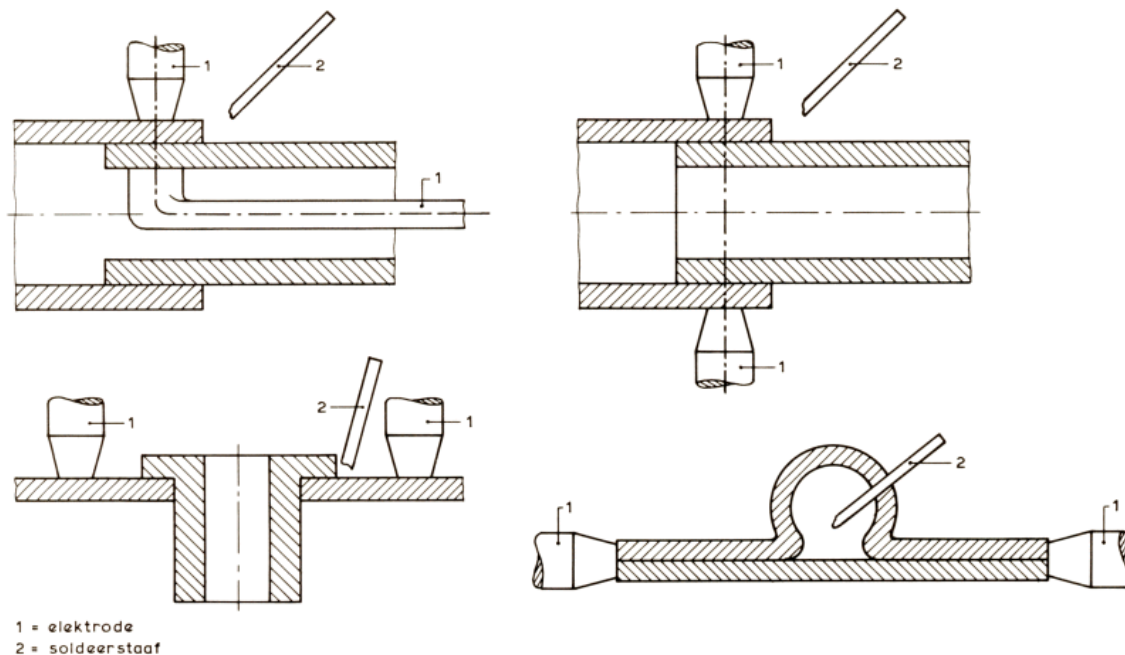
Eerstgenoemde wijze van verwarmen vindt plaats bij materialen met een hoge elektrische weerstand en laatstgenoemde methode bij materialen met een lage elektrische weerstand (bijvoorbeeld koper).

Bij materialen met lage elektrische weerstand kan ook een tussenlaag met een hoge elektrische weerstand worden toegepast (deze laag wordt meegeoldeerd).

In bepaalde gevallen kunnen bij gebruik van wisselstroom met grote stroomsterkte en lange stroomvoerende kabels, grote inductieverliezen ontstaan. Dit kan grote variaties in de soldeertijden veroorzaken. In een dergelijk geval wordt daarom gelijkstroom toegepast, omdat deze minder gevoelig is voor inductieverliezen.

Voor het solderen aan sanitaire installaties bestaan draagbare transformatoren, die op het lichtnet kunnen worden aangesloten.

De overlap moet bij deze soldeermethode breed genoeg zijn om voldoende warmteoverdracht te krijgen en het



figuur 2.13 Enkele voorbeelden van elektrodeplaatsing bij het weerstandsolderen

product sterk genoeg om de elektrodedruk te weerstaan. Bij gebruik van een vloeimiddel moet een type worden gekozen, dat in droge toestand elektrisch geleidend is. Aantrekkelijkheden van het weerstandsolderen zijn:

- ▶ de methode vergt weinig handvaardigheid;
- ▶ er bestaat weinig kans op beschadigingen, omdat zonder open vlam wordt gewerkt;
- ▶ het is gemakkelijk te automatiseren;
- ▶ gelijkmatige resultaten kunnen gemakkelijk worden bereikt;
- ▶ de investeringskosten zijn veelal gering.

2.3.6 Dompelsolderen

Kenmerk: Zeer snelle opwarming door onderdompeling.

Het dompelsolderen geschiedt in een badoven, waarbij het werkstuk geheel of gedeeltelijk wordt ondergedompeld in het bad (figuur 2.14). Deze methode wordt speciaal toegepast voor producten met soldeernaden die moeilijk bereikbaar zijn. De badvulling kan bestaan uit:

- ▶ gesmolten soldeer, afgedekt door een vloeimiddel: het z.g. soldeerbadsolderen;
- ▶ uitsluitend gesmolten vloeimiddel;
- ▶ gesmolten zout, eventueel met toevoeging van een vloeimiddel: het z.g. zoutbadsolderen.



figuur 2.14 Principe van het dompelsolderen

Bij het dompelsolderen vervult de badinhoud een dubbele functie. Deze zorgt namelijk voor de warmteoverdracht en beschermt tegen oxidatie. De samenstelling van de badvulling dient regelmatig te worden gecontroleerd, opdat het bad in goede conditie blijft.

De investering en de onderhoudskosten zijn hoog. De methode komt alleen in aanmerking bij een goede tot zeer goede bezettingsgraad en wanneer niet met behulp van een andere soldeermethode aan de gestelde eisen kan worden voldaan.

De zeer goede warmteoverdracht, die zo kenmerkend is voor het dompelsolderen, kan nadelig werken bij werkstukken met:

- ▶ grote warmtecapaciteit;
- ▶ plaatselijke verschillen in warmtecapaciteit t.g.v. (wand)dikteverschillen.

Deze bezwaren kunnen worden ondervangen door de werkstukken vóór te verwarmen tot even onder de soldeertemperatuur. Het voorverwarmen dient bij voorkeur plaats te vinden in een oven met geforceerde luchtcirculatie, waarbij de opwarming gelijkmatiger plaatsvindt. Dompelbaden met een zachtsoldeerbadvulling werden o.a. gebruikt bij de vervaardiging van koper/messing automobielradiatoren. Bij een goede voorverwarming kan vaak worden volstaan met een geringe en kortstondige onderdompeling; het soldeer vult de spleet door de capillaire werking.

Dompelbaden met een CuZn (messing) hardsoldeerbadvulling worden bijvoorbeeld toegepast voor het solderen van schoepen aan turbinewielen. Uiteraard wordt bij dompelsolderen het ondergedompelde gedeelte geheel met soldeer bedekt.

Dompelsolderen in een zoutbad met of zonder vloeimiddel wordt veel toegepast bij het solderen van aluminium werkstukken, vooral wanneer hoge eisen worden gesteld aan de maatvast- en lekdichtheid van de verbindingen. In dit geval moet de voorbereiding van de werkstukken zeer zorgvuldig geschieden. Het soldeer mag pas smelten, wanneer het werkstuk de soldeertemperatuur bereikt. Hiermee moet men rekening houden bij het aanbrengen van het soldeer.

Dompelsolderen in een zoutbad kan ook plaatsvinden met bijvoorbeeld CuZn-hardsoldeer. Wordt in een hittevast stalen bak gewerkt met een hardsoldeer dat koper bevat, dan bestaat de mogelijkheid dat koper in het zoutbad terecht komt en de bak wordt aangetast door koperpenetratie. Daarom worden dan bij voorkeur keramische bakken gebruikt, waarbij de verhitting met elektroden plaatsvindt; de energie- en zoutkosten zijn betrekkelijk hoog, de uitvoering van de bakken is dikwijls zeer eenvoudig.

Waarschuwing: *de werkstukken eerst goed drogen voordat ze in het dompelbad worden gebracht; dit i.v.m. stoomvorming en daardoor explosiegevaar.*

Na het dompelsolderen moeten de werkstukken grondig worden gereinigd. Vloeimiddel- en zoutresten kunnen ernstige corrosie veroorzaken. Het werkstuk moet zo zijn geconstrueerd, dat vloeimiddel- en zoutresten goed kunnen worden verwijderd en niet worden ingesloten.

2.3.7 Bijzondere dompelsoldeermethoden

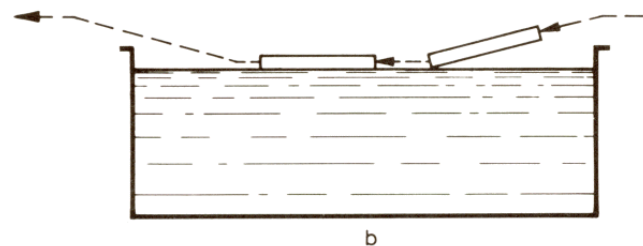
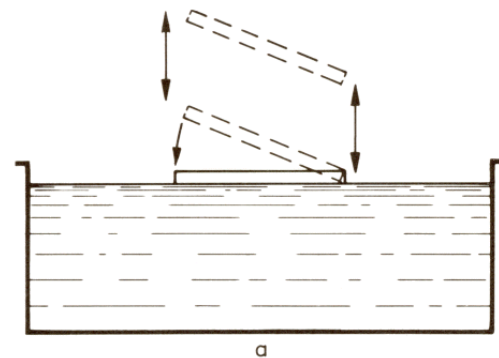
2.3.7.1 Automatisering van het dompelsolderen

De in § 2.3.6 beschreven dompelmethode is voor het zachtsolderen van prentpanelen met gedrukte bedrading (ook wel printplaten genoemd) in een aantal fasen tot een zeer ver doorgevoerd geautomatiseerde golfsoldeermethode ontwikkeld.

Oorspronkelijk werd het prentpaneel met vloeimiddel vlak neergelaten op een zorgvuldig van oxiden en vloeimiddelresten vrij gemaakt soldeerbad (figuur 2.14). Naar gelang van het te solderen samenstel wordt het soldeerbad op een temperatuur tussen 220 en 260 °C gehouden. Deze temperatuur kan worden opgevoerd tot 350...400 °C, wanneer, bijvoorbeeld in verband met het wegbranden van isolatie van met kunststof beklede koperdraden e.d., van hoog smeltende, dun vloeibare solderen wordt gebruikgemaakt. De contactduur voor het solderen moet zo kort mogelijk zijn, doch voldoende om een volledige bevochtiging van alle oppervlakken met soldeer te verkrijgen en alle spleten te vullen door de capillaire krachten. Zowel de tijdsduur als de maximale temperatuur van het bad moeten voor het begin van een productiegang proefondervindelijk worden vastgesteld, het z.g. process window.

Voor het uitvoeren van deze eenvoudige dompelmethode met de hand is het gewenst eerst een kant van het prentpaneel op het bad neer te laten, en dat eerst na enkele seconden het prentpaneel vol met het bad in aanraking wordt gebracht (zie a in figuur 2.15). Op die manier kunnen delen van het vloeimiddel en gasen daarvan ontsnappen. Wanneer bij het terugnemen uit het bad een zelfde beweging wordt uitgevoerd, voorkomt men druppelvorming en kortsluiting van draden door brugvorming.

In het algemeen is voor deze eenvoudige werkwijze, maar ook voor de volgende geautomatiseerde systemen, een temperatuur van 240...250 °C voldoende. Een contact(soldeer)-tijd van 5 seconden behoeft voor gebruikelijke elektronische samenstellingen niet te worden overschreden; als regel kan voor goed voorbereikte prentpanelen met 2...3 seconden worden volstaan. Dit voorkomt mogelijke beschadigingen van fijn-elektronische apparatuur op het prentpaneel als gevolg van een te hoge temperatuur. Factoren, zoals de totale massa van het samenstel (de warmtecapaciteit van het prentpaneel en de te solderen elementen), de hoeveelheid vloeimiddel en de vloeimiddelresten (in het bijzonder de hechting hiervan na het drogen), zullen allen de soldeertijd beïnvloeden. Daarom is het van belang, dat voor een bepaalde situatie op de soldeerplaats de juiste voorwaarden voor de vloeimiddelbehandeling worden vastgelegd.



figuur 2.15 Principe van het dompel- en sleepsolderen

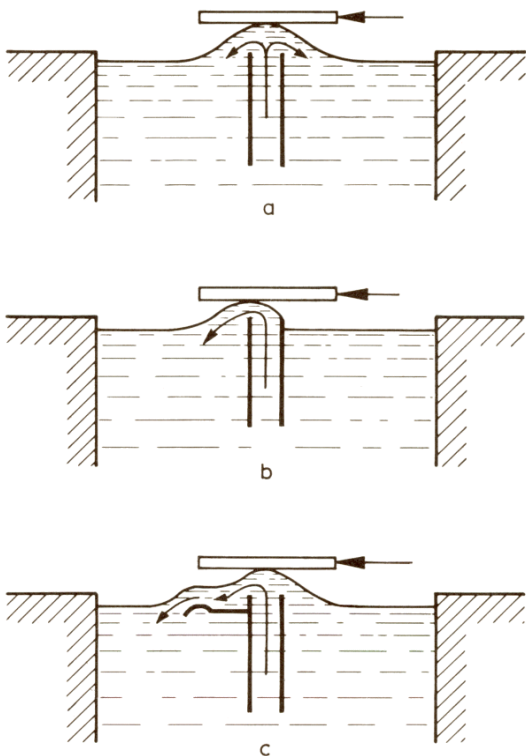
2.3.7.2 Sleepsolderen

In een volgende fase van automatisering vinden we het zogenaamde sleepsoldeerproces, waarbij met behulp van een transportinrichting het prentpaneel, nadat het een vloeimiddelbehandeling heeft ondergaan, als het ware op het bad wordt neergelaten, voortgesleept en weer van het bad wordt gelicht (zie b in figuur 2.15). De in- en afvoer vinden beide plaats onder een geringe hoek, ook weer om de vloeimiddelgassen kwijt te raken en het vloeien van het soldeer gelijkmatiger zonder brugvorming te doen verlopen. Het bad moet hierbij een speciale lengte hebben en de snelheid van voortgang over het bad, alsook de plaats en tijd van toediening van het vloeimiddel, moeten onder controle worden gehouden.

2.3.7.3 Golfsolderen

Met een stap verder, het vervangen van het dompelen door een gelijkmatig vlak transporteren van het prentpaneel over een golf soldeer (zie a in figuur 2.16), bereikt men in het automatiseringsproces nog enkele bijzondere voordelen. De uitvoering is betrekkelijk eenvoudig, doch vereist wel een bijzondere pompinstallatie in het bad, dat nu weer geringere afmetingen kan hebben. Het vloeibare soldeer wordt hierbij rond gepompt door een smalle spleet en vormt zodoende een continue soldeergolf, waarvan de top juist boven het badniveau uitkomt, waar het te solderen prentpaneel in een vlakke beweging doorheen kan worden gevoerd.

Het grote voordeel ten opzichte van de beide voorgaande methoden is, dat bij dit systeem steeds een praktisch oxidievrij soldeer voor het solderen beschikbaar blijft. Lucht, vloeimiddel en dampen worden door de beweging van het soldeer verwijderd. Brugvorming en mogelijke druppels kunnen vrij eenvoudig worden tegengegaan, door het transport over de soldeergolf ongeveer 5° hellend te doen plaatsvinden. Voorts zijn allerlei uitvoeringen van golfvorm en golfstroomrichting denkbaar, ter verbetering van het afvloeien van het soldeer om brug- en druppelvorming tegen te gaan (zie b en c in figuur 2.16).



figuur 2.16 Principe van het golfsolderen

EXTRA VOORZIENINGEN

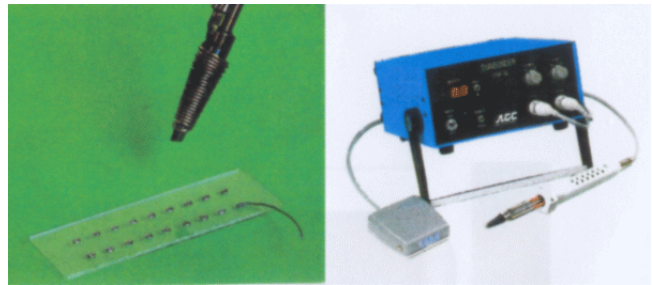
Soms treft men installaties aan waarbij, met behulp van extra voorzieningen, olie met een hoog vlammpunt in de top van de golf wordt geïnjecteerd, of die het gehele badoppervlak bedekt, hetgeen bijdraagt tot de zekerheid van een oxidevrij soldeervlak. Het voordeel hiervan moet echter worden afgewogen tegen de hogere kosten van de installatie en de bezwaren die kunnen ontstaan door koolresten van oxiderende olie. Normaal wordt echter aangenomen, dat voldoende vloeimiddel op het prentpaneel wordt aangevoerd om sporen oxiden nog te kunnen verwijderen. Een andere ontwikkeling ter beperking van oxidevorming en verbetering van de bevochtiging is het gebruik van een inerte stikstofatmosfeer in de soldeermachine tijdens het solderen. In deze zuurstofarme stikstofatmosfeer wordt tevens de vorming van "dross" (deeltjes soldeer omsloten door oxidehuiden) sterk beperkt, hetgeen de kwaliteit van de soldeerverbinding ten goede komt. Het golfsolderen wordt ook toegepast voor het solderen van commutatoren van elektromotoren en autoradiateurs aan de lopende band.

Gedurende het golfsolderen en de eerder genoemde dompsoldeermethode maakt men wel gebruik van ultrasone trillingen. Voor meer informatie over golfsolderen, zie ook VM 93 "Microsolderen".

2.3.8 *Ultrasoon solderen*

Deze methode van solderen wordt slechts weinig toegepast. Er wordt gebruikgemaakt van een ultrasone bout, waarvan de punt met ongeveer 20 kHz kan trillen (figuur 2.17).

De methode is aanvankelijk voor het vertinnen of het verbinden van aluminium gebruikt. De zeer harde aluminium-oxidelaag waarop gesmolten soldeer is aangebracht, wordt gebroken door cavitatie, die ontstaat aan de overgang tussen vloeibaar soldeer en de oxidelaag, als gevolg van



figuur 2.17 Ultrasoon solderen (foto Asahi)

de hoogfrequente trillingen. Het onderliggend metaal wordt hierdoor bereikbaar voor bevochtiging door het soldeer. Naderhand is de ultrasone techniek ook toegepast voor het vertinnen ("coaten") van andere metalen (germanium en siliconen) en geoxideerde draadeinden van elektronische onderdelen.

Hierom wordt deze techniek toegepast bij de productie van geïntegreerde circuits en transistoren. Het effect van de ultrasone trillingen is gewoonlijk niet zodanig dat geheel zonder vloeimiddel kan worden gewerkt. In bijzondere gevallen kan dit achterwege worden gelaten. Ultrasone apparatuur vergt een hoge investering met blijkbaar beperkte voordelen voor het merendeel van de toepassingen. Een verder nadeel is het indringende hoogfrequente geluid tijdens het gebruik.

2.3.9 *Bijzondere verwarmingsmethoden*

Naast de verwarmingsmethoden die bij de soldeermethoden ter sprake zijn gekomen, bestaan diverse andere mogelijkheden. Deze bijzondere verwarmingsmethoden hebben een dermate gespecialiseerde toepassing, bijvoorbeeld in de elektronica-industrie, dat het te ver voert om ze uitgebreid te behandelen. Hier wordt volstaan met het noemen en kort beschrijven van enkele mogelijkheden:

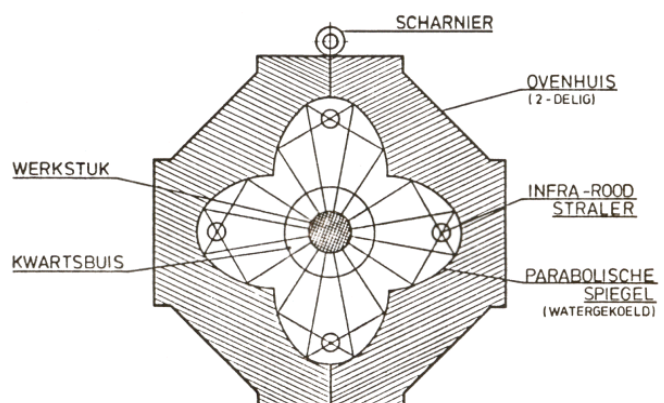
► **verwarmde plaat/band solderen**

Verwarming met behulp van verwarmde platen van bijvoorbeeld keramische substraten, waaraan vooraf soldeer is aangebracht. Dit is een goedkope, effectieve reflow soldeermethode voor vlakke enkelzijdige substraten (zie verder VM 93 "Microsolderen").

► **hete vloeistof solderen**

Verwarming met behulp van een stromende hete vloeistof (metaal, olie) van het substraat, bijvoorbeeld van prentpanelen bestaande uit epoxy-glasvezel laminaat voor het solderen van SMD's (= Surface Mounted Device); zie verder VM 93 "Microsolderen".

► **infraroodsolderen** (figuur 2.18).



figuur 2.18 Infraroodsolderen

Verwarming met behulp kwartsstralers of in ovens uitgerust met kwartsstralers die voor infrarood straling zorgen; infraroodsolderen wordt vooral toegepast voor prentpanelen met uitsluitend SMD's; zie verder VM 93 "Microsolderen".

► **hete lucht solderen**

Hete luchtverwarming van onderen wordt vaak toegepast voor het voorverwarmen van prentpanelen in sleep- en golfsoldeerprocessen, waarbij een temperatuur van ca. 100 °C is vereist; het is echter geen bruikbare methode vanwege het algehele verhitten om prentpanelen te solderen, daar het moeilijk is aan de onderzijde een voldoende hoge temperatuur te bereiken (zie verder VM 93 "Microsolderen").

► **heetgas solderen**

Door plaatselijk te verhitten met heet gas is het wel mogelijk de soldeertemperatuur te bereiken; deze methode wordt gebruikt als handsoldeertechniek voor bijvoorbeeld het reparatie-solderen van SMD's (zoals SO-IC's en QFP's = Quad Flat Pack; dit is een type IC-omhulling voor SMD's) op prentpanelen (zie verder VM 93 "Microsolderen").

► **dampfase solderen**

Voor de verhitting wordt gebruik gemaakt van de condensatiewarmte van een condenserende damp ("vapor phase soldering" = VPS). Dampfase solderen is uitermate geschikt voor het solderen van producten van allerlei vorm bijvoorbeeld keramische platen, prentpanelen met chipcarriers, enkel- en dubbelzijdig en met hoge bezettingsgraad aan SMD's (zie verder VM 93 "Microsolderen").

► **thermodesolderen**

Verwarming van de te solderen delen door middel van weerstandverhitting bij stroomdoorgang of door mechanisch contact met een verwarmingselement (soldeerbeugel) dat op zich ook weer door stroomdoorgang wordt verhit bijvoorbeeld voor het solderen van QFP's op prentpanelen (zie verder VM 93 "Microsolderen").

► **lasersolderen**

Verwarming van de te solderen delen vindt plaats met behulp van een gefocusseerde, monochromatische laserstraal; twee typen lasers worden voor het solderen van bijvoorbeeld IC's met veel pootjes toegepast: de CO₂-gaslaser en de Nd:YAG vaste stof laser (zie verder VM 93 "Microsolderen").

Hoofdstuk 3

Soldeersoorten

3.1 Inleiding

Afhankelijk van hun smeltpunt worden de soldeermaterialen als volgt ingedeeld:

- ▶ zachtsoldeersoorten met een smeltpunt onder 450 °C;
- ▶ hardsoldeersoorten met een smeltpunt boven 450 °C.

De hoogtemperatuursoldeersoorten worden gekenmerkt door een smeltpunt dat meestal rond of boven 800 °C ligt. Zachtsoldeersoorten kunnen bestaan uit legeringen op basis van elementen als bismut, indium, tin, cadmium, lood of zink, in volgorde van toenemende smeltemperatuur. Cadmium en lood dienen vanwege hun giftigheid gemeden te worden.

Legeringen op basis van aluminium, zilver, koper of nikkel zijn de belangrijkste hardsoldeersoorten.

De meest toegepaste hoogtemperatuursoldeersoorten zijn legeringen op basis van zilver, palladium, goud, koper of nikkel.

De belangrijkste, meest toegepaste soldeersoorten worden in de volgende paragrafen beschreven; voor een uitgebreide beschrijving van de hoogtemperatuursoldeersoorten wordt verwezen naar VM 82 "Hoogtemperatuursolderen".

3.2 Zachtsoldeersoorten

N.B. Onderstaande beschreven zachtsoldeersoorten met verwijzing naar de desbetreffende tabel zijn genormeerde soldeersoorten. Uiteraard zijn er meerdere zachtsoldeersoorten, maar die zijn echter niet gestandaardiseerd. In tabel 3.1 wordt de vergelijking gegeven tussen de legering-

nummers in ISO 9453 en afkortingen en chemische samenstelling volgens IEC 61190-1-3.

3.2.1 Loodhoudend tinsoldeer (zie ook tabel 3.2)

Vanwege het per 1 juli 2006 door de EU bepaalde verbod (RoHS) op het gebruik van loodhoudende soldeersoorten, dienen voortaan loodvrije soldeersoorten te worden gebruikt. Er zijn echter enkele uitzonderingen, zoals voor het solderen van medische hulpmiddelen en meet- en controle-apparatuur. Om die reden worden de loodhoudende tinsolderen hier toch besproken.

De tinloodsoldeersoorten zijn het bekendst wegens hun brede toepassing. In deze soldeersoorten kan het tingehalte variëren tussen 2 en 70%. Binnen de tinloodsoldeersoorten onderscheidt men de antimoonhoudende en de antimoonarme typen (antimoongehalte 0,2-3% resp. 0,05-0,2%). Het antimoon vervangt gedeeltelijk het duurdere tin en voorkomt bij temperaturen onder 10 °C het optreden van tinpest.

Het tinloodsoldeer met 63% tin en 37% lood heeft een eutectisch smeltpunt van 183 °C. Alle andere tinloodsoldeersoorten hebben een smeltraject, waarbij hun soldeer-temperatuur hoger ligt dan die van het 63/37 tinloodsoldeer. De soldeersoorten met een laag tingehalte (2-25%) worden toegepast voor bijvoorbeeld deklagen. Hoger tinhoudende soldeersoorten (25-50%) worden gebruikt om warmtewisselaars, autoradiateurs en sanitaire installaties (loodgieterswerk) te solderen.

De nog hoger tinhoudende soldeersoorten (60-70% tin) worden veelal in de elektrotechniek toegepast. Toevoeging van zilver (ca. 2%) geeft betere bevochtigings- en sterkte-eigenschappen aan tinloodsoldeer. Voor hogere bedrijfstemperaturen wordt een loodzilvertinsoldeer toegepast (smeltpunt 305 °C). Dit slecht vloeïend soldeer bevat ca. 97% lood.

tabel 3.1 Vergelijking tussen legeringsnummers in ISO 9453 en afkortingen en chemische samenstelling volgens IEC 61190-1-3

legeringsnaam	ISO 9453 legeringsnummer	IEC 61190-1-3 afkorting	Sn %	Cu %	Bi %	In %	Ag %	Sb %	andere component elementen	temperatuur	
										solidus	liquidus
Sn99	-	Sn99	99,9	-	-	-	-	-	-	232	a
Sn97Ag3	702	A30	rest-97,0	-	-	-	3,0	-	-	230	245
Sn96,5Ag3,5	703	A35	rest-96,5	-	-	-	3,5	-	-	221	b
Sn96,3Ag3,7	701	A37	rest-96,3	-	-	-	3,7	-	-	221	228
Sn99,3Cu0,7	401	C7	rest-99,3	0,7	-	-	-	-	-	227	b
Sn99Cu0,7Ag0,3	501	C7A3	rest-99,0	0,7	-	-	0,3±0,1	-	-	217	227,3
Sn95Cu4Ag1	502	C40A10	rest-95,0	4,0±0,5	-	-	1,0	-	-	217	353
Sn92Cu6Ag2	503	C60A20	rest-92,0	6,0	-	-	2,0	-	-	217	380
Sn96,5Ag3Cu0,5	711	A30C5	rest-96,5	0,5	-	-	3,0	-	-	217	220
Sn95,8Ag3,5Cu0,7	712	A35C7	rest-95,8	0,7	-	-	3,5	-	-	217	b
Sn95,5Ag3,8Cu0,7	713	A38C7	rest-95,5	0,7	-	-	3,8	-	-	217c	226
Sn95,5Ag4,0Cu0,5	714	A40C5	rest-95,5	0,5	-	-	4,0	-	-	217	229
Sn96Ag2,5Bi1Cu0,5	721	A25B10C5	rest-96,0	0,5	1,0	-	2,5	-	-	213	218
BiS8Sn42	301	B580	rest-42,0	-	58,0	-	-	-	-	139	b
Sn97Cu3	402	C30	rest-97,0	3,0	-	-	-	-	-	227	310
In52Sn48	601	N520	rest-48,0	-	-	52,0	-	-	-	118	b
Sn88In8Ag3,5Bi0,5	611	N80A35B05	rest-88,0	-	0,5	8,0	3,5	-	-	196	206
Sn92In4Ag3,5Bi0,5	612	N40A35B05	rest-92,0	-	0,5	4,0	3,5	-	-	210	216
Sn95Sb5	201	S50	rest-95,0	-	-	-	-	4,5-5,5	-	235	240
Sn91Zn9	801	Z90	rest-91,0	-	-	-	-	-	Zn8,0	199	b
Sn89Zn8Bi3	811	Z80B30	rest-89,0	-	3,0	-	-	-	Zn8,0	190	197

a Smeltpunt.

b Eutectische (leg.).

c Waarden gemeten met Differential Scanning Calorimetry (DSC). Op een andere manier kan een eutectische temperatuur van 217 °C worden gemeten met de thermokoppel meetmethode.

tabel 3.2 Chemische samenstelling van tin-lood zachtsolderen volgens ISO 9453:2006 (tin-lood, lood-tin, tin-lood-antimoon, tin-lood-bismuth, tin-lood-cadmium, tin-lood-koper, tin-lood-zilver en lood-zilver)

groep	legeringsnummer ^{a)}	legeringsaanduiding volgens ISO 3677 ^{b)}	smelt- of solidus/liquidus temperatuur [°C] ^{c)}	chemische samenstelling in gewichtsprocenten ^{d),e)}													
				Sn	Pb	Sb	Bi	Cd	Cu	Au	In	Ag	Al	As	Fe	Ni	Zn
tin-lood binair legeringen solidustemperatuur 183 °C	101	S-Sn63Pb37	183	62,5 tot 63,5	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	102	S-Sn63Pb37E	183	62,5 tot 63,5	rest	0,05	0,05	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	103	S-Sn60Pb40	183/190	59,5 tot 60,5	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	104	S-Sn60Pb40E	183/190	59,5 tot 60,5	rest	0,05	0,05	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
lood-tin binair legeringen solidustemperatuur 183 °C	111	S-Pb50Sn50	183/215	49,5 tot 50,5	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	112	S-Pb50Sn50E	183/215	49,5 tot 50,5	rest	0,05	0,05	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	113	S-Pb55Sn45	183/226	44,5 tot 45,5	rest	0,50	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	114	S-Pb60Sn40	183/238	39,5 tot 40,5	rest	0,50	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
lood-tin binair legeringen solidustemperatuur > 183 °C	115	S-Pb65Sn35	183/245	34,5 tot 35,5	rest	0,50	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	116	S-Pb70Sn30	183/255	29,5 tot 30,5	rest	0,50	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	117	S-Pb80Sn20	183/280	19,5 tot 20,5	rest	0,50	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	121	S-Pb85Sn15	226/290	14,5 tot 15,5	rest	0,50	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-lood-antimoon	122	S-Pb90Sn10	268/302	9,5 tot 10,5	rest	0,50	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	123	S-Pb95Sn5	300/314	4,5 tot 5,5	rest	0,50	0,10	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	124	S-Pb98Sn2	320/325	1,8 tot 2,2	rest	0,12	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	131	S-Sn63Pb37Sb	183	62,5 tot 63,5	rest	0,20 tot 0,50	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-lood-bismuth	132	S-Sn60Pb40Sb	183/190	59,5 tot 60,5	rest	0,20 tot 0,50	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	133	S-Pb50Sn50Sb	183/216	49,5 tot 50,5	rest	0,20 tot 0,50	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	134	S-Pb58Sn42Sb2	185/231	39,5 tot 40,5	rest	2,0 tot 2,4	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	135	S-Pb69Sn31Sb1	185/250	29,5 tot 30,5	rest	0,5 tot 1,8	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-lood-cadmium	136	S-Pb74Sn25Sb1	185/263	24,5 tot 25,5	rest	0,5 tot 2,0	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	137	S-Pb78Sn20Sb2	185/270	19,5 tot 20,5	rest	0,5 tot 3,0	0,25	0,005	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	141	S-Sn60Pb38Bi2	180/185	59,5 tot 60,5	rest	0,20	2,0 tot 3,0	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	142	S-Pb49Sn48Bi3	178/205	47,5 tot 48,5	rest	0,20	2,5 tot 3,5	0,002	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-lood-koper	151	S-Sn50Pb32Cd18	145	49,5 tot 50,5	rest	0,20	0,10	17,5 tot 18,5	0,08	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	161	S-Sn60Pb39Cu1	183/190	59,5 tot 60,5	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	1,2 tot 1,6	0,05	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	162	S-Sn50Pb49Cu1	183/215	61,5 tot 62,5	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	1,2 tot 1,6	0,05	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	171	S-Sn62Pb36Ag2	179	61,5 tot 62,5	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	1,8 tot 2,2	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
lood-zilver	181	S-Pb98Ag2	304/305	0,25	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	2,0 tot 3,0	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	182	S-Pb95Ag5	304/370	0,25	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	5,0 tot 6,0	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
lood-zilver-tin	191	S-Pb93Sn5Ag2	296/301	4,8 tot 5,2	rest	0,20	0,10	0,002	0,08	0,05	0,10	1,2 tot 1,8	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001

a) Voor informatie over IEC afkortingen, zie tabel 3.1.
b) In de voorgestelde revisie van ISO 3677 moet "S-" weggelaten worden van de legeringsaanduiding.
c) De temperaturen zijn ter informatie en zijn geen gespecificeerde eisen voor de legering.
d) Alle enkelvoudige opgegeven cijfers zijn maximum waarden.
e) Elementen weergegeven als "rest" (bijv. restant) zijn berekende waarden als verschil van 100 %.

3.2.2 *Loodvrij tinsoldeer* (zie ook tabel 3.3)

Loodvrije soldeersoorten op tinbasis zijn o.a. tinantimoon-, tinbismut-, tinzilver-, tinkoper- en tinzinksoldeer. In elektronietoepassingen worden veelal laagsmeltende tinzilverkopersolderen (SnAg 1,0-5,0 gew.% Cu 0,5-1,0 gew.%) gebruikt, aangeduid als SAC-legeringen. Een veel toegepast soldeer is bijvoorbeeld SAC305 (Sn96,5Ag3,0Cu0,5) met een smeltpunt van 217 °C. Voorts worden in de elektronica-productie tinzilver solderen (SnAg 1,0-5,0 gew.%), tinkopersolderen (SnCu 0,5-3 gew.%) en tinkopernikkelsolderen (SnCu 0,7-3 gew.% Ni 0-0,1 gew.%) toegepast. Ook worden wel voor enkele massatoepassingen met lagere kwaliteitseisen SnZn legeringen al dan niet met toevoegingen (bijv. Al) gebruikt. SnZn solderen hebben een lager smeltpunt en een lagere kostprijs. Nadeel is de nog gebrekkige oxidatiebestandheid. Als nadelen van de loodvrije t.o.v. de tinloodsolderen kunnen genoemd worden:

1. hoger smelttemperatuur en dito procestemperatuur;
2. slechter vloeigedrag;
3. doffer uiterlijk;
4. brossere verbindingen;
5. snellere gereedschap slijtage (bouttips en soldeerpots) t.g.v. het sterker oplossen van vreemde elementen in het soldeer vanwege het hogere tinaandeel.

3.2.3 *Tinantimoonoldeer* (zie ook tabel 3.3)

Tinantimoonoldeer met een samenstelling van 95% tin en 5% antimoon heeft een smeltraject liggend tussen 235-240 °C. Dit soldeer is bestand tegen lage bedrijfstemperaturen, zodat het geschikt is voor cryogene toepassingen. De mechanische sterkte van dit soldeer is vergelijkbaar met die van tinzilveroldeer.

Tinantimoonoldeer (95%-5%) heeft een hoger smeltpunt dan tinzilveroldeer, waardoor de soldeertemperatuur ca. 60 °C hoger ligt, terwijl het vloeigedrag op koperlegeringen veel geringer is. Dit soldeer vindt vooral toepassing in de elektrotechniek en de koeltechniek.

3.2.4 *Tinbismutoldeer* (zie ook tabel 3.3)

De tinbismutoldeer hebben lage smelttemperaturen; in de eutectische samenstelling 58% bismut en 42% tin ligt het smeltpunt op 139 °C, lager dan het eutectisch smeltpunt van tinloodsoldeer (183 °C). Het soldeer is met name geschikt voor het solderen van koper en koperlegeringen. Bij bevochtigingsproblemen is het aan te raden vooraf te vertinnen of te verzinken.

Bij toenemende temperatuur en belastingduur neemt de sterkte van de verbinding snel af. Het soldeer is o.a. geschikt om tinnen bestek te solderen.

3.2.5 *Tinzilveroldeer* (zie ook tabel 3.3)

Tinzilveroldeer wordt toegepast in de samenstellingen 95% tin en 5% zilver of 96,5% tin en 3,5% zilver; het 96,5/3,5 tinzilveroldeer heeft een eutectisch smeltpunt van 221 °C. De maximale bedrijfstemperatuur kan voor dit soldeer oplopen tot 175 °C.

De sterkte van tinzilveroldeer is hoger dan van tinloodsoldeer. Tinzilveroldeer is geschikt voor gebruik in de voedingsmiddelenindustrie (lood- en cadmiumvrij) en drinkwaterleidingen (soldeer is niet corrosief). Het soldeer vindt dan ook toepassing in warmwaterleidingen, cv-ketels, boilers en dergelijke.

3.2.6 *Tinkopersoldeer* (zie ook tabel 3.3)

Als vervanger van het dure zilver in tinzilveroldeer wordt koper gebruikt. Nadelen van het goedkopere tinkopersol-

deer zijn de hogere soldeertemperatuur en de ongeveer 100 °C lagere bedrijfstemperatuur dan bij tinzilveroldeer het geval is. De lagere toelaatbare bedrijfstemperatuur wordt veroorzaakt door ongunstiger microstructurele soldeemaadeigenschappen.

3.2.7 *Tinzinksoldeer* (zie ook tabel 3.3)

Het tinzinksoldeer in de samenstelling 91% tin en 9% zink met een laag smeltpunt (199 °C) is interessant als alternatief voor de dure SAC-legeringen. Voor het zacht solderen van aluminium wordt tinzinksoldeer toegepast, bijvoorbeeld Sn 85-92 Zn 8-15 (smeltraject 200-210 à 250 °C) en Sn 50-70 Zn 30-50 (smeltraject 200-310 à 350 °C), voor respectievelijk ultrasoon solderen en solderen met de bout. Zij zijn echter niet corrosiebestendig. Hier voldoen zinkcadmiumlegeringen (cadmium giftig!) beter.

3.3 *Hardsoldeersoorten*

Hier kunnen worden onderscheiden:

- ▶ aluminiumhardsoldeer;
- ▶ zilverhardsoldeer;
- ▶ koperfosforhardsoldeer;
- ▶ koperhardsoldeer;
- ▶ koperzinkhardsoldeer (messingsoldeer, lasbrons);
- ▶ nikkel- en kobalthardsoldeer;
- ▶ palladiumhardsoldeer;
- ▶ goudhardsoldeer.

N.B.

1. Onderstaande beschreven hardsoldeersoorten met verwijzing naar de desbetreffende tabel(len) zijn genormeerde soldeersoorten. Uiteraard zijn er meerdere hardsoldeersoorten, die zijn echter niet gestandaardiseerd.
2. Tabel 3.4 geeft de verontreinigingsgrenzen aan voor soldeersoorten waaraan speciale vacuümeisen worden gesteld. In het algemeen zullen dit soldeersoorten betreffen die bij het hoogtemperatuursolderen worden toegepast en/of gebruikt worden voor vacuümtoepassingen.

tabel 3.4 Verontreinigingsgrenzen voor speciale vacuümeisen

verontreiniging	grens (in gew.%, max)	
	grade 1	grade 2
C ¹⁾	0,005	0,005
Cd	0,001	0,002
P	0,002	0,002 ²⁾
Pb	0,002	0,002
Zn	0,002	0,001
Mn ³⁾	0,002	0,001
In ³⁾	0,003	0,002
alle andere elementen waarvan de dampdruk bij 500 °C groter is dan $1,3 \times 10^{-10}$ bar ⁴⁾	0,001	0,002

1) Soldeer AG 401 (zie tabel 3.8), kan na afstemming tussen klant en leverancier met lagere koolstofgehalten worden geleverd.
 2) Voor soldeer AG 401, 0,02% als maximum.
 3) Uitgezonderd waar anders gespecificeerd in de tabellen 3.4 tot en met 3.11.
 4) Voorbeelden van dergelijke elementen zijn Ca, Cs, K, Li, Mg, Na, Rb, S, Sb, Se, Sr, Te, Tl. Voor dergelijke elementen (inclusief Cd, Pb en Zn) wordt het totaal beperkt tot 0,010%.

tabel 3.3 Chemische samenstelling van loodvrije tin zachtsolderen volgens ISO 9453:2006 (tin-antimoon, tin-bismuth, tin-koper, tin-indium, tin-zilver en meer complexe samenstellingen)

groep	legeringsnummer ^{a)}	legeringsaanduiding volgens ISO 3677 ^{b)}	smelt- of solidus/liquidustemperatuur [°C] ^{c)}	chemische samenstelling in gewichtsprocenten ^{d),e)}													
				Sn	Pb ^{f)}	Sb	Bi	Cd	Cu	Au	In	Ag	Al	As	Fe	Ni	Zn
tin-antimoon	201	S-Sn95Sb5	235/240	rest	0,10	4,5 tot 5,5	0,10	0,002	0,05	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	301	S-Bi58Sn42	139	41 tot 43	rest	0,10	0,10	0,002	0,05	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-koper	401	S-Sn99Cu1 (S99,3Cu0,7)	227	rest	0,10	0,10	0,002	0,5 tot 0,9	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001	
	402	S-Sn97Cu3	227/310	rest	0,10	0,10	0,002	2,5 tot 3,5	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001	
tin-koper-zilver	501	S-Sn98Cu1Ag (S99Cu0,7Ag0,3)	217/227	rest	0,10	0,10	0,002	0,5 tot 0,9	0,05	0,10	0,2 tot 0,4	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001	
	502	S-Sn95Cu4Ag1	217/353	rest	0,10	0,10	0,002	3,5 tot 4,5	0,05	0,10	0,8 tot 1,2	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001	
indium-tin	503	S-Sn92Cu6Ag2	217/380	rest	0,10	0,10	0,002	5,5 tot 6,5	0,05	0,10	1,8 tot 2,2	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001	
	601	S-In52Sn48	118	47,5 tot 48,5	0,10	0,10	0,002	0,05	0,05	rest	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001	
tin-koper-zilver-bismuth	611	S-Sn87In8Ag4Bi1 ^{h)} (S88In8Ag3,5Bi0,5)	197/208	rest	0,10	0,10	0,3 tot 0,7	0,002	0,05	0,05	7,5 tot 8,5	3,2 tot 3,8	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	612	S-Sn91In4Ag4Bi1 ^{h)} (S92In4Ag3,5Bi0,5)	210/215	rest	0,10	0,10	0,3 tot 0,7	0,002	0,05	0,05	3,5 tot 4,5	3,2 tot 3,8	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-zilver	701	S-Sn96Ag4 (S96,3Ag3,7)	221/228	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,05	0,05	0,10	3,5 tot 3,9	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	702	S-Sn97Ag3	221/224	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,05	0,05	0,10	2,8 tot 3,2	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-zilver-koper	703	S-Sn96Ag4 (S96,5Ag3,5)	221	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,05	0,05	0,10	3,3 tot 3,7	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	704	S-Sn95Ag5	221/240	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,05	0,05	0,10	4,8 tot 5,2	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-zilver-koper	711	S-Sn96Ag3Cu1 ^{h)} (S96,5Ag3Cu0,5)	217/220	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,3 tot 0,7	0,05	0,10	2,8 tot 3,2	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	712	S-Sn95Ag4Cu1 ^{h)} (S95,8Ag3,5Cu0,7)	217/218	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,5 tot 0,9	0,05	0,10	3,3 tot 3,7	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-zilver-koper	713	S-Sn95Ag4Cu1 ^{h)} (S95,5Ag3,8Cu0,7)	217/226 ^{h)}	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,5 tot 0,9	0,05	0,10	3,6 tot 4,0	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
	714	S-Sn95Ag4Cu1 ^{h)} (S95,5Ag4Cu0,5)	217/229	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,3 tot 0,7	0,05	0,10	3,8 tot 4,2	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-zilver-bismuth-koper	721	S-Sn95Ag3Bi1Cu1 ^{h)} (S96Ag2,5Bi1Cu0,5)	213/218	rest	0,10	0,10	0,8 tot 1,2	0,002	0,3 tot 0,7	0,05	0,10	2,3 tot 2,7	0,001	0,03	0,02	0,01	0,001
tin-zink	801	S-Sn91Zn9	199	rest	0,10	0,10	0,10	0,002	0,05	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	8,5 tot 9,5
tin-zink-bismuth	811	S-Sn89Zn8Bi3	190/197	rest	0,10	0,10	2,8 tot 3,2	0,002	0,05	0,05	0,10	0,10	0,001	0,03	0,02	0,01	7,5 tot 8,5

a) Voor informatie over IEC afkortingen, zie tabel 3.1.
b) In de voorgestelde revisie van ISO 3677 moet "S-" weggelaten worden van de legeringsaanduiding en deze dan nauwkeuriger gespecificeerd. Zie ook de legeringsaanduiding tussen haakjes.
c) De temperaturen zijn ter informatie en zijn geen gespecificeerde eisen voor de legering.
d) Alle enkelvoudige opgegeven cijfers zijn maximum waarden als verontreinigingen. Gebieden zijn opgegeven voor de legeringen
e) Elementen weergegeven als "rest" (bijv. restant) zijn berekende waarden als verschil van 100 %.
f) Loodcijfers opgegeven tot 0,20 % kunnen in toepassingen worden gebruikt die niet onder bestaande wetgeving vallen waarin lagere loodniveaus zijn vereist, en daar waar overeengekomen door koper en leverancier.
g) Het nikkelgehalte als verontreiniging wordt niet gespecificeerd; echter er dient op het feit gelet te worden dat patenten zijn verleend voor legeringen die Sn, Cu en Ni bevatten.
h) Legering onderworpen aan patentrechten, zie ook de inleiding voor patenthouders in ISO 9453:2006(E).
i) Waarden bepaald met Differential Scanning Calorimetry (DSC). Als andere mogelijkheid kan een eutectische temperatuur van 217 °C worden gemeten met de thermokoppel meetmethode.

3.3.1 Aluminiumhardsoldeer (zie ook tabel 3.5)

De aluminiumhardsolderen voor het solderen van aluminium en aluminiumlegeringen bestaan uit legeringen van aluminium en silicium. Omdat aluminiumlegeringen laag-smeltend zijn (< 660 °C) wordt veelal de bijna eutectische legering van aluminium met 11-13% silicium als soldeer toegepast met een smelttraject van 577-582 °C. Soldeersoorten op basis van aluminium met een lager siliciumgehalte smelten bij een hogere temperatuur (hebben een groter smelttraject), waardoor de te solderen aluminiumlegering gevaar loopt te smelten tijdens het solderen.

3.3.2 Zilverhardsoldeer (zie ook tabel 3.6)

Door zilver (20 tot 50%) aan messing toe te voegen, kunnen zilverhardsolderen verkregen worden met een lagere soldeertemperatuur (750-840 °C). Nog hogere zilveragehalten (56-60%) in koper-zinklegeringen met tintoevoegingen geven soldeersoorten die bij nog lagere soldeertemperaturen (650-760 °C) zijn toe te passen. Voor het solderen van hardmetaal worden zilver-, koper-, zink- en nikkel- of tinhoudende solderen toegepast. Roestvast staal wordt met zilvermangaan gesoldeerd. De cadmiumhoudende zilverhardsolderen mogen vanwege hun giftigheid niet zonder meer worden toegepast. Als alternatief gelden de cadmiumvrije zilverhardsolderen. Roestvast staal wordt met zilvermangaan gesoldeerd, terwijl ook cadmiumhoudende zilverhardsolderen kunnen worden toegepast. Het gebruik van cadmiumhoudende zilverhardsolderen is echter om milieuredenen beperkt (zie ook de opmerking aan het eind van dit hoofdstuk).

3.3.3 Koperfosforhardsoldeer (zie ook tabel 3.7)

De koperfosforsolderen worden voornamelijk toegepast voor het solderen van koper. Voordeel is dat dan geen vloeimiddel hoeft te worden toegepast; het fosfor vervult de rol van het vloeimiddel. Aan deze brosse soldeersoorten wordt vaak 2-15% zilver toegevoegd om de ductiliteit van de soldeernaad te verbeteren. Afhankelijk van de samenstelling ligt de soldeertemperatuur tussen 650-930 °C. Een hoger fosforgehalte (tot 8,5%) en/of een hoger zilveragehalte (tot 18%) hebben een lager smeltpunt tot gevolg. Deze soldeersoorten zijn niet zwavelbestendig.

3.3.4 Koperhardsoldeer (zie ook tabel 3.8)

Het metaal koper wordt toegepast voor het solderen van ongelegeerd staal, rvs, nikkel en koper-nikkel. Gezien de hoge soldeertemperatuur (> 1083 °C) is kopersoldeer voornamelijk geschikt om in ovens te worden gebruikt.

Kopersoldeer vereist een zeer nauwe soldeerspleet (een nulspleet is mogelijk; de spleet ontstaat dan ten gevolge van de oppervlakteruwheid van de te solderen delen). Een gevaar dat bij het solderen van staal met kopersoldeer kan optreden, is penetratie van vloeibaar soldeer langs de korrelgrenzen in het staal (het z.g. LME = Liquid Metal Embrittlement), waardoor de (vermoeings)sterkte zeer negatief beïnvloed kan worden.

3.3.5 Koperzinkhardsoldeer (zie ook tabel 3.9)

De koperzinkhardsolderen met kopergehalten variërend tussen 40-60% koper en daarbij behorende soldeertemperaturen tussen 850 en 955 °C zijn geschikt voor het solderen van staal, koper en koperlegeringen. Net zoals bij koperhardsoldeer dient gewaakt te worden voor oververhitting, maar om een andere reden: bij te hoge temperatuur kan het zink ontwijken. De koperzinkhardsolderen zijn gevoelig voor ontzinkingscorrosie.

3.3.6 Nikkel- en kobalthardsoldeer (zie ook tabel 3.10)

Voor een uitgebreide beschrijving van deze soldeersoorten, die voornamelijk bij het hoogtemperatuursolderen veelvuldig worden toegepast, wordt verwezen naar VM 82 "Hoogtemperatuursolderen".

3.3.7 Palladiumhardsoldeer (zie ook tabel 3.11)

Voor een uitgebreide beschrijving van deze soldeersoorten, die voornamelijk bij het hoogtemperatuursolderen veelvuldig worden toegepast, wordt verwezen naar VM 82 "Hoogtemperatuursolderen".

3.3.8 Goudhardsoldeer (zie ook tabel 3.12)

Voor een uitgebreide beschrijving van deze soldeersoorten, die voornamelijk bij het hoogtemperatuursolderen veelvuldig worden toegepast, wordt verwezen naar VM 82 "Hoogtemperatuursolderen".

Opmerking betreffende cadmiumhoudende zilverhardsolderen: Door zilver aan koperzinklegeringen toe te voegen, kan het smeltpunt worden verlaagd (zie § 3.3.2). Toevoeging van cadmium geeft een nog verdere verlaging van het smeltpunt; zo heeft het veel toegepaste, zeer goed vloeibare soldeertype AG 304 met ca. 20% Cd een smelttraject van 595-630 °C.

Voortaan dienen vanwege het per 1 juli 2006 door de EU bepaalde verbod op het gebruik van cadmium (RoHS) cadmiumvrije soldeersoorten te worden gebruikt. Uitzonderingen worden gemaakt voor medische hulpmiddelen en meet- en controle-apparatuur.

tabel 3.5 Groep H1 Aluminiumhardsolderen volgens prEN 1044:2006

code	samenstelling in gewichtsprocenten										smelttraject (ongeveer)		
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Bi	overige elementen		Al	solidus °C	liquidus °C
	min/max	max	min/max	max	min/max	max	max	min/max	max	max			
AL 101	4,5/6,0	0,6	-/0,30	0,15	-/0,20	0,10	0,15	-/-	0,05	0,15	rest	575	630
AL 102	6,8/8,2	0,8	-/0,25	0,10	-/-	0,20	-	-/-	0,05	0,15	rest	575	615
AL 103	9,0/11,0	0,8	-/0,30	0,05	-/0,05	0,10	0,20	-/-	0,05	0,15	rest	575	590
AL 104	11,0/13,0	0,6	-/0,30	0,15	-/0,10	0,20	0,15	-/-	0,05	0,15	rest	575	585
AL 201	9,0/11,0	0,6	3,0/5,0	0,15	-/0,10	0,20	0,15	-/-	0,05	0,15	rest	520	585
AL 301	9,0/10,5	0,8	-/0,25	0,10	1,0/2,0	0,20	-	-/-	0,05	0,15	rest	555	590
AL 302	9,0/10,5	0,8	-/0,25	0,10	1,0/2,0	0,20	-	0,02/0,20	0,05	0,15	rest	555	590

tabel 3.6 Groep H5 Zilverhardsolderen volgens prEN 1044:2006

code	samenstelling in gewichtsprocenten									smelttraject (ongeveer)	
	Ag	Cu	Zn	Cd	Sn	Si	Ni	In	Mn	solidus	liquidus
	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	°C	°C
AG 101	59,0/61,0	22,0/24,0	12,0/16,0	-/0,01	2,0/4,0	-/0,05	-/-	-/-	-/-	620	685
AG 102	55,0/57,0	21,0/23,0	15,0/19,0	-/0,01	4,0/6,0	-/0,05	-/-	-/-	-/-	620	655
AG 103	54,0/56,0	20,0/22,0	20,0/24,0	-/0,01	1,5/2,5	-/0,05	-/-	-/-	-/-	630	660
AG 104	44,0/46,0	26,0/28,0	23,5/27,5	-/0,01	2,0/3,0	-/0,05	-/-	-/-	-/-	640	680
AG 105	39,0/41,0	29,0/31,0	26,0/30,0	-/0,01	1,5/2,5	-/0,05	-/-	-/-	-/-	650	710
AG 106	33,0/35,0	35,0/37,0	25,5/29,5	-/0,01	2,0/3,0	-/0,05	-/-	-/-	-/-	630	730
AG 107	29,0/31,0	35,0/37,0	30,0/34,0	-/0,01	1,5/2,5	-/0,05	-/-	-/-	-/-	665	755
AG 108	24,0/26,0	39,0/41,0	31,0/35,0	-/0,01	1,5/2,5	-/0,05	-/-	-/-	-/-	680	760
AG 201	62,0/64,0	23,0/25,0	11,0/15,0	-/0,01	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	690	730
AG 202	59,0/61,0	25,0/27,0	12,0/16,0	-/0,01	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	695	730
AG 203	43,0/45,0	29,0/31,0	24,0/28,0	-/0,01	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	675	735
AG 204	29,0/31,0	37,0/39,0	30,0/34,0	-/0,01	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	680	765
AG 205	24,0/26,0	39,0/41,0	33,0/37,0	-/0,01	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	700	790
AG 206	19,0/21,0	43,0/45,0	34,0/38,0	-/0,01	-/-	0,05/0,25	-/-	-/-	-/-	690	810
AG 207	11,0/13,0	47,0/49,0	38,0/42,0	-/0,01	-/-	0,05/0,25	-/-	-/-	-/-	800	830
AG 208	4,0/6,0	54,0/56,0	38,0/42,0	-/0,01	-/-	0,05/0,25	-/-	-/-	-/-	820	870
AG 301	49,0/51,0	14,0/16,0	14,0/18,0	17,0/21,0	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	620	640
AG 302	44,0/46,0	14,0/16,0	14,0/18,0	22,0/26,0	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	605	620
AG 303	41,0/43,0	16,0/18,0	14,0/18,0	23,0/27,0	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	610	620
AG 304	39,0/41,0	18,0/20,0	19,0/23,0	18,0/22,0	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	595	630
AG 305	34,0/36,0	25,0/27,0	19,0/23,0	16,0/20,0	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	610	700
AG 306	29,0/31,0	27,0/29,0	19,0/23,0	19,0/23,0	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	600	690
AG 307	24,0/26,0	29,0/31,0	25,5/29,5	15,5/19,5	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	605	720
AG 308	20,0/22,0	34,5/36,5	24,5/28,5	14,5/18,5	-/-	0,3/0,7	-/-	-/-	-/-	610	750
AG 309	19,0/21,0	39,0/41,0	23,0/27,0	13,0/17,0	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	605	765
AG 351	49,0/51,0	14,5/16,5	13,5/17,5	14,0/18,0	-/-	-/0,05	2,5/3,5	-/-	-/-	635	655
AG 401 ^{a)}	71,0/73,0	27,0/29,0	-/-	-/0,01	-/-	-/0,05	-/-	-/-	-/-	780	780
AG 402	59,0/61,0	29,0/31,0	-/-	-/0,01	9,0/11,0	-/0,05	-/-	-/-	-/-	600	730
AG 403	55,0/57,0	26,25/28,25	-/-	-/0,01	-/-	-/0,05	2,0/2,5	13,5/15,5	-/-	600	710
AG 501	84,0/86,0	-/-	-/-	-/0,01	-/-	-/0,05	-/-	-/-	14,0/16,0	960	970
AG 502	48,0/50,0	15,0/17,0	21,0/25,0	-/0,01	-/-	-/0,05	4,0/5,0	-/-	6,5/8,5	680	705
AG 503	26,0/28,0	37,0/39,0	18,0/22,0	-/0,01	-/-	-/0,05	5,0/6,0	-/-	8,5/10,5	680	830

a) Voor speciale vacuümtoepassingen, zie tabel 3.4.

opmerking: Maximale verontreinigingsgrenzen, van toepassing op alle types, zijn (in gew.%): voor Al 0,001, Bi 0,030, P 0,008, Pb 0,025; totaal aan alle verontreinigingen: 0,15; totaal aan alle verontreinigingen voor AG 401 tot en met AG 403 = 0,15; totaal aan alle verontreinigingen voor AG 501 tot en met AG 503 = 0,30.

tabel 3.7 Groep H2 Koperfosforhardsolderen volgens prEN 1044:2006

code	samenstelling in gewichtsprocenten						smelttraject (ongeveer)		indicatieve minimale soldeer-temperatuur
	Cu	P	Ag	Ni	Sb	Sn	solidus	liquidus	
		min/max	min/max	max	min/max	max	°C	°C	
CP 101	rest	6,6/7,5	17,0/19,0	-/-	-/-	-/-	645	645	650
CP 102	rest	4,7/5,3	14,5/15,5	-/-	-/-	-/-	645	800	700
CP 103	rest	7,0/7,6	5,5/6,5	0,05/0,15	-/-	-/-	645	725	690
CP 104	rest	5,7/6,3	4,5/5,5	-/-	-/-	-/-	645	815	710
CP 105	rest	5,9/6,7	1,5/2,5	-/-	-/-	-/-	645	825	740
CP 201	rest	7,5/8,1	-/-	-/-	-/-	-/-	710	770	720
CP 202	rest	6,6/7,4	-/-	-/-	-/-	-/-	710	820	730
CP 203	rest	5,9/6,5	-/-	-/-	-/-	-/-	710	890	760
CP 301	rest	5,6/6,4	-/-	-/-	1,8/2,2	-/-	690	825	740
CP 302	rest	6,4/7,2	-/-	-/-	-/-	6,5/7,5	650	700	700

opmerking 1 Maximale verontreinigingsgrenzen, van toepassing op alle types, zijn (in gew.%) voor Al 0,01, Bi 0,030, Cd 0,01, Pb 0,025, Zn 0,05; totaal van alle verontreinigingen: 0,25.

opmerking 2 Deze solderen moeten nooit worden toegepast op ijzerhoudende metalen, nikkellegeringen of koperlegeringen die nikkel bevatten.

opmerking 3 Anders dan voor de meeste solderen die slechts bevredigend vloeien rond of boven de liquidustemperatuur, geldt dat de meeste koperfosforhardsolderen voldoende vloeien of solderen op een temperatuur duidelijk onder de liquidustemperatuur.

tabel 3.8 Groep H3 Koperhardsolderen volgens prEN 1044:2006 (Cu 100 en Cu 200 serie)

code	samenstelling in gewichtsprocenten							smelttraject (ongeveer)	
	Cu (incl. Ag)	Sn	Ag	Ni	P	B	totale verontreinigingsgrenzen	solidus	liquidus
	min	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	max	°C	°C
CU 101	99,90	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,04 (uitgezonderd 0 en Ag)	1085	1085
CU 102	99,95	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,3 (uitgezonderd Ag)	1085	1085
CU 103	99,00	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	0,30 (uitgezonderd 0)	1085	1085
CU 104	99,90	-/-	-/-	-/-	0,015/0,040	-/-	0,060 (uitgezonderd Ag, As en Ni)	1085	1085
CU 105	rest	-/-	-/-	2,5/3,5	-/-	0,02/0,05	0,15 (uitgezonderd Ag)	1085	1100
CU 106	rest	-/-	0,8/1,2	-/-	-/-	-/0,1	0,3 (inclusief B 0,1 max)	1070	1080
CU 201	rest	5,5/7,0	-/-	-/-	0,01/0,40	-/-	Al 0,005, Cd 0,01, Pb 0,02, Zn 0,05, overige 0,1; totaal 0,4	910	1040
CU 202	rest	11,0/13,0	-/-	-/-	0,01/0,40	-/-		825	990

tabel 3.9 Groep H4 Koperzinkhardsolderen volgens prEN 1044:2006 (CU 300 serie)

code	samenstelling in gewichtsprocenten						smelttraject (ongeveer)	
	Cu	Zn	Sn	Si	Mn	Ni	solidus	liquidus
	min/max		min/max	min/max	min/max	min/max	°C	°C
CU 101	58,5/61,5	rest	-/0,2	0,2/0,4	-/-	-/-	875	895
CU 102	58,5/61,5	rest	0,2/0,5	0,2/0,4	-/-	-/-	875	895
CU 103	58,5/61,5	rest	-/0,2	0,15/0,4	0,05/0,25	-/-	870	900
CU 104	58,5/61,5	rest	0,2/0,5	0,15/0,4	0,05/0,25	-/-	870	900
CU 105	46,0/50,0	rest	-/0,2	0,15/0,4	-/0,2	8,0/11,0	890	920
CU 106	56,0/62,0	rest	0,5/1,5	0,1/0,5	0,2/1,0	0,2/1,5	870	890

opmerking Maximale verontreinigingsgrenzen, van toepassing op alle types, zijn (in gew.%) voor Al 0,01, As 0,01, Bi 0,01, Cd 0,01, Fe 0,25, Pb 0,02, Sb 0,01; totaal aan verontreinigingen, uitgezonderd Fe: 0,2.

tabel 3.11 Groep H7 Palladiumhardsolderen volgens prEN 1044:2006

code	samenstelling in gewichtsprocenten						smelttraject (ongeveer)	
	Ag	Cu	Pd	Mn	Ni	Co	solidus	liquidus
	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	min/max	°C	°C
PD 101 ^{a)}	53,5/54,5	20,5/21,5	24,5/25,5	-/-	-/-	-/-	900	950
PD 102 ^{a)}	51,5/52,5	27,5/28,5	19,5/20,5	-/-	-/-	-/-	875	900
PD 103 ^{a)}	64,5/65,5	19,5/20,5	14,5/15,5	-/-	-/-	-/-	850	900
PD 104 ^{a)}	67,0/68,0	22,0/23,0	9,5/10,5	-/-	-/-	-/-	830	860
PD 105 ^{a)}	58,0/59,0	31,0/32,0	9,5/10,5	-/-	-/-	-/-	825	850
PD 106 ^{a)}	68,0/69,0	26,0/27,0	4,5/5,5	-/-	-/-	-/-	805	810
PD 201 ^{a)}	-/-	-/-	59,5/60,5	-/-	39,5/40,5	-/-	1235	1235
PD 202	74,5/75,5	-/-	19,5/20,5	4,5/5,5	-/-	-/-	1000	1120
PD 203 ^{a)}	-/-	81,5/82,5	17,5/18,5	-/-	-/-	-/-	1080	1090
PD 204	94,5/95,5	-/-	4,5/5,5	-/-	-/-	-/-	970	1010
PD 301 ^{a)}	-/-	-/-	64,0/66,0	-/-	-/0,06	rest	1230	1235

a) Voor speciale vacuümtoepassingen, zie tabel 3.4

opmerking 1 Voor PD 101 tot en met 106 en PD 203 en 204 zijn maximale verontreinigingsgrenzen van toepassing (in gew.%) voor Al 0,0010, P 0,008, Ti 0,002, Zr 0,002; totaal aan alle verontreinigingen 0,15.

opmerking 2 Voor PD 201 en 202 zijn maximale verontreinigingsgrenzen van toepassing (in gew.%) voor Al 0,010, Ti 0,01, Zr 0,01; totaal aan alle verontreinigingen 0,30.

tabel 3.10 Nikkel- en kobalthardsolderen volgens prEN 1044:2006

Groep H6 Nikkelhardsolderen (zie ook VM 82)															
code	samenstelling in gewichtsprocenten												smelttraject (ongeveer)		
	Ni	Co	Cr	Si	B	Fe	C	P	W	Cu	Mn	Mo	Nb	solidus °C	liquidus °C
NI 101	rest	0,10	13,0/15,0	4,0/5,0	2,75/3,50	4,0/5,0	0,60/0,90	-/0,02	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	980	1060
NI 1A1	rest	0,10	13,0/15,0	4,0/5,0	2,75/3,50	4,0/5,0	-/0,06	-/0,02	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	980	1070
NI 102	rest	0,10	6,0/8,0	4,0/5,0	2,75/3,50	2,5/3,5	-/0,06	-/0,02	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	970	1000
NI 103	rest	0,10	-/-	4,0/5,0	2,75/3,50	-/0,5	-/0,06	-/0,02	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	980	1040
NI 104	rest	0,10	-/-	3,0/4,0	1,50/2,20	-/1,5	-/0,06	-/0,02	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	980	1070
NI 105	rest	0,10	18,5/19,5	9,75/10,50	-/0,03	-/-	-/0,06	-/0,02	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	1080	1135
NI 106	rest	0,10	-/-	-/-	-/-	-/-	-/0,06	10,0/12,0	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	875	875
NI 107	rest	0,10	13,0/15,0	-/0,10	-/0,01	-/0,2	-/0,06	9,7/10,5	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	890	890
NI 108	rest	0,10	-/-	6,0/8,0	-/-	-/-	-/0,06	-/0,02	4,0/5,0	21,5/24,5	-/-	-/-	-/-	980	1010
NI 109	rest	0,10	13,5/16,5	-/-	3,25/4,0	-/1,5	-/0,06	-/0,02	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	1055	1055
NI 110	rest	0,10	10,0/13,0	3,0/4,0	2,0/3,0	2,5/4,5	0,40/0,55	-/0,02	15,0/17,0	-/-	-/-	-/-	-/-	970	1105
NI 111	rest	0,10	9,0/11,75	3,35/4,25	2,2/3,1	2,5/4,0	0,30/0,50	-/0,02	11,5/12,75	-/-	-/-	-/-	-/-	970	1095
NI 112	rest	0,10	24,0/26,0	-/0,10	-/0,02	-/0,2	-/0,06	9,0/11,0	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	880	950
NI 113	rest	0,10	7,0/9,0	3,8/4,8	2,75/3,50	-/0,4	-/0,06	-/0,02	2,0/3,0	-/-	1,5/2,5	1,5/2,5	970	1080	
Kobalthardsolderen volgens prEN 1004:2006															
code	Co	Ni	Cr	Si	B	Fe	C	P	W			solidus °C	liquidus °C		
		min/max	min/max	min/max	min/max	max	min/max	max	min/max			1120	1150		
CD 101	rest	16,0/18,0	18,0/22,0	7,5/8,5	0,70/0,90	1,0	0,35/0,45	0,02	3,5/4,5			1120	1150		

Opmerking: Maximale verontreinigingsgrenzen, van toepassing op alle types, zijn (in gew.%) voor Al 0,05, S 0,005, Se 0,005, Ti 0,05, Zr 0,05; als elementen anders dan die gegeven in de tabel of in deze voetnoot worden aangetroffen, dan zal de hoeveelheid van deze elementen moeten worden bepaald. Het totaal van dergelijke andere elementen mag 0,50% niet overschrijden.

tabel 3.12 Groep H8 Goudhardsolderen volgens prEN 1044:2006

code	samenstelling in gewichtsprocenten				smelttraject (ongeveer)	
	Au	Cu	Ni	Fe	solidus	liquidus
	min/max	min/max	min/max	min/max	°C	°C
AU 101 ^{a)}	79,5/80,5	18,5/19,5	-/-	0,5/1,5	905	910
AU 102 ^{a)}	62,0/63,0	37,0/38,0	-/-	-/-	930	940
AU 103 ^{a)}	37,0/38,0	62,0/63,0	-/-	-/-	980	1000
AU 104 ^{a)}	29,5/30,5	69,5/70,5	-/-	-/-	995	1020
AU 105 ^{a)}	81,5/82,5	-/-	17,5/18,5	-/-	950	950
AU 106 ^{a)}	74,5/75,5	-/-	24,5/25,5	-/-	950	990

a) Voor speciale vacuümtoepassingen, zie tabel 3.4.

opmerking: Maximale verontreinigingsgrenzen, van toepassing op alle types, zijn (in gew.%) voor Al 0,0010, P 0,008, Ti 0,002, Zr 0,002; totaal aan verontreinigingen: 0,15.

Hoofdstuk 4

Vloeimiddelen

4.1 Inleiding

Vloeimiddelen worden op de te solderen oppervlakken aangebracht om ervoor te zorgen dat:

- ▶ oxidefilms van het materiaaloppervlak (inclusief het soldeeroppervlak) worden verwijderd en/of te voorkomen dat deze tijdens het solderen ontstaan (het vooraf zo goed mogelijk schoon- en oxidevrij maken blijft een noodzaak voor het verkrijgen van een goed resultaat);
- ▶ de oppervlakspanning van het soldeer wordt verlaagd, waardoor het soldeer beter kan uitvloeien (zie § 1.1 "Inleiding").

Een vloeimiddel moet daarom aan de volgende eisen voldoen:

- ▶ het moet werkzaam zijn over een zo groot mogelijk temperatuurgebied en tenminste bij de temperatuur, waarbij bevochtiging door het soldeer plaatsvindt;
- ▶ het moet gesmolten zijn bij een lagere temperatuur dan die, waarbij het soldeer smelt. Dit kan voor de soldeerder een aanwijzing zijn dat de soldeertemperatuur spoedig zal worden bereikt;
- ▶ het moet tijdens het bevochtigingsproces gemakkelijk door het soldeer kunnen worden verdrongen (lagere soortelijke massa). Dit ter voorkoming van vloeimiddel-insluiting;
- ▶ het moet een goede thermische stabiliteit bezitten tot op de werktemperatuur, d.w.z. niet verdampen, ontleden of verkolen en daardoor zijn reinigende en beschermende werking verliezen.

In het algemeen moet er - voor een bepaalde toepassing - naar worden gestreefd een vloeimiddel te kiezen waarvan:

- ▶ de agressiviteit zo laag mogelijk is;
- ▶ de "standtijd" voldoende is voor de benodigde soldeercyclustijd;
- ▶ de resten zo gemakkelijk mogelijk kunnen worden verwijderd.

Getracht dient te worden het vloeimiddel zo spaarzaam mogelijk te gebruiken. Dit punt verdient vooral de aandacht voor vloeimiddelen met een corrosief residu. Vloeimiddelen zijn in verschillende vormen in de handel. Men kent vloeimiddelen als vloeistoffen, poeders en pasta's. Ook worden wel vloeimiddelen als bekleding om, of als kern in de soldeerdraad aangebracht. Ten slotte heeft men poeders of pasta's, waarin zowel de soldeer als het vloeimiddel fijn verdeeld voorkomen. Veel vloeimiddelen kunnen irriterend werken op de huid en vooral bij verwondingen is voorzichtigheid geboden. Bij het werken in besloten ruimten is een goede ventilatie noodzakelijk.

Gelet op het verschil in stabiliteit van oppervlakoxiden en alle andere eisen, die aan een vloeimiddel worden gesteld, is het niet verwonderlijk dat er een groot assortiment vloeimiddelen bestaat (zie tabellen 4.1 t/m 4.4).

4.2 Vloeimiddelen voor het zachtsolderen (tabel 4.2 en 4.3)

4.2.1 Typen vloeimiddelen

Naar de aard van de werkzame bestanddelen kan een onderscheid worden gemaakt in drie typen, nl.:

- ▶ niet of zeer weinig corroderend (op harsbasis);

- ▶ matig corroderend (niet op harsbasis);
- ▶ corroderend (op anorganische basis).

tabel 4.1 De indeling van zachtsoldeervloeimiddelen naar hun hoofdbestanddelen c.f. ISO 9454-1

Vloeimiddel			
Type	Basis	Activering	Vorm
1 Hars	1 op colofonium basis (rosin)	1 geen activator toegevoegd	A vloeibaar
	2 op non-colofonium basis (resin)	2 halogeen geactiveerd ¹⁾	
2 Organisch	1 wateroplosbaar	3 niet-halogeen geactiveerd	B vast
	2 wateronoplosbaar		
3 Anorganisch	1 zouten	1 met ammoniumchloride 2 zonder ammoniumchloride	C pasta
	2 zuren	1 fosforzuur 2 andere zuren	
	3 alkalisch	1 amines en/of ammonia	

1) Andere activatoren kunnen aanwezig zijn.

Opmerkingen

a. De voorgaande indelingswijze komt overeen met die in de norm (NEN-) ISO 9454-1. In deze norm is ook voor een aanduidingswijze van de vloeimiddelen gekozen (middels de cijfercombinaties van 1, 2 en 3) die afwijkt van die in de niet meer geldende norm DIN 8511 bladen 2/3. Daar in de praktijk (handel, literatuur, enz.) voorlopig toch nog regelmatig aan deze niet meer geldende norm zal worden gerefereerd, zijn in de tabellen 4.2 en 4.3 zowel de oude als nieuwe aanduidingswijze opgenomen.

b. In de zachtsoldeer elektronica industrie wordt in toenemende mate de classificering van zachtsoldeervloeimiddelen volgens DIN 61190 en J-STD-004 gevolgd. Hierbij wordt het vloeimiddel met drie hoofdletters in combinatie met een cijfer beschreven. De eerste twee hoofdletters duiden de basis van het vloeimiddel aan: RO(sin) - RE(sin) - OR(ganic) - IN(organic); De derde hoofdletter duidt de werkzaamheid van het vloeimiddel aan: L(ow) - M(edium) - H(igh); Het cijfer geeft aan of het halogeenaandeel in het vloeimiddel al dan niet <0,01 gew. procent bedraagt: 0 (ja, <0,01 gew. %) - 1 (nee, >0,01 gew. %). Voorbeelden van deze letter-cijfercombinatie zijn: ROL0, REM1, ORH0, enz. De oude norm MIL QQS met de vloeimiddelindeling R (Rosin); RMA (Rosin Mildly Activated); RA (Rosin Activated) en WS (Water Soluble) is hiermee vervallen.

NIET OF ZEER WEINIG CORRODERENDE VLOEIMIDDELEN (op harsbasis)

Hars laat een residu achter, dat niet elektrisch geleidend is. Het is juist deze eigenschap die harsvloeimiddelen geschikt maakt voor elektrotechnische doeleinden. De reinigende werking van hars is zeer beperkt. Om hars-

tabel 4.2 Vloeimiddelen voor zachtsolderen van zware metalen. (F-SW type-aanduidingen zijn ontleend aan de niet meer geldende DIN 8511-blad 2 en de cijfercombinatietype-aanduidingen x.y.z aan de thans geldende NEN-ISO 9454-1)

type-aanduiding	beschrijving en kenmerken	aanwijzingen voor de toepassing	eigenschappen i.v.m. corrosie
F-SW 11 3.2.2	Op basis van zink- en eventueel andere metaalchloriden en/of ammoniumchloride in een waterige oplossing en aanwezigheid van vrij HCl, H ₂ SO ₄ , HNO of HF.	Voor sterk geoxideerde oppervlakken (bijv. dakgoten van zink).	De resten van deze vloeimiddelen zijn hygroscopisch en veroorzaken corrosie; resten moeten worden verwijderd.
F-SW 12 3.1.1	Op basis van zink- en eventueel andere metaalchloriden en/of ammoniumchloride.	Afdekken van tinbaden, vertinnen, met lap, blikindustrie en dompelvertinnen.	
F-SW 13 3.2.1	Op basis van fosforzuur of fosfaten.	Als vloeistof toepassen op koper, koperlegeringen en RVS.	
F-SW 21 3.1.1	Op basis van zink- en eventueel andere metaalchloriden en ammoniumchloride in organische toebereiding (bijv. in (hogere) alcoholen, vetten of minerale olieproducten, organische oplosmiddelen en emulsies).	Koper en koperlegeringen, blikindustrie, dompelsolderen.	
F-SW 22 3.1.2	Gelijk aan F-SW 21, echter zonder ammoniumchloride.	Koper en koperlegeringen, koper-buis installatietechniek.	De resten van deze vloeimiddelen kunnen matige corrosie veroorzaken.
F-SW 23 2.1.3/2.2.1/2.2.3	Op basis van organische zuren (b.v. citroen-, olie-, stearine- en benzoëzuur) en hebben een mildere werking dan F-SW 21 en F-SW 22.	Lood en loodlegeringen, metaalwaren, fijnwerk.	
F-SW 24 2.1.1/2.1.3/2.2.3	Op basis van aminen, diaminen en ureum.	Fijnwerk, elektrotechniek (voor vlamsoldeerverbindingen zonder vloeimiddelresten).	
F-SW 25 2.1.2/2.2.2	Op basis van organische zoutverbindingen (bijv. anilinehydrochloride, cetylpyridinium bromide en hydrazinehydrochloride).	Fijnwerk, elektrotechniek (voor vlamsoldeerverbindingen zonder vloeimiddelresten).	
F-SW 26 1.1.2	Op basis van natuurlijke harsen met toevoeging van organische zouthoudende activeringsmiddelen (bijv. glutaminezuur-hydrochloride).	Voor inductiesolderen, elektroapparatenbouw, metaalwaren.	
F-SW 27 1.1.3			
F-SW 28 1.1.2			
F-SW 31 1.1.1	Op basis van natuurlijke of gemodificeerde harsen colofonium zonder toevoegingen.	Elektrotechniek, elektronische apparatuur. Afdekking van soldeerbaden.	De resten van deze vloeimiddelen veroorzaken geen of zeer weinig corrosie. Voor o.a. elektrische meetapparatuur zijn de elektrische en mechanische eigenschappen twijfelachtig; daarom is het aan te bevelen harsresten te verwijderen. Als oplosmiddel kan alcohol of perchloor-ethyleen worden gebruikt.
F-SW 32 1.1.3	Op basis van natuurlijke harsen met toevoeging van organische zoutvrije activeringsmiddelen (bijv. stearine-, salicyl- of adipinezuur).	Elektronische apparatuur, miniaturtechniek (SMD) en gedrukte schakelingen.	
F-SW 33 1.2.3	Op basis van synthetische harsen met organische, halogeenvrije activeringsmiddelen, echter zonder aminen, diaminen of ureum.	Elektronische apparatuur, miniaturtechniek (SMD) en gedrukte schakelingen.	
F-SW 34 2.2.3	Op basis van organische, halogeenvrije zuren en natuurlijke hars colofonium, zonder aminen, diaminen of ureum.	Elektronische apparatuur, miniaturtechniek (SMD) en gedrukte schakelingen.	

tabel 4.3 Vloeimiddelen voor hard- en zachtsolderen van lichte metalen (F-LH en F-LW type-aanduidingen zijn ontleend aan de (niet meer geldende) norm DIN 8511-blad 3 en de FL type-aanduidingen aan de thans geldende norm NEN-EN 1045)¹⁾

type-aanduiding	beschrijving en kenmerken	aanwijzingen voor de toepassing	eigenschappen i.v.m. corrosie
F-LH 1 FL10	Hygroscopisch vloeimiddel op basis van chloriden en fluoriden.	soldeertemperatuur > 550 °C.	De resten van deze vloeimiddelen veroorzaken corrosie; resten verwijderen door wassen of beitsen.
F-LH 2 FL20	Niet hygroscopisch vloeimiddel op basis van fluoriden.	De resten van deze vloeimiddelen zijn lastig te verwijderen.	Minder agressief dan F-LH 1
F-LW 1 *)	Soldeervormend vloeimiddel op basis van zinken/of tinchloride en ammoniumchloride of organische stoffen.	Vertinnen van lichtmetaal.	De resten van deze vloeimiddelen veroorzaken corrosie.
F-LW 2 *)	Op basis van zuiver organische verbindingen bijv. aminen.	Wrijvend of ultrasoon zachtsolderen soldeertemperatuur 200 à 300 °C	
F-LW 3 *)	Op basis van organische zoutverbindingen.	t.b.v. zachtsolderen soldeertemperatuur 200 à 300 °C	

*) De type-aanduiding voor zachtsoldeervloeimiddelen voor aluminium is niet opgenomen in NEN-EN 1045 noch in (NEN)ISO 9454-1.

tabel 4.4 Vloeimiddelen voor hardsolderen van zware metalen (F-SH type-aanduidingen zijn ontleend aan de (niet meer geldende) norm DIN 8511-blad 1 en de FH type-aanduidingen aan de thans geldende norm NEN-EN 1045)

type-aanduiding	beschrijving en kenmerken	aanwijzingen voor de toepassing	eigenschappen i.v.m. corrosie
F-SH 1 FH10	Bevat boriumverbindingen, eenvoudige en complexe fluoriden.	Werkzaam tussen 550 en 800 °C; soldeertemperatuur > 600 °C	De resten van deze vloeimiddelen veroorzaken corrosie; resten verwijderen door wassen of beitsen.
F-SH 1a FH11	Bevat boriumverbindingen, complexe fluoriden, chloriden.		
FH12	Bevat boriumverbindingen, element borium, eenvoudige en complexe fluoriden.		
F-SH 2 FH20	Bevat boriumverbindingen en fluoriden.	Werkzaam tussen 750 en 1100 °C; soldeertemperatuur > 800 °C	Resten verwijderen door wassen of beitsen.
FH21	Bevat boriumverbindingen.		Resten mechanisch verwijderen of door beitsen.
F-SH 3 FH30	Bevat o.a. boriumverbindingen, fosfaten en silicaten, bestemd voor solderen met hoge smelttemperatuur bijv. koper- en nikksolderen.	Soldeertemperatuur > 1000 °C	Resten mechanisch verwijderen of door beitsen.
F-SH 4 FH40	Bevat o.a. chloriden en fluoriden; echter boriumvrij	Werkzaam tussen 600 en 1000 °C; soldeertemperatuur > 600 °C	Resten verwijderen door wassen of beitsen.

vloeimiddel te activeren worden vaak kleine hoeveelheden agressievere bestanddelen toegevoegd. Men moet met toepassing hiervan voor elektrotechnische onderdelen zeer voorzichtig zijn. Hars wordt hoofdzakelijk als kern in soldeerdraad toegepast, waarbij het tijdens het solderen gelijktijdig met de soldeer afsmelt. Daarnaast zijn ook oplossingen in alcohol of polyethyleenglycol in de handel.

MATIG CORRODERENDE VLOEIMIDDELEN (niet op harsbasis)

Voor matig corroderende vloeimiddelen worden veel organische zuren gebruikt, zoals stearinezuur en oliezuur. Verder worden organische verbindingen als hydrazinehydrobromide en anilinehydrochloride toegepast. Deze stoffen hebben de eigenschap bij verhitting te ontleden, te verdampen of te verkolen, afhankelijk van de temperatuur en de verhittingsduur. Ze moeten daarom onder nauwkeurig gecontroleerde condities worden gebruikt. Bij een onjuiste handelwijze worden slechte resultaten bereikt. Soms wordt de werking van dit type vloeimiddelen wel versterkt door relatief kleine hoeveelheden anorganische chloriden of zuren toe te voegen. Deze groep vloeimiddelen wordt geleverd als vloeistof (opgelost in organische middelen of water) of als pasta.

CORRODERENDE VLOEIMIDDELEN (op anorganische basis)

Tot de bekendste vloeimiddelen kunnen de zinkchloridehoudende typen worden gerekend. In het algemeen is hieraan ammoniumchloride toegevoegd om het smeltpunt van 293 °C naar 180 °C te verlagen. Ook is toevoeging van andere chloriden mogelijk, bijvoorbeeld tinchloride. Voor speciale doeleinden worden zuren toegevoegd om het vloeimiddel voldoende agressiviteit te geven, bijvoorbeeld zoutzuur bij het solderen van roestvast staal. De vloeimiddelen die in de handel worden gebracht zijn meestal oplossingen van anorganische chloriden in water. Deze vloeimiddelen hebben door hydrolyse een zuur karakter. Ze worden ook wel in pastavorm geleverd of als oplossing in organische middelen (bijvoorbeeld polyethyleenglycol. Dit heeft het voordeel van een hoger kookpunt en minder kans op spatten). Daar in het algemeen zeer corrosieve, hygroscopische vloeimiddelresten achterblijven, zijn deze vloeimiddelen voor gebruik bij diverse toepassingen uitgesloten, zoals bijvoorbeeld in de elektrotechniek en bij sanitaire installaties.

4.2.2 Keuze van het vloeimiddel

De keuze van het vloeimiddel is afhankelijk van:

- ▶ het te solderen materiaal;
- ▶ de soldeermethode;
- ▶ bijzondere eisen: i.v.m. corrosieve aantasting, geleidbaarheid van het residu, e.d.

Door de zeer beperkte oxide-oplossende werking zijn niet-geactiveerde harsvloeimiddelen alleen geschikt voor gemakkelijk te solderen oppervlakken, zoals schoon koper of vertinde delen.

Voor het solderen van elektrische en elektronische onderdelen mag in het algemeen alleen harsvloeimiddel worden gebruikt. De geactiveerde harsvloeimiddelen en de andere organische vloeimiddelen hebben een uitgebreid toepassingsgebied. Voor het solderen van koper en diverse koperlegeringen is in deze groep altijd een geschikt vloeimiddel te vinden. Het solderen van koper met ammoniumchloridehoudende vloeimiddelen moet worden afgeraden, aangezien deze stof met koper en koperlegeringen in water oplosbare zouten vormt, met corrosie als gevolg. Voor het solderen van gedrukte bedradingen worden speciale vloeimiddelen in de handel gebracht, die bij juist gebruik een snelle werking hebben en weinig corrosief residu achterlaten.

Voor het solderen in een oven of met een vlam is in het algemeen een vrij stabiel vloeimiddel nodig, respectievelijk in verband met de vrij langdurige verhitting (oven) en de vrij moeilijke temperatuurcontrole (vlam). In het algemeen is hierbij het gebruik van matig corroderende vloeimiddelen wenselijk. Voor het solderen van staal is men aangewezen op corroderende vloeimiddelen. Voor ongelegeerd staal zijn zinkchloride/ammoniumchloridemengsels geschikt.

Om de zeer stabiele oxiden van roestvast staal te kunnen verwijderen is een zekere hoeveelheid zoutzuur in het vloeimiddel nodig. Aluminium verlangt voor het zachtsolderen bijzondere vloeimiddelen. Meestal worden chloriden van zink of tin gebruikt, die door chemische reactie met het aluminium een zink- respectievelijk tinlaag afzetten, waardoor de bevochtiging door soldeer wordt vergemakkelijkt (reactie solderen zie hoofdstuk 10). Er zijn echter ook organische vloeimiddelen voor aluminium in de handel.

4.3 *Vloeimiddelen voor het hardsolderen* (tabel 4.3 en 4.4)

4.3.1 *Typen vloeimiddelen*

Vloeimiddelen, die voor het hardsolderen worden gebruikt, zijn overwegend samengesteld uit boraten, boorzuur, chloriden en fluoriden.

Terwijl bij het zachtsolderen het moedermateriaal in grote mate bepalend is voor het te gebruiken vloeimiddel, wordt bij het hardsolderen de keuze zeer sterk bepaald door het te gebruiken soldeer. Vooral de soldeertemperatuur is belangrijk.

Voor het solderen van lichte metalen (aluminium- en magnesiumlegeringen) zijn vloeimiddelen op basis van chloriden en fluoriden in de handel. De vloeimiddelresten zijn vaak sterk hygroscopisch (tabel 4.3). De vloeimiddelresten van de fluoride-basis vloeimiddelen zijn niet hygroscopisch en niet corrosief.

Wanneer men met zilversoldeer werkt, moet men vloeimiddelen gebruiken, die werkzaam zijn vanaf ongeveer 550 °C. De maximale temperatuur, waarbij deze vloeimiddelen kunnen worden gebruikt, ligt op 700...800 °C. Vervolgens worden voor het solderen met koperlegeringen vloeimiddelen gebruikt die bij 700...800 °C smelten. De maximale temperatuur, waarbij deze vloeimiddelen kunnen worden gebruikt, is ongeveer 1000...1100 °C. Ten slotte zijn er vloeimiddelen voor het solderen met nikkellegeringen, die zijn gekenmerkt door voldoende stabiliteit bij temperaturen boven 1000 °C. Deze bevatten in het algemeen boraten, fosfaten en silicaten.

4.3.2 *Keuze van het vloeimiddel*

Naast het type soldeer en het moedermateriaal hebben nog invloed op de keuze van het vloeimiddel :

- ▶ de soldeermethode;
- ▶ de agressiviteit van het vloeimiddel;
- ▶ bijzondere eisen, zoals het gemakkelijk verwijderen van vloeimiddelresten.

Sommige hardsoldeerlegeringen zoals koperfosfor- of koperzilverfosfor hardsoldeer bevatten een zodanig gehalte aan fosfor of lithium, dat men hiermee in bepaalde gevallen kan solderen zonder vloeimiddel.

4.4 *Verwijderen van vloeimiddelresten*

Vloeimiddelresten bevorderen in het algemeen de corrosie en moeten worden verwijderd. Hiertoe dient het gesoldeerde product met de juiste middelen te worden gereinigd. Vindt dit reinigen niet of in onvoldoende mate plaats, dan kan het product, soms al na korte tijd, door corrosie zeer ernstig beschadigd en onbruikbaar worden. Indien corrosie optreedt, dan is dit veelal niet een gelijkmatige, doch een plaatselijke aantasting en dit is bijvoorbeeld voor leidingen rampzalig.

Corrosie ten gevolge van achterblijvende vloeimiddelresten is een elektrochemisch proces en wordt mogelijk, doordat fluoriden en chloriden in water een elektrolyt vormen, waarin metaal oplost onder invloed van potentiaalverschillen. Reeds geringe hoeveelheden condenswater zijn voldoende om het vernietigingsproces te starten.

Naast putvormige corrosie wordt z.g. spanningscorrosie veroorzaakt door de aanwezigheid van chloriden.

In gevallen waar verwijdering van een vloeimiddel niet mogelijk is, dient gebruik te worden gemaakt van een niet of zeer weinig corroderend vloeimiddel. Uiteraard blijft de gevoeligheid voor corrosie afhankelijk van de functie van het product en het milieu waarin dit komt te verkeren. De verwijdering van vloeimiddelresten dient zo

snel mogelijk na het solderen te geschieden.

De tijdsduur waarbinnen dit plaats moet vinden is afhankelijk van o.a. het type vloeimiddel, de temperatuur en de vochtigheid van de omgeving. Als regel dient binnen 12 tot 24 uur na het solderen te worden gereinigd.

4.4.1 *Zachtsoldeervloeimiddelen*

Vloeimiddelen op basis van zinkammoniumchloride zijn gemakkelijk oplosbaar in warm water. Aangezien deze vloeimiddelen een sterk corrosief karakter bezitten, dient de reiniging grondig te geschieden.

Chloridehoudende vloeimiddelen op vaselinebasis zijn door een solventontvetting te verwijderen; d.w.z. kunnen worden opgelost in petroleum, terpentijn of gechlorideerde koolwaterstoffen, zoals bijvoorbeeld perchloorethyleen. Met de hand ontvetten moet in het algemeen worden ont-raden i.v.m. brandgevaar of vergiftiging via de ademhalingswegen en de huid.

De verwijdering kan ook geschieden met alkalische middelen. Het vet wordt verzeepd en geëmulgeerd in dompelbaden met een temperatuur van 80...95 °C. Alleen dompelen in een solvent of een alkalische oplossing is niet voldoende. Een grondige reiniging wordt bevorderd door bad-agitatie, o.a. door beweging van de werkstukken, rondpompen of ultrasone trillingen.

Vloeimiddelresten op colofoniumbasis kunnen - indien dit noodzakelijk is - met alcoholen worden verwijderd (bijv. spiritus).

4.4.2 *Hardsoldeervloeimiddelen*

Vloeimiddelen op basis van fluoriden zijn in water oplosbaar en dienen als regel zo snel mogelijk na het solderen te worden verwijderd. Dit kan geschieden door afschrikken in water.

Vloeimiddelen op basis van borax en boorzuur (bijvoorbeeld F-SH 2 en F-SH 3) zijn zowel in koud als warm water zeer slecht oplosbaar.

De resten kunnen alleen worden verwijderd door:

- ▶ afschrikken in water, waarbij de werkstuktemperatuur hoogstens 400 °C mag bedragen. Door de snelle afkoeling krimpen de vloeimiddelresten los;
- ▶ al dan niet in combinatie met afschrikken een mechanische reiniging toepassen. Mechanisch reinigen kan plaatsvinden door borstelen, bikken, schuren, trommelen of stralen;
- ▶ beitsen in een beitsvloeistof, die aangepast is aan het werkstukmateriaal en de vloeimiddelresten. Enkele beitsvloeistoffen voor vloeimiddelen op basis van borax en boorzuur zijn:
 1. een fluorwaterstofzuuroplossing met salmiak n.l. 10 cm³ HF (40%-ig), 70 cm³ H₂O en 4 gr NH₄Cl.
 2. voor gesoldeerde producten van roestvast staal een mengsel van zoutzuur en salpeterzuur n.l. 50% H₂O, 45% HCl (ongeveer 38%-ig) en 5% HNO₃ (98%-ig).

Waarschuwing: met klem wordt erop gewezen, dat de hiervoor genoemde beitsmiddelen zeer agressief zijn. Hierdoor is het nodig dat het verloop van de beitsprocedure goed wordt gecontroleerd en de zuurresten na afloop grondig - door middel van spoelen in schoon water - worden verwijderd. Om aantasting van het te reinigen materiaal te verminderen kan aan het spoelwater eventueel een beitsrem worden toegevoegd.

4.4.3 *Nabehandelingen*

Vaak zal men, i.v.m. verdere oppervlakbehandeling, bij gesoldeerde producten niet alleen kunnen volstaan met een oppervlakkige verwijdering van de vloeimiddelresten,

want er bestaat een grote verscheidenheid in oppervlak-behandelingsprocédés. Deze kunnen worden ingedeeld in procédés:

- ▶ waarbij uitsluitend reinigen wordt beoogd;
- ▶ waarbij aan het reinigen extra eisen moeten worden gesteld i.v.m. het aanbrengen van beschermende lagen of het bereiken van een vereiste afwerking.

Voor nadere informatie wordt verwezen naar de Vereniging voor Oppervlaktetechnieken van Metalen (VOM) te Nieuwegein (www.vom.nl).

N.B. Over veiligheid, gezondheid en milieu-aspecten i.v.m. het gebruik van vloeimiddelen en oplosmiddelen wordt verwezen naar het daarover gestelde in hoofdstuk 7 "Veiligheid, gezondheid en milieu".

Hoofdstuk 5

Constructieve aspecten (naadvormen)

5.1 Inleiding

Bij het ontwerpen van werkstukken, waarbij men soldeer-verbindingen wil toepassen, zijn de te verrichten functies, de bedrijfsomstandigheden en de fabricagemethode bepalend voor de te kiezen constructiematerialen, verbindingsmethoden en spleetvormen.

Bij het ontwerp moet daarom naast het kostenaspect o.a. worden gelet op:

- ▶ de mechanische eigenschappen (statische of dynamische belasting);
- ▶ de bedrijfstemperatuur (constant of wisselend);
- ▶ de oxidatie- en/of corrosievastheid;
- ▶ het elektrisch- en warmtegeleidingsvermogen;
- ▶ de druk- en vacuümdichtheid;
- ▶ de bewerkbaarheid;
- ▶ de vormgeving (esthetica).

Bij het solderen wordt een verbinding tussen twee werkstukdelen tot stand gebracht door het soldeer, dat de over het algemeen spleetvormige ruimte vult, nadat de gehele spleet op soldeertemperatuur is gebracht en het totale spleetoppervlak vrij is gemaakt van vuil en oxide.

De kwaliteit van gesoldeerde verbindingen is van onderstaande factoren afhankelijk :

- ▶ de aard van de beide te solderen werkstukdelen;
- ▶ de aard van het soldeer;
- ▶ de aard van de binding tussen soldeer en werkstukmateriaal;
- ▶ de keuze van de spleetconstructie;
- ▶ de afmetingen van de spleet;
- ▶ de gesteldheid van de te solderen oppervlakken.

De spleet wordt bepaald door zijn vorm, afmetingen en oppervlakgesteldheid.

5.2 Soldeerconstructies

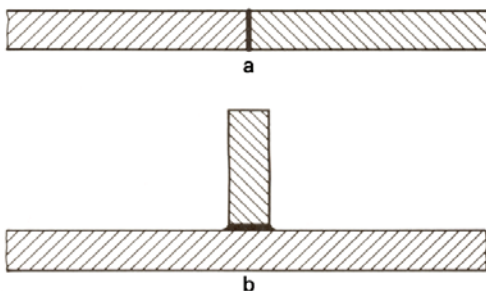
In hoofdzaak bestaan er slechts twee soldeernaadtypen n.l.:

- ▶ de stompe verbinding;
- ▶ de overlapverbinding.

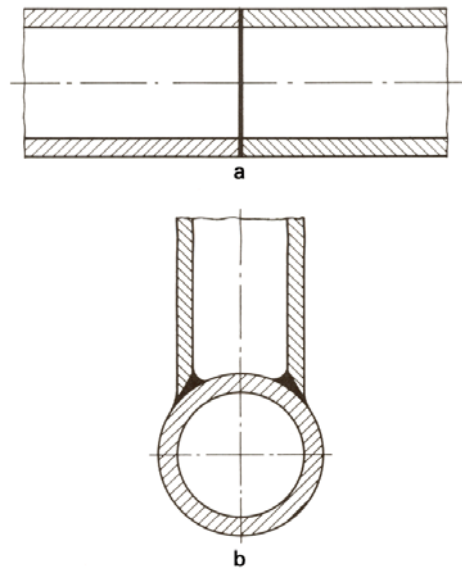
In beide gevallen kan de spleet zowel parallel- als V-vormig zijn.

Voorbeelden hiervan zijn:

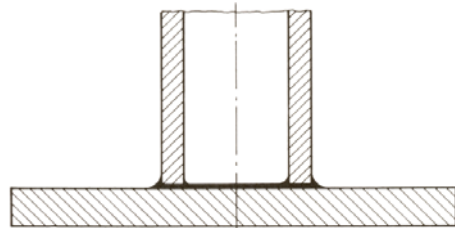
- ▶ stompe verbinding (capillair, figuren 5.1 t/m 5.3);
- ▶ stompe verbinding (V-vormig, figuur 5.4);
- ▶ overlapverbinding (capillair, figuren 5.5 t/m 5.7);
- ▶ overlapverbinding (V-vormig, figuren 5.8 en 5.9).



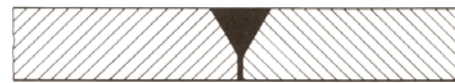
figuur 5.1 Stompe verbinding plaat-plaat (capillair)



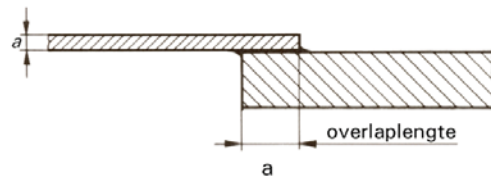
figuur 5.2 Stompe verbinding pijp-pijp (capillair)



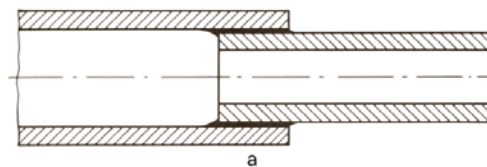
figuur 5.3 Stompe verbinding pijp-plaat (capillair)



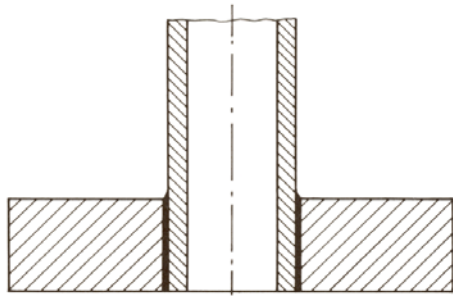
figuur 5.4 Stompe verbinding plaat-plaat (V-vormig)



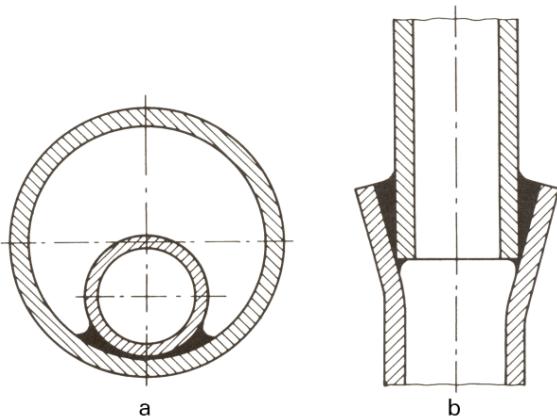
figuur 5.5 Overlapverbinding plaat-plaat (capillair)



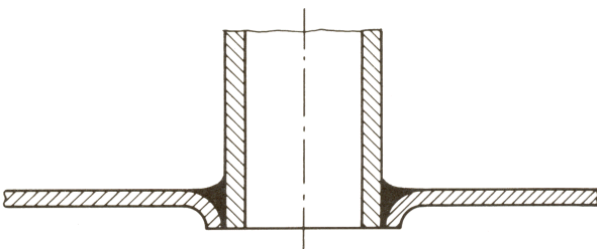
figuur 5.6 Overlapverbinding pijp-pijp (capillair)



figuur 5.7 Overlapverbinding pijp-plaat (capillair)



figuur 5.8 Overlapverbinding pijp-pijp (V-vormig)



figuur 5.9 Overlapverbinding pijp-plaat (V-vormig)

De stompe verbinding moet zo veel mogelijk worden vermeden, omdat hieraan in het algemeen geen kwaliteitseisen kunnen worden gesteld. De overlapverbinding kan in alle gevallen worden toegepast, zowel bij hard-, hoogtemperatuur- als zachtsolderen.

De overlappende lengte kan met de hiernavolgende formules worden berekend.

$$\text{Plaat: } L = \frac{\nu \cdot \sigma \cdot t}{\tau}$$

$$\text{Pijp: } L = \frac{\nu \cdot \sigma \cdot t \cdot (D - t)}{\tau \cdot D}$$

waarin:

L = lengte van de overlap in mm

σ = trekspanning in zwakste doorsnede in N/mm²

ν = veiligheidsfactor > 2

t = dikte van de zwakste doorsnede in mm

τ = schuifsterkte van de soldeer in N/mm²

D = afschuifdiameter in mm.

Voor hardsolderen komt men hiermede tot een overlap van 2...3 maal de dikte van de zwakste doorsnede; voor zachtsolderen volstaat men veelal - voor producten die functioneren bij kamertemperatuur - met een overlappende lengte van 3...4 maal de zwakste doorsnede, hetgeen minder is dan uit de formule zou volgen.

In de installatietechniek (bijvoorbeeld waterleidingbuizen) worden grotere lengten voor de overlap aangehouden (tabel 5.1). Als redenen hiervoor zijn te noemen:

- ▶ men moet rekening houden met zowel hard- als zachtsoldeertoepassingen*);
- ▶ de verbinding (en de buis) wordt niet alleen belast door krachten van binnen uit, maar ook door krachten van buitenaf;
- ▶ in niet gesoldeerde toestand moet de overlap voldoende lengte hebben om twee in elkaar geschoven pijpen eenzelfde weerstand tegen buiging te geven als een pijp uit één stuk (vgl. vishengel); evenmin mag als gevolg van buiging deformatie van de overlap optreden;
- ▶ bij hogere temperaturen tot 100 °C moet rekening worden gehouden met de lage kruipsterkte van de zachtsoldeermaterialen.

tabel 5.1 Overlap afhankelijk van de buitenmiddellijn van de pijp

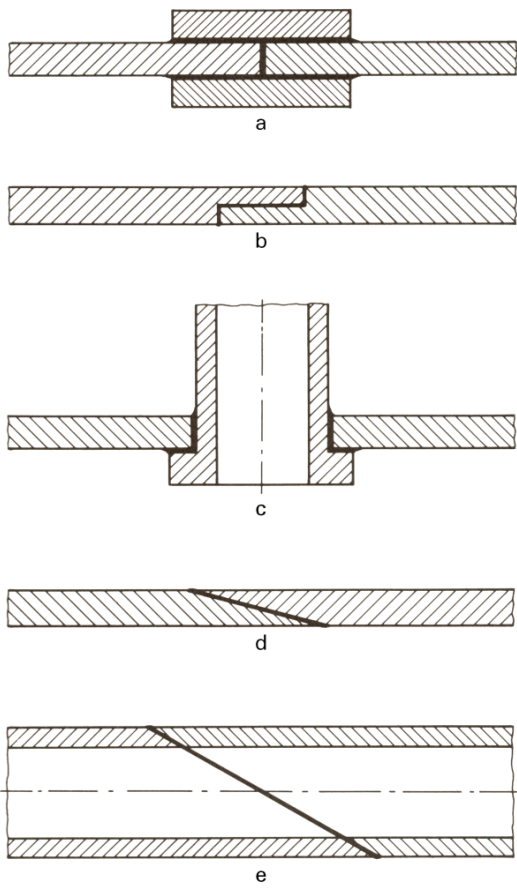
buitenmiddellijn [mm]	wanddikte pijp [mm]	overlap (soldeerlengte) [mm]
10	1,0	8
12	1,0	10
15	1,0	12
18	1,0	15
22	1,1	17
28	1,2	20
35	1,3	25
42	1,4	29
54	1,5	37

gegevens ontleend aan NEN 2200

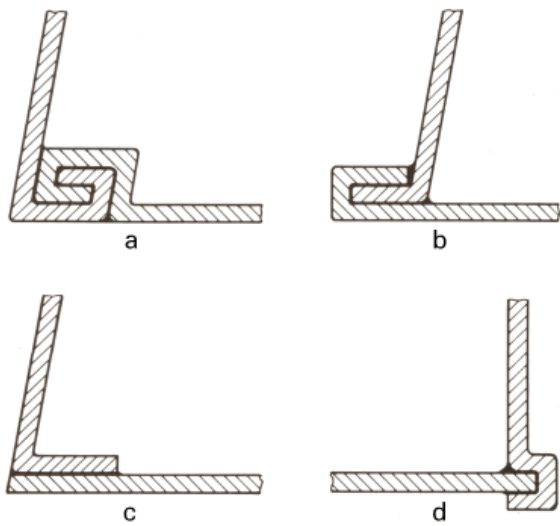
De V-naad wordt toegepast bij het zacht- en het hardsolderen. Vele variaties en combinaties kunnen worden gemaakt met eerdergenoemde verbindingsvormen (zie figuur 5.10) en deze worden op identieke manier berekend als de overlapverbinding.

Bijzondere combinaties ontstaan bij het solderen van dunne plaat, waarbij spleten worden gerealiseerd door te felsen (figuur 5.11). In figuur 5.12 zijn enige voorbeelden van draad-draad en draad-plaat verbindingen weergegeven. Bij het toepassen van gecombineerde naadvormen dient men erop te letten, dat steeds een doorlopende spleet wordt geconstrueerd, ter voorkoming van drukopbouw, gas- en vloeimiddelinsluitingen (figuren 5.13 en 5.14).

*) In Duitsland is hardsolderen van koperen pijpen met een diameter tot 28 mm en wanddikte 1,5 mm en bedoeld voor koud- en warmwaterinstallaties, verboden volgens DVGW-Arbeitsblatt GW2 vanwege het corrosiegevaar (z.g. Lochfrass) dat kan optreden. Zachtsolderen met bijvoorbeeld een propaan-luchtbrander wordt dan geadviseerd. Als soldeer worden de tinsolderen nrs. 702 en 402 aanbevolen, terwijl volgens DVGW-Arbeitsblatt GW7 als vloeimiddelen F-SW 21(type 3.1.1), F-SW 22(type 3.1.2) en F-SW 25(type 2.1.2) worden aangegeven; F-SW 25(type 2.1.2) is het minst agressieve vloeimiddel.



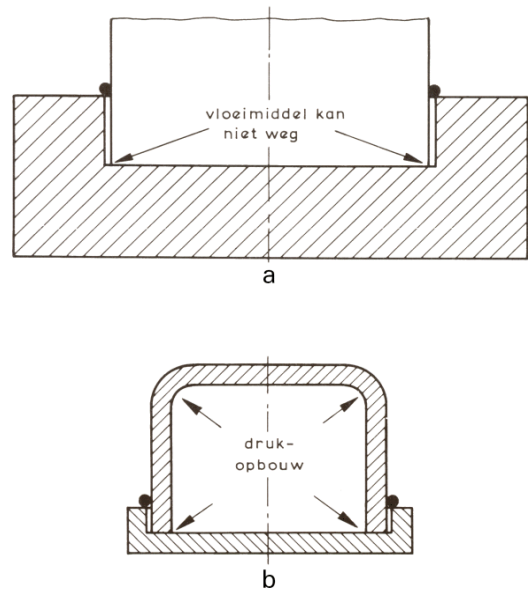
figuur 5.10 Combinaties van verbindingvormen



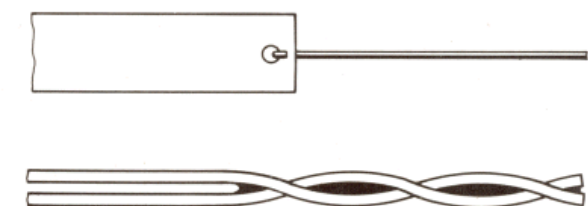
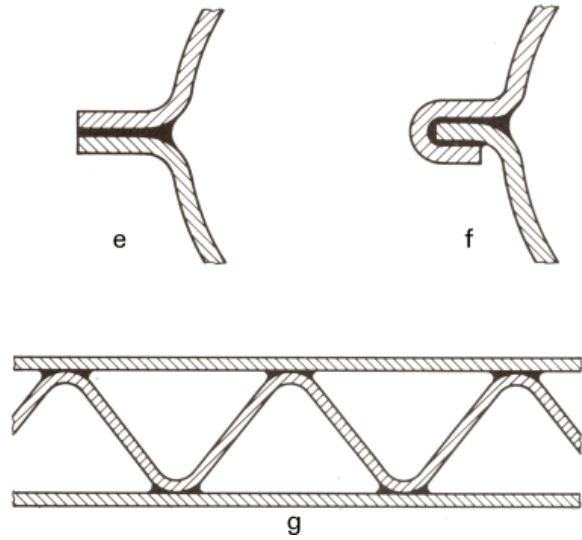
figuur 5.11 Verbindingen van dunne plaat

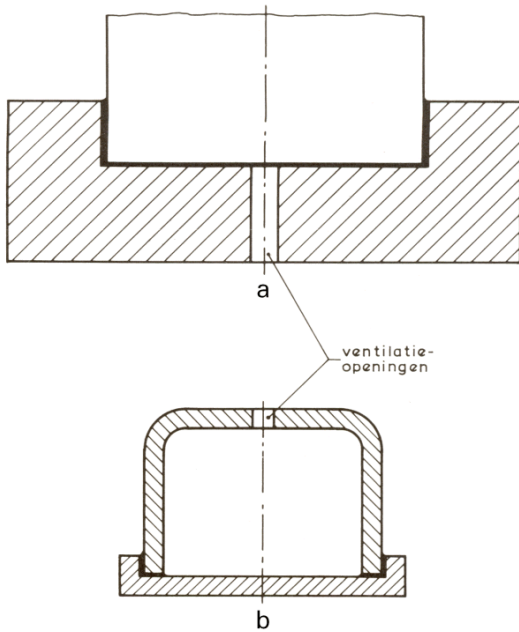


figuur 5.12 Verbindingen van draad



figuur 5.13 Onjuist geconstrueerde verbindingen





figuur 5.14 Juist geconstrueerde verbindingen

5.3 Spleetafmetingen

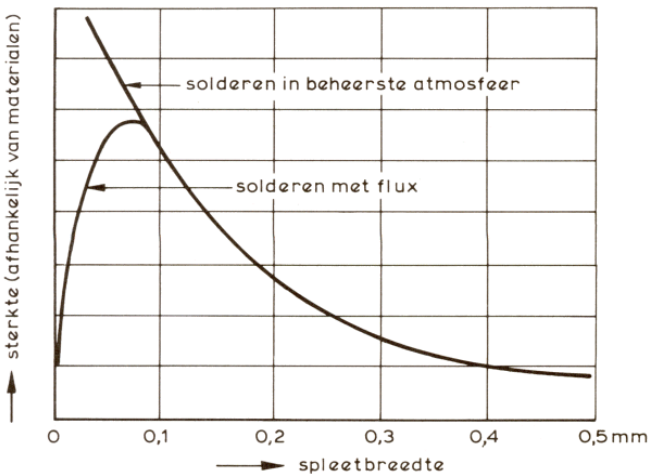
De spleetafmetingen worden bepaald door de grootte van de te solderen vlakken, hun evenwijdigheid en hun onderlinge afstand (spleetbreedte). De spleetbreedte is van het grootste belang voor de sterkte van de soldeerverbinding (figuur 5.15) en voor de capillaire werking (figuur 5.16).

Bij het solderen van twee onderdelen uit hetzelfde materiaal is bij een goede temperatuurverdeling in het werkstuk, de spleet op kamertemperatuur gelijk aan de spleet op soldeertemperatuur.

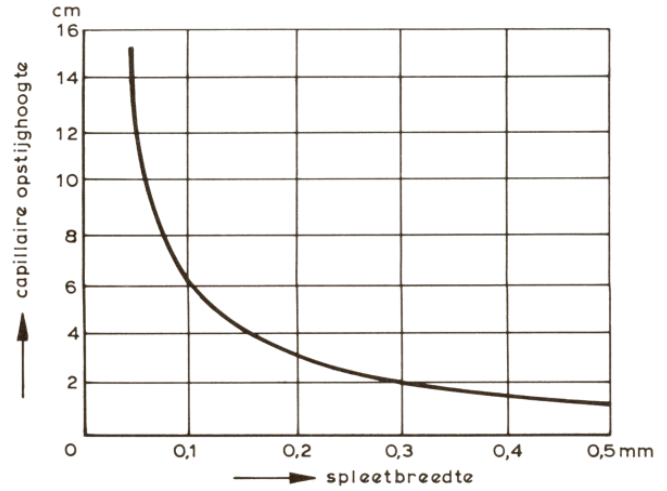
Bij het solderen van twee delen uit materialen met verschillende uitzettingscoëfficiënten is dit niet het geval. Het is duidelijk dat de voorgeschreven spleetbreedte op de soldeertemperatuur aanwezig moet zijn. In het laatste geval moet men de spleetbreedte op kamertemperatuur berekenen.

Er zijn twee mogelijkheden, n.l.:

- ▶ tijdens het opwarmen wordt de spleet groter;
- ▶ tijdens het opwarmen wordt de spleet kleiner.

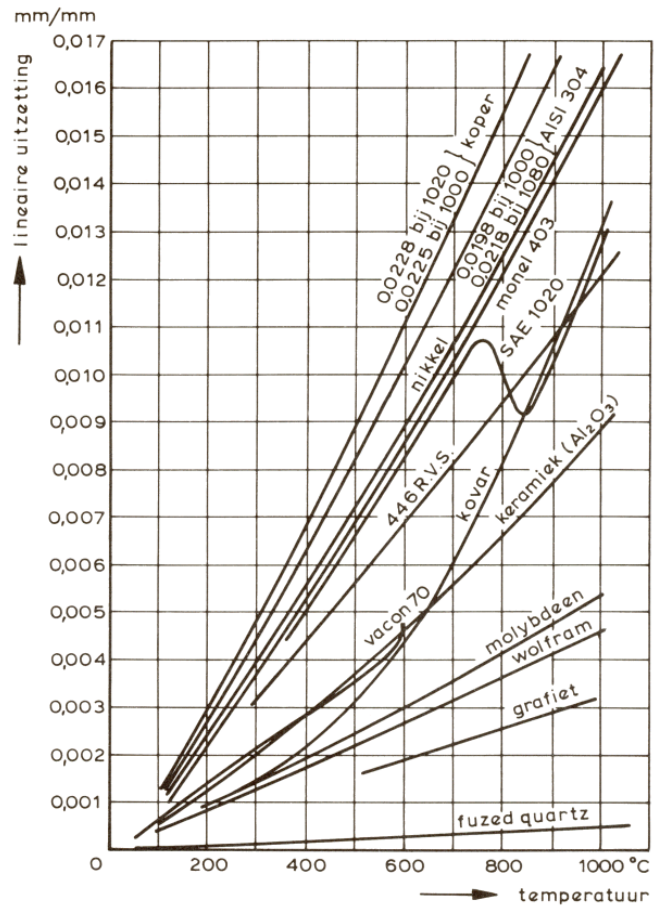


figuur 5.15 Sterkte van de soldeerverbinding afhankelijk van de spleetbreedte



figuur 5.16 Capillaire opstijghoogte afhankelijk van de spleetbreedte

Het groter worden van de spleet geeft zonder extra voorzieningen geen goede soldeermogelijkheden. Het is noodzakelijk een dergelijke constructie te wijzigen, zodanig dat de spleet bij het bereiken van de soldeertemperatuur de juiste waarde heeft. De spleetbreedte op kamertemperatuur kan met behulp van figuur 5.17 worden berekend.



figuur 5.17 Lineaire uitzetting afhankelijk van de temperatuur

De benodigde gegevens voor een pijp-plaatverbinding zijn:

- ▶ spleetbreedte;
- ▶ soldeertemperatuur;
- ▶ buitenmiddellijn van de pijp;
- ▶ gatmiddellijn van de flens.

5.3.1 Rekenvoorbeeld

Stel we hebben een pijp met een uitwendige middellijn van 100,00 mm.

Het materiaal is koper. Verder hebben we een flens van monel.

We willen de pijp in de flens solderen bij 700 °C met een spleet van 0,05 mm.

Wat is de maat van het gat in de flens op kamertemperatuur?

Oplossing:

Op 700 °C is de middellijn van de pijp
 $100,00 + 100 \times 0,0134 \text{ mm} = 101,34 \text{ mm}$ (0,0134 is de lineaire uitzetting van koper bij 700 °C).

Op 700 °C moet de middellijn van het gat dus zijn:
 $101,34 + 2 \times 0,05 = 101,44 \text{ mm}$.

Stel dat de middellijn van het gat op kamertemperatuur X is, dan geldt: $X + X \times 0,0107 = 101,44$

$$X = \frac{101,44}{1,0107} = 100,37$$

(0,0107 = lineaire uitzetting van monel bij 700 °C).

Het gat in de flens moet gemaakt worden op 100,37 mm, waardoor de spleetbreedte op kamertemperatuur 0,185 mm is.

$$\frac{100,37 - 100,00}{2} = 0,185$$

5.3.2 Aanbevolen spleetbreedten

In de tabellen 5.2 en 5.3 zijn voor de zacht- en hardsolderen de aanbevolen spleetbreedten weergegeven.

Opmerking: De aanbevolen spleetbreedte voor hoogtemperatuursolderen is in het algemeen $\leq 0,05 \text{ mm}$.

tabel 5.2 Aanbevolen spleetbreedten voor zachtsolderen

soldeersoort	spleetbreedte [mm]	opmerking
tinlood	0,1...0,5	spleetbreedte afhankelijk van smelttraject
loodvrije soorten	0,1...0,2	
aluminium	0,2...0,5	

tabel 5.3 Aanbevolen spleetbreedten voor hardsolderen

groep	soldeersoort	spleetbreedte [mm]	opmerking
H1	aluminium	0,15...0,25 0,25...0,65	overlap < 6 mm overlap > 6 mm
H2	koperfosfor	0,03...0,10	
H3	koper	0,00...0,05	
H4	koperzink	0,05...0,25	
H5	zilver	0,05...0,20	
H6	nikkel	0,05...0,10	
H7	palladium	0,05...0,10	
H8	goud	0,05...0,10	

5.4 Oppervlaktegesteldheid

Voor de kwaliteit van de verbinding is het van belang, dat de oppervlakteruwheid van de spleet de limiet van $6 \mu\text{m}$ (6 Ra) niet overschrijdt.

Afwijkingen van de ideale oppervlaktegesteldheid kunnen zich voordoen in de vorm van groeven, krassen e.d.

De bewerkingsgroeven tot $6 \mu\text{m}$ zijn nog relatief klein ten opzichte van de soldeerspleet en zullen derhalve geen nadelige invloed uitoefenen op de kwaliteit van de verbinding. Voor de beste resultaten moet, bij bewerkingsgroeven groter dan $1 \mu\text{m}$, de vloerichting van het soldeer gelijk zijn aan de richting van de bewerkingsgroeven.

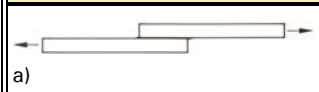
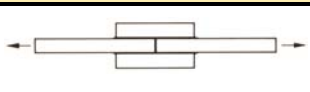
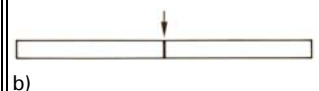
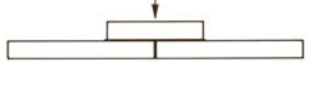
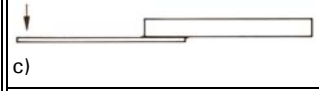
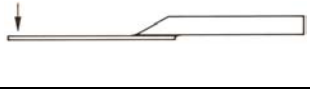


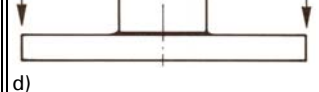

5.5 Ontwerp van soldeerverbindingen

Voor enkele voorbeelden van soldeerverbindingen wordt verwezen naar de figuren in tabel 5.4. Bij voorkeur moeten de verbindingen worden aangebracht op de plaats waar de minste spanning of spanningsconcentratie zal ontstaan.

De randen van de verbinding mogen niet onderworpen zijn aan een combinatie van trek- en buigspanning (zie figuur a in tabel 5.4). De vorm dient steeds zo te zijn, dat de soldeerverbinding altijd zo zuiver mogelijk wordt belast op druk, afschuiving of trek.

Bij zware slag- of stootbelasting en bij verbindingen, die aan vermoeiing worden onderworpen, dient te worden nagegaan of niet door een constructieve vormgeving van de twee componenten de belasting door de moedermetalen kan worden opgenomen (zie figuren b en c in tabel 5.4). Het soldeer dient dan voor de gasdichtheid en stijfheid van de constructie (figuren d en e in tabel 5.4).

tabel 5.4 Voorbeelden van soldeerverbindingen

bij voorkeur niet op onderstaande wijze uitvoeren	onderstaande constructie verdient de voorkeur
 <p>a)</p>	
 <p>b)</p>	
 <p>c)</p>	
 <p>d)</p>	
 <p>e)</p>	

Hoofdstuk 6

Kwaliteitsbeheersing

Onder kwaliteit kan men o.a. verstaan de eigenschappen, deugdelijkheid, hoedanigheid en uiterlijk van de soldeer-verbindingen. Een omschrijving van wat men wil bereiken, is voor de kwaliteit noodzakelijk.

Kwaliteitsbeheersing wordt verkregen door het uitvoeren van passende werkwijzen en maatregelen, waarbij wordt gestreefd naar een kwaliteit die slechts binnen aanvaarde grenzen varieert.

Gecombineerd met een economisch verantwoorde productie vereist kwaliteitsbeheersing een zakelijk inzicht. Zo worden in EN ISO 18279 - ook uitgekomen als NEN-EN-ISO 18279:2004 - bijvoorbeeld hardgesoldeerde verbindingen ingedeeld in vier categorieën, gebaseerd op twee criteria n.l.:

- ▶ de ontwerpisen;
- ▶ de gevolgschade bij het falen van de soldeerverbinding.

De categorieën zijn ingedeeld naar zeer strenge eisen, in categorie A, tot geen speciale eisen, in categorie D. Per categorie is aangegeven welke onvolkomenheden nog binnen deze categorie toelaatbaar zijn.

Categorie A is bestemd voor toepassingen, waaraan de hoogste eisen worden gesteld. Het falen van de soldeerconstructie in deze categorie heeft ernstige schade en menselijk leed tot gevolg. Voor deze toepassingen dient een kwaliteitsplan te worden opgesteld, waarin alle voorkomende eisen stapsgewijs worden beschreven. Ook zijn procedures en specificaties noodzakelijk. Keuringen en inspecties moeten worden uitgevoerd door gekwalificeerd personeel.

Kwaliteitsbeheersing is te onderscheiden in:

- ▶ kwalificatie van de soldeerprocedure voorafgaande aan het soldeerproces;
- ▶ controle op de naleving tijdens het soldeerproces;
- ▶ keuring aansluitend op het soldeerproces.

Naast de kwaliteitsbeheersing dient ook de wijze van kwaliteitsborging te zijn vastgelegd waaruit blijkt dat de parameters van de soldeerprocedure (kunnen) worden gecontroleerd. In dit verband kan voor bijvoorbeeld hard-soldeerverbindingen worden verwezen naar o.a. ANSI/AWS B2.2-91 "Standard for Brazing Procedure and Performance Qualification".

6.1 Kwalificatie van de soldeerprocedure

De toepassing van algemeen geldende regels voor de kwalificatie van een soldeerprocedure is afhankelijk te stellen van het risico dat wordt gelopen, indien een niet gekwalificeerde methode wordt toegepast.

Een soldeerprocedurekwalificatie bevat een aantal essentiële variabelen. De wijziging van één van de variabelen maakt het meestal noodzakelijk dat een procedure opnieuw moet worden gekwalificeerd.

Essentiële variabelen zijn:

- ▶ de toegepaste soldeermethode;
- ▶ het werkstukmateriaal;
- ▶ de soldeernaadvorm (o.a. spleetbreedte, materiaaldikte en overlap);
- ▶ de voorbehandeling (schuren, stralen, ontvetten, vertinnen, enz.);
- ▶ het soldeer (samenstelling, wijze van doseren, hoeveelheid, enz.);

- ▶ het vloeimiddel of de kwaliteit van de beheerste atmosfeer;
- ▶ de soldeercyclus (tijdsduur, soldeertemperatuur, instelling apparatuur, enz.);
- ▶ de nabehandeling.

De specificatie moet een analyse zijn van de gehele soldeerprocedure, zodat deze, wat de essentiële punten betreft, nauwkeurig wordt vastgelegd. Uiteraard is een dergelijke specificatie alleen bruikbaar voor de productie wanneer hierin ook zijn vermeld:

- ▶ de toelaatbare afwijkingen (afkeurgrenzen);
- ▶ de methoden van onderzoek;
- ▶ het resultaat van het onderzoek;
- ▶ de goedkeuring van de procedure.

6.2 Controle op de naleving

Regels en codes t.a.v. kwaliteitsbeheersing hebben bij diverse verwerkingsmethoden een aantal zaken gemeen (men wil betrouwbaar werk) en de eisen kunnen worden toegespitst, afhankelijk van de klasse van het werk.

Grote en dure werkstukken of producten die in grote series worden vervaardigd, rechtvaardigen een ander niveau voor de controle dan soldeerprocedures voor verbindingen waarbij blijk moet zijn gegeven van goed vakmanschap. In het laatstgenoemde geval controleert de vakman zichzelf en levert dit voor de specialist geen probleem. Voor het kwalificeren van bijvoorbeeld de hardsoldeerder kan de norm NEN-EN 13133:2000 worden gehanteerd. De soldeerprocedurekwalificaties dienen te worden nageleefd bij:

- ▶ industriële producties;
- ▶ grotere risico's;
- ▶ onevenredig verdeelde aansprakelijkheden bij een eventuele schade.

Aan de hand van de daarin voorkomende omschrijving kunnen zowel de uitvoerder als de toezichthouder verifiëren of er volgens de specificatie wordt gewerkt. Dit is echter alleen mogelijk als ook de vakman gekwalificeerd is.

6.3 Keuring

Volgens ISO 9000-2000 is solderen een onbeheerst proces; een keuringsprocedure is dan ook verplicht.

De producent dient tijdig met de opdrachtgever of toezicht houdende instantie - i.v.m. goedkeuring, contracten, bestekken e.d. - de te volgen soldeerprocedurekwalificatie overeen te komen.

Veelal zal, i.v.m. de uiteindelijke verantwoordelijkheid, het bedrijf zelf de kwalificatie uitvoeren (d.w.z. solderen en beproeven). Voor goedkeuring van bijvoorbeeld de hardsoldeerprocedure kan worden verwezen naar NEN-EN 13134:2000.

Opmerking:

De soldeerprocedurekwalificatie is onbeperkt geldig, mits volgens de daarin gespecificeerde procedure wordt gewerkt en gekeurd. Hoewel de soldeerprocedurekwalificatie in principe een beleidsinstrument is voor interne betrekkingen - i.v.m. research, "know how" en bedrijfsorganisatie - moet de zakelijke waarde ervan niet worden onderschat. Dit laatste vooral in situaties waar de kans op communicatiestoornissen tussen afnemer en producent groot is, omdat de oorspronkelijke onderzoek- of beoordelingsmethode niet is vastgelegd.

De soldeerprocedurekwalificatie geldt als basis voor de productiekeuring. Keuringen kunnen op velerlei wijzen

worden verricht met zeer uiteenlopende maatstaven voor de beoordeling. In vele gevallen levert de overtuiging dat er gewerkt wordt volgens de gekwalificeerde procedure reeds voldoende waarborg voor de kwaliteit.

Hardsoldeerverbindingen kunnen zowel niet-destructief als destructief worden geïnspecteerd. Als norm voor deze inspecties kunnen normbladen als de eerder vermelde EN ISO 18279 c.q. NEN-EN-ISO 18279:2004 "Onvolkomenheden in hardgesoldeerde verbindingen" worden gebruikt, of een door de kwaliteitsdienst opgesteld kwaliteitsplan.

6.3.1 Destructieve onderzoekmethoden

Het beoordelen van de kwaliteit kan m.b.v. destructieve onderzoekmethoden plaatsvinden.

Bij een destructief onderzoek wordt een oordeel gevormd over de homogeniteit van de soldeernaad, de structuur en de sterkte van gesoldeerde verbindingen.

Voor de bepaling van de sterkte van een soldeerverbinding kan zowel de treksterkte als de afschuifsterkte worden vastgesteld. Voor gestandaardiseerde beproeving van hardsoldeerverbindingen, zie NEN-EN 12797:2000/A1:2004 en "Hardsolderen: Destructieve beproeving van hardgesoldeerde verbindingen". Voorts kan worden verwezen naar de richtlijn ANSI/AWS C3.2-82 "Standard Method for Evaluating the Strength of Brazed Joints in Shear". Bij productiekeuringen is een destructief onderzoek als regel minder aantrekkelijk en veelal niet uitvoerbaar. In bepaalde gevallen - bij series betrekkelijk goedkope producten - kan een destructief onderzoek onder toepassing van statistische beginselen een goed beeld leveren van de kwaliteit.

6.3.2 Niet-destructieve onderzoekmethoden

Bij toepassing van deze onderzoekmethoden dienen de minimum eisen (toelaatbaarheid van bepaalde afwijkingen) te worden vastgelegd.

Voor de niet-destructieve keuringsmethoden van bijvoorbeeld hardsoldeerverbindingen, zie NEN-EN 12799:2000/A1:2004 en "Hardsolderen: Niet-destructief onderzoek van hardgesoldeerde verbindingen". Voorts kan voor ultrasoononderzoek van dit soort soldeerverbindingen worden verwezen naar de richtlijn ANSI/AWS C3.8-90 Recommended Practice for Ultrasonic Inspection of Brazed Joints.

De niet-destructieve onderzoekmethoden kunnen als volgt worden ingedeeld:

- 1 Onderzoek naar gebreken aan het oppervlak van de verbinding:**
 - ▶ visueel;
 - ▶ met penetrerende vloeistof;
 - ▶ magnetisch scheuronderzoek.
- 2 Onderzoek naar gebreken in de soldeerverbinding:**
 - ▶ radiografisch (röntgenen; mogelijk neutrografie);
 - ▶ ultrasoon;
 - ▶ wervelstroomonderzoek;
 - ▶ elektrisch testen (veel toegepast voor prentpanelen);
 - ▶ thermografie;
 - ▶ akoestische emissie;
 - ▶ akoestische microscopie (toegepast voor keramiekverbindingen);
 - ▶ kloptest.
- 3 Onderzoek op dichtheid van de soldeerverbinding:**

De dichtheidscontrole kan worden verdeeld in twee onderzoekmethoden:

 - ▶ lektesten: het controleren van een product om te zien of dit voldoet aan de dichtheidseisen. De methode

geeft een kwantitatieve analyse van de dichtheid.

De mogelijkheden zijn:

- drukstijg- of drukafvaltest;
- heliumlekttest.
- ▶ lekzoeken: het opsporen van lekplaatsen en vaststellen van de grootte van de inlek. De methoden zijn:
 - afpersen met vloeistof (max. $0,4 \text{ N/mm}^2 = 3 \text{ ato}$);
 - belletjesmethode (afpersen met gas onder vloeistof);
 - warmtegeleidingsmeter (Pirani-vacuüm-meter), bruikbaar in het fijnvacuümbereik ($133,3 \dots 133,3 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2 = 1 \dots 10^{-3} \text{ mm Hg} = 1,33 \dots 1,33 \times 10^{-3} \text{ mbar}$);
 - zeep-test;
 - chemische methode;
 - ionisatievacuüm-meter; voorwaarde is het werken bij relatief lage druk ($\leq 133,3 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ mm Hg} = 1,33 \times 10^{-5} \text{ mbar}$), interessant voor hoogvacuüm en UHV-apparatuur (=ultra hoog vacuüm);
 - halogeenlekdetector (H.L.D.); slechts beperkt bruikbaar voor kwantitatieve metingen, daar veel factoren invloed uitoefenen, zoals druk, temperatuur, aanwezigheid van halogenen in de omgeving (sigarettenrook) en vergiftiging van de anode; wel geschikt voor vergelijkingsmetingen met een referentielek;
 - helium detector (helium lekzoeker); de methode met massaspectrometer is zeer gevoelig en betrouwbaar, maar vereist hoge investering.

Dichtheid wordt gespecificeerd in een maximaal toelaatbare inlek Q_1 . Deze inlek wordt uitgedrukt als product van druktoename en volume per tijdseenheid:

$$Q_1 = \frac{\Delta p \cdot V}{t} \quad \text{Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s} (\cong 10 \text{ mbar} \cdot \text{l} / \text{s})$$

Hoge dichtheidseisen vereisen grote investering in controle-apparatuur.

Een maximale inlek van $1,33 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ($1,33 \times 10^{-2} \text{ mbar} \cdot \text{l} / \text{s}$) kan vrijwel zonder investering worden vastgesteld. Daarentegen is voor het opsporen van lekken kleiner dan $1,33 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 / \text{s}$ ($1,33 \times 10^{-7} \text{ mbar} \cdot \text{l} / \text{s}$) een hoge investering van ongeveer € 30.000,- nodig.

In tabel 6.1 is een overzicht gegeven van de minimaal aantoonbare lek bij de verschillende lekzoekmethoden.

N.B. Voor meer specifieke informatie over de kwaliteitsbeheersing van zacht- en hoogtemperatuursoldeerverbindingen kan worden verwezen naar respectievelijk hoofdstuk 6 van de voorlichtingspublicatie VM 93 "Microsoldeeren" en hoofdstuk 7 van de VM 82 "Hoogtemperatuursolderen".

tabel 6.1 Minimaal aantoonbare lek van de dichtheidscontrolemethoden

benaming test	gebruik medium	detectie (middel of apparatuur)	min. aantoonbaar lek ¹⁾	
			Pa.m ³ /s	mbar.l/s
afpersen met vloeistof	vloeistof	vloeistof	$1,33 \times 10^{-1}$	1,33
belletjesmethode	gas of lucht	belletjes in vloeistof	$6,77 \times 10^{-3}$	$6,77 \times 10^{-2}$
warmtegeleidingsmeter	gas (bijv. waterstof of aceton)	Pirani-vacuümmeter	$1,33 \times 10^{-4}$	$1,33 \times 10^{-3}$
zeepstest	gas of lucht	zeepsop	$1,33 \times 10^{-5}$	$1,33 \times 10^{-4}$
halogeen druktest	R 134 a ²⁾	halogeen lekzoeker	$1,33 \times 10^{-6}$	$1,33 \times 10^{-5}$
halogeen vacuümtest	R 134 a ²⁾	halogeen lektester	$1,33 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-6}$
ionisatievacuümmeter	gas	gedesorbeerde gasstroom	$1,33 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-6}$
chemische methode	chemisch actief gas bijv. ammoniak	chemisch gevoelig papier	$1,33 \times 10^{-8}$	$1,33 \times 10^{-7}$
halogeen drukvacuümtest	R 134 a ²⁾	halogeen lektester	$1,33 \times 10^{-9}$	$1,33 \times 10^{-8}$
helium druktest	helium-stikstofmengsel	massaspectrometer	$1,33 \times 10^{-9}$	$1,33 \times 10^{-8}$
helium vacuümtest	helium	massaspectrometer	$1,33 \times 10^{-11}$	$1,33 \times 10^{-10}$
helium drukvacuümtest	helium-stikstofmengsel	massaspectrometer	$1,33 \times 10^{-13}$	$1,33 \times 10^{-12}$
krypton 85 test	krypton 85	stralingsmeetapparatuur	$1,33 \times 10^{-14}$	$1,33 \times 10^{-13}$

1) De gegeven waarden voor de min. aantoonbare lek zijn optima. Onder productieomstandigheden kan als regel een factor 10 kleinere gevoeligheid worden aangenomen.

2) Voorheen werd freon-12 gebruikt; R 134 a is een milieuvriendelijke fluorkoolwaterstof.

Hoofdstuk 7

Veiligheid, gezondheid en milieu

7.1 Veiligheid

Uit het oogpunt van **veilig werken** moeten alle brandbare en ontvlambare materialen vooraf van de werkplek worden verwijderd en moet de vloer van de werkplek uit onbrandbaar en vuurbestendig materiaal bestaan.

Bij het *solderen met de bout*, die hetzij met gas, hetzij elektrisch wordt verwarmd, kunnen bij het niet-correct wegleggen van de bout schroei- of brandplekken ontstaan. Elektrische soldeerbouten en -pistolen moeten bovendien van randaarde zijn voorzien of dubbel geïsoleerd zijn om elektrocutie te vermijden.

Bij het *solderen met de vlam* dient te worden gewaakt voor lekkages van aansluitingen met de brander, slangen en gascilinders.

Open bij het autogeen vlamsolderen met een acetyleen-zuurstofmengsel, afkomstig van gascilinders - nadat is gecontroleerd dat beide gascilinders voldoende gevuld zijn - eerst de kraan van de acetyleencilinder voor driekwart en vervolgens de acetyleenkraan van de brander voor een kwart en stel met de drukregelaar de druk in. Sluit vervolgens de kraan van de acetyleenbrander. Open daarna *langzaam* in zijn geheel de kraan van de zuurstofcilinder en vervolgens de zuurstofkraan van de brander tot een halve slag en stel met de regelaarschroef de druk in. Sluit vervolgens de kraan van de zuurstofbrander. Open hierna de acetyleenkraan van de brander voor een kwart en ontsteek het uitstromend gas met een speciale z.g. (wrijvings)-vonkaansteker (gebruik nooit lucifers). Regel dan met de zuurstofkraan van de brander de vlaminstelling.

Bij beëindiging van de soldeerwerkzaamheden eerst de acetyleenkraan van de brander dichtdoen en vervolgens de zuurstofkraan van de brander. Daarna eerst de kraan van de acetyleengascilinder dichtdoen en vervolgens de zuurstofkraan van de zuurstofcilinder. Vervolgens beide kranen van de brander openen om de druk te laten wegvloeien. Dan beide regelaarschroeven terugdraaien tot geen veerdruk meer wordt gevoeld. Sluit hierna de beide kranen van de brander. Laat ook altijd de kraansleutel op de acetyleengascilinder zitten als de kraan openstaat. Gebruik nooit olie of vet op de brander en/of reguleur: in aanwezigheid van zuurstof kan dit tot explosies leiden! Gebruik ook nooit koperen fittingen maar bronzen of messing fittingen: acetyleen kan met koper explosief reageren!

Bij het *inductiefsolderen* moet worden voorkomen dat er contact is met de werkspoel. Voorts worden alle metalen voorwerpen aanwezig in het magnetisch veld van de werkspoel, opgewarmd. Dit geldt ook voor sieraden als ringen, kettingen, armbanden, e.d. Draag deze dus niet bij soldeerwerkzaamheden. Tevens dient men op te passen bij het dragen van een pacemaker in de buurt van een inductief generator. Waarschuwingstekens (stickers) moeten aanwezig en zichtbaar zijn.

Bij het *weerstandssolderen* moeten om verbranding te voorkomen de elektroden niet worden aangeraakt tijdens het solderen. Bovendien moet de druk van de elektroden tijdens het solderen niet worden verlaagd of weggenomen daar dan vonken kunnen ontstaan.

Bij het *dompelsolderen*, zoals golf- en sleepsolderen of zoutbadsolderen, moet worden vermeden dat de te solderen delen vocht bevatten bij plaatsing van deze delen

in het bad: het vocht dat in het bad kan gaan koken, leidt tot stoomvorming met wegvliegende spatten badvloeistof (gesmolten soldeer of vloeimiddel) als gevolg.

Bovendien kunnen afdekolies, zoals bij golf- en sleep-solderen wel worden toegepast, leiden tot brandgevaar.

Bij het *solderen in ovens* met waterstof of stikstof/waterstof mengsels kunnen bij ongewild toetreden van lucht (zuurstof) ten gevolge van lekkage, explosieve mengsels ontstaan. Soldeerovens werkend met inert gas (argon, stikstof) of in vacuüm hebben dit probleem niet.

Bij het *infraroodsolderen* en het lasersolderen kan de toegepaste straling leiden tot verbranding van de huid en voorts tot momentane verblinding of blijvende schade aan de ogen. Het dragen van geen of weinig straling doorlatende kleding naast oogbescherming (speciale brillen, e.d.) is dan ook noodzakelijk.

Bij het uitvoeren van *ultrasoon solderen* kunnen hoge geluidsniveaus optreden. Bij een niveau van 85 dB(A) en hoger is het dragen van gehoorbescherming verplicht (zie ook www.5xbeter.nl).

Bij *soldeermethoden met bijzondere verwarmingswijzen* zoals plaat/band, vloeistof of lucht/gas verwarming kan bij aanraking huidverbranding optreden.

7.2 Gezondheid

Uit het oogpunt van **gezond werken** moeten emissies van schadelijke stoffen en gassen op de werkplek zo goed mogelijk worden voorkomen en indien dit niet kan, dan zo effectief mogelijk d.m.v. ventilatie en afzuiging worden verwijderd van de werkplek ter beperking van de blootstelling. Het scheiden van mens en vervuilingbron bijvoorbeeld door mechanisering of automatisering van het solderen, of het dragen van persoonlijke beschermingsmiddelen zijn - in deze volgorde - eveneens mogelijkheden ter beperking van de blootstelling.

Bij soldeermethoden zoals *bout-, vlam- en ovensolderen*, waarbij gas als verwarmingsbron wordt gebruikt, kunnen schadelijke gassen als koolmonoxide en stikstofoxiden ontstaan: ventilatie van de werkruimte in combinatie met plaatselijke afzuiging is dan ook aan te bevelen. Het ventileren van werkruimten - vanwege optredend zuurstofverbruik - is feitelijk altijd nodig.

Bij het *handmatig vlam-, inductief- en weerstandssolderen met een cadmiumhoudend hardsoldeer* moet tevens - conform de Praktijkrichtlijn Lasrook (zie ook www.lasrook-online.nl of www.5xbeter.nl) - een filterend halfmasker of een z.g. wegwerpmasker (type FFP2) worden gedragen. Dit laatste geldt ook voor langdurige (> 1 uur) machinale soldeerwerkzaamheden, terwijl dit ook het geval is voor langdurig (> 1 uur) handmatig solderen met een cadmiumvrij hardsoldeer. Voor het werken met loodhoudende soldeermaterialen kunnen soortgelijke maatregelen worden genomen.

Bovendien wordt bij het *vlamsolderen* het dragen van een bril met donkere glazen aanbevolen. Dit is zeker nodig in het geval het z.g. *gasfluxsolderen* wordt toegepast.

Worden bij het solderen *agressieve vloeimiddelen* gebruikt die zuren en/of zouten bevatten, dan dient gewaakt te worden voor spatten. Gezichts- en huidbescherming is dan ook noodzakelijk. Worden harshoudende vloeimiddelen toegepast dan dienen de verbrandings/ontledingsproducten middels plaatselijke afzuiging en ventilatie van de werkplek te worden verwijderd.

Bij voorbereidende soldeerwerkzaamheden worden soms behandelingen als ontvetten en beitsen toegepast; hierbij worden vaak voor de gezondheid schadelijke stoffen gebruikt. Te denken valt aan aceton, perchloorethyleen, isopropylalcohol, zuren e.d. Afzuigen en ventileren is dan noodzakelijk. Sommige stoffen bijvoorbeeld perchloorethyleen mogen alleen gebruikt worden in gesloten installaties (zie ook www.5xbeter.nl).

Worden chloorhoudende organische oplosmiddelen bij het ontvetten gebruikt, dan mag in de ruimte waar deze werkzaamheden worden uitgevoerd nooit elektrisch worden gelast. Ten gevolge van de bij het lassen vrijkomende UV-straling kan zich het zeer giftige fosgeengas ontwikkelen. Van te solderen producten die bij het samenstellen worden gehechtlast, moeten dan ook altijd de resten van deze oplosmiddelen grondig worden verwijderd.

Voorts is het aan te bevelen tijdens soldeerwerkzaamheden niet te drinken, te eten of te roken.

7.3 Milieu

Bij het ventileren en afzuigen van soldeer- en vloeimiddeldampen naar buiten, dient te worden voldaan aan de eisen die zijn gesteld in de milieuvergunning van een individueel bedrijf, dan wel, indien een bedrijf onder de werking van het nieuwe Besluit Algemene Regels voor inrichtingen (Activiteitenbesluit) valt, aan de eisen die zijn opgenomen in dat Besluit en de bijbehorende Ministeriële Regeling. De eisen die door het Ministerie van VROM zijn opgenomen in dat Besluit zijn gebaseerd op de eisen die zijn gesteld in de Nederlandse emissie Richtlijnen (NeR) en in het Werkboek milieumaatregelen Metalectro-industrie. Ten aanzien van de activiteit Solderen zijn in het Activiteitenbesluit per soldeertype (zacht-, hard- en hoogtemperatuur-soldeer) eisen gesteld aan emissies, indien de grensmassa-stroom van een bepaalde stof of groep van stoffen wordt overschreden. Op basis van literatuuronderzoek zijn richtlijnen gegeven voor (een groep van) veelgebruikte soldeermaterialen, bij welke *indicatieve drempels* verwacht wordt dat onder de Vrijstellingsbepaling van de NeR gebleven wordt (zie hieronder en ook www.vrom.nl).

In het Activiteitenbesluit zijn onder meer de volgende *indicatieve drempels* opgenomen:

- ▶ bedrijven die zachtsolderen en minder dan 250 ton zachtsoldeermateriaal per jaar verbruiken blijven voor wat de stofvormige emissies onder de Vrijstellingsbepaling en hoeven geen maatregelen te treffen;
- ▶ bedrijven die zachtsolderen en meer dan 250 ton zachtsoldeermateriaal per jaar verbruiken, moeten voldoen aan de emissie-eis van 5 mg/m³;
- ▶ bij een verbruik van meer dan 100 kilogram vloeimiddel op jaarbasis ^{*)}, zijn er emissie-eisen voor alle mogelijke categorieën van mogelijk optredende gasvormige emissies t.g.v. vloeimiddelverbruik (zie tabel 7.1 voor een globaal overzicht van emissies).

Voorts is er in het Activiteitenbesluit vermeld dat:

- ▶ de mogelijkheid voor het Bevoegd Gezag om informatie op te vragen over verbruik en samenstelling van de sol-

deermaterialen en een overzicht van aard en omvang van de gasvormige emissies t.g.v. het gebruik van vloeimiddelen;

- ▶ er emissie-eisen zijn voor stofvormige emissies, en voor cadmiumemissies t.g.v. het hardsolderen (zie ook de Ministeriële Regeling hieronder).

In de Ministeriële Regeling zijn *erkende maatregelen* opgenomen, waarmee aan de emissie-eisen kan worden voldaan. In de nota van toelichting bij de Ministeriële Regeling zijn voor het hardsolderen de volgende *indicatieve drempels* genoemd waarboven (na verwachting) relevante stofvormige emissies kunnen optreden, die maatregelen vergen:

- ▶ voor toepassing van cadmiumhoudend zilversoldeer geldt als jaarverbruik 65 kg soldeer/jaar;
- ▶ voor toepassing van cadmiumvrij zilversoldeer geldt als jaarverbruik 2200 kg soldeer/jaar;
- ▶ voor toepassing van koperzinkhardsoldeer geldt als jaarverbruik 800 kg soldeer/jaar;
- ▶ voor toepassing van aluminiumhardsoldeer geldt als jaarverbruik 8000 kg soldeer/jaar. Voor toepassing van aluminiumsoldeer ten behoeve van het hoogtemperatuursolderen van aluminium geldt als jaarverbruik 75 ton soldeer/jaar.

Vanwege het per 1 juli 2006 door de EU bepaalde verbod (RoHS) op het gebruik van o.a. lood en cadmium - op enkele uitzonderingen na zoals voor medische hulpmiddelen en meet- en controle-apparatuur - dienen voortaan loodvrije en cadmiumvrije soldeersoorten te worden gebruikt.

Voorts dienen soldeerresten, vloeimiddelresten, vervuilde reinigings- en beitsmiddelen, straalmiddelen e.d. die na het solderen overblijven, als bedrijfs- of gevaarlijk afval te worden afgevoerd en niet zonder meer in het riool te worden weggepoeld. Raadpleeg ook de EURAL afvalstoffenlijst, en zo nodig de leverancier voor het op juiste wijze afvoeren van deze afvalstoffen.

*) Bedrijven die op jaarbasis minder dan 100 kilogram vloeimiddel gebruiken behoeven geen maatregelen te treffen m.b.t. gasvormige emissies vanwege dit vloeimiddelverbruik.

Of een vloeimiddelverbruik hoger dan 100 kilogram per jaar altijd tot maatregelen leidt, hangt af of er significante emissies (kunnen) optreden, hetgeen moet worden aangetoond. Neemt het bedrijf een erkende maatregel, dan heeft het daarmee aan de emissie-eis voldaan.

Als erkende maatregel kan o.m. worden genoemd het gebruik van gaswassers (voor bijvoorbeeld emissie van HCl, HBr, enz.) of adsorptiefilters (voor bijvoorbeeld emissie van VOS = vluchtige organische stoffen). Ook preventie van emissie door toepassing van bijvoorbeeld VOS emissie-arme vloeimiddelen, gebruik van een fluxvernevelaar bij bijvoorbeeld het golfsolderen van printpanelen of het hanteren van een vloeimiddelarme soldeeromgeving bijvoorbeeld van een niet-oxiderende atmosfeer (d.m.v. stikstofkappen) of van een andere soldeertechniek waarmee vloeimiddelvrij of vloeimiddelarm kan worden gesoldeerd zijn even zovele mogelijkheden van erkende maatregelen.

tabel 7.1 Globaal overzicht van emissieproducten (met stof- of gascode) die bij het solderen met zacht- en hardsoldeervloeimiddelen kunnen vrijkomen en die in de NeR Stoffenlijst voorkomen

ZACHTSOLDEERVLOEIMIDDEL		
DIN 8511	DIN-EN 29454-1	Emissieproducten die in de NeR stoffenlijst voorkomen
F-SW 11	3.2.2	zinkchloride (rook) sA.3, tin en anorganische tinverbindingen sA.3 ; ammoniak gA.3, salpeterzuur (nevels) gA.3; zoutzuur en chloorverbindingen gA.3; zwavelzuur gA.2, fluorverbindingen gA.2; fluoriden sA.3
F-SW 12	3.1.1	zinkchloride (rook) sA.3, tin en anorganische tinverbindingen sA.3; ammoniak gA.3; zoutzuur en chloorverbindingen gA.3
F-SW 13	3.2.1	fosforzuur gA.2
F-SW 21	3.1.1	zinkchloride (rook) sA.3; ammoniak gA.3; zoutzuur en chloorverbindingen gA.3; IPA O.2; PEG sO
F-SW 22	3.1.2	zinkchloride (rook) sA.3; zoutzuur en chloorverbindingen gA.3; IPA O.2; PEG sO
F-SW 23	2.1.2/2.2.1/2.2.3	benzaldehyde O.1
F-SW 24	2.1.2/2.1.1/2.2.3	methylamine O.1, ethylamine O.1, 1,2-diaminoethaan O.1; ammoniak gA.3
F-SW 25	2.1.2/2.2.2	aniline O.1, cetylpyridinium chloride O.1;hydrazine(+ zouten) MVP2;zoutzuur en chloorverbindingen gA.3
F-SW 26	1.1.2	maleinezuuranhydride sO; zoutzuur en chloorverbindingen gA.3; ontledingsproducten van glutaminezuur?
F-SW 27	1.1.3	samenstelling flux onbekend; ontledingsproducten van ??
F-SW 28	1.2.2	samenstelling flux onbekend; ontledingsproducten van ??
F-SW 31	1.1.1	formaldehyde O.1;maleinezuuranhydride sO; IPA O.2, trichlooretheen O.2
F-SW 32	1.1.3	formaldehyde O.1;maleinezuuranhydride sO; IPA O.2
F-SW 33	1.2.3	formaldehyde O.1;maleinezuuranhydride sO; IPA O.2
F-SW 34	2.2.3	formaldehyde O.1; IPA O.2
<p>Voorbeeld van emissie bij een elektronica toepassing: Sn60PbCu2 soldeer + F-SW 32 flux geeft als emissie o.m. alcoholen, aldehyden, esters en terpenen. Bij 350 °C wordt op 40 g soldeerverbruik 1 g flux gebruikt waarbij dan 0,4 mg formaldehyde ontstaat. Tussen 250 °C en 450 °C ontstaat 2 microgram loodstof en 8 tot 30 microgram tinstof per gram soldeer.</p>		
HARDSOLDEERVLOEIMIDDEL		
DIN 8511	DIN-EN 29454-1	Emissieproducten die in de NeR Stoffenlijst voorkomen
F-SH 1	FH 10	boriumtrifluoride gA.2, fluorverbindingen gA.2; fluoriden sA.3, boriumverbindingen S
F-SH 1a	FH 11	boriumtrifluoride gA.2, fluorverbindingen gA.2, boriumtrichloride gA.2; fluoriden sA.3, boriumverbindingen S
	FH 12	boriumtrifluoride gA.2, fluorverbindingen gA.2; fluoriden sA.3, boriumverbindingen S
F-SH 2	FH 20	boriumtrifluoride gA.2, fluorverbindingen gA.2; fluoriden sA.3, boriumverbindingen S
	FH 21	boriumverbindingen S
F-SH 3	FH 30	boriumverbindingen S, siliciumdioxide (amorf) S; fosforzuur gA.2
F-SH 4	FH 40	chloorverbindingen gA.3;fluorverbindingen gA.2; fluoriden sA.3
F-LH 1	FH 10	chloorverbindingen gA.3;fluorverbindingen gA.2; fluoriden sA.3
F-LH 2	FH 20	fluorverbindingen gA.2; fluoriden sA.3

Hoofdstuk 8

Koper en koperlegeringen *)

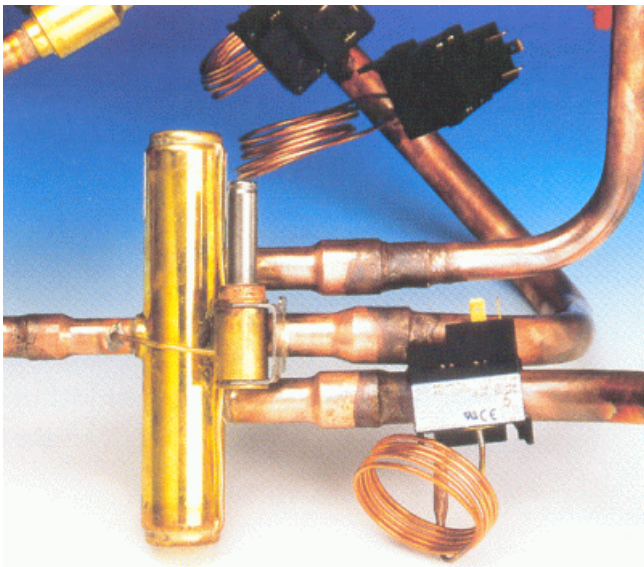
8.1 Inleiding

Van alle materiaalsoorten zijn koper en de koperlegeringen het gemakkelijkst en zonder veel problemen zowel zacht-, hard- als hoogtemperatuursoldeerbaar. Solderen is dan ook de meest toegepaste verbindingmethode voor deze materialen. Veelal gelden voor alle in deze groep voorkomende typen legeringen dezelfde voorschriften. Soms is het nodig, per type, enkele afzonderlijke maatregelen te treffen. De meest voorkomende typen zijn:

- ▶ ongelegeerd koper, zowel zuurstofvrij als zuurstofhoudend;
- ▶ laaggelegeerd koper, zoals CuAs, CuBe, CuCr, CuTe, enz.;
- ▶ koper-zinklegeringen (messingsoorten), zowel zuiver CuZn als Al-, Sn- en/of Pb-houdende soorten;
- ▶ koper-nikkel- en koper-nikkel-zinklegeringen;
- ▶ koper-tinlegeringen, zowel zuiver CuSn als Zn- en/of Pb-houdende soorten;
- ▶ koper-aluminiumlegeringen;
- ▶ koper-siliciumlegeringen.

8.2 Materiaalcombinaties

Materialen behorend tot hetzelfde type koperlegering kunnen zonder meer door solderen worden verbonden; zie figuur 8.1. Dit geldt eveneens voor onderdelen behorend tot verschillende koperlegeringstypen; de te nemen maatregelen moeten dan echter worden afgestemd op de legering die het moeilijkst is te solderen. Ook moet rekening worden gehouden met het verschil in uitzettingscoëfficiënt (zie hoofdstuk 5: Constructieve aspecten). Verschil in warmtegeleiding speelt een rol bij de plaats en tijdsduur van de warmte-inbreng.



figuur 8.1 Circuit van een koelinstallatie vervaardigd van gesoldeerd koper en koperlegeringen (foto Brazetec)

Voor combinatie met andere materialen dan koperbasis-

materialen zoals bijvoorbeeld nikkel, aluminium, roestvast staal e.d., wordt verwezen naar wat gezegd is in de desbetreffende hoofdstukken van deze andere materialen (nikkel, aluminium, roestvast staal e.d.), omdat de voor deze andere materialen te nemen maatregelen bepalend zullen zijn.

8.3 Eigenschappen

8.3.1 Fysische eigenschappen

ZACHTSOLDEERVERBINDINGEN

Bij koper en koper-zinklegeringen treedt door tinhoudend soldeer niet alleen bevochtiging op, maar vormt zich ook een overgangslaag van CuSn of CuSnZn (koper-tin-, resp. koper-tin-zinklegering). De soldeersnelheid is van invloed; bij te langzaam werken en bij te hoge temperatuur kan genoemde overgangslaag, die uit een brosse fase bestaat, de trek- en schuifsterkte ongunstig beïnvloeden. Bij koper-zinklegeringen geeft deze brosse laag meer moeilijkheden. Bij de loodhoudende zachtsoldeersoorten ligt de schuifsterkte (bij kamertemperatuur) in de orde van grootte van 40...50 N/mm²; bij de loodvrije zachtsoldeersoorten ligt deze schuifsterkte in de orde van grootte van 30...40 N/mm².

Bij langdurige belasting treedt ook bij kamertemperatuur kruip op. De toelaatbare langeduur schuifbelasting ligt dan bij 0,5...1,5 N/mm² (afhankelijk van de soldeersoort en met inbegrip van een zekere veiligheidsfactor).

Verlaging van temperatuur (bijvoorbeeld tot -183 °C) heeft geen merkbare invloed. Verhoging van temperatuur doet de toelaatbare lange duur schuifbelasting verder dalen, waardoor de zachtsoldeerverbinding niet boven 100 °C wordt toegepast, tenzij men speciale soldeersoorten gebruikt, zoals bijvoorbeeld tinzilversoldeer.

HARDSOLDEERVERBINDINGEN

Omdat de soldeertemperatuur aanmerkelijk boven de rekristallisatietemperatuur van alle koperbasismaterialen ligt, zullen de te verbinden onderdelen in de omgeving van de soldeerverbinding steeds in volledig of grotendeels zachtgegloeide toestand zijn. Voor ongelegeerd koper is de treksterkte ongeveer 220 N/mm².

De meeste hardsoldeersoorten hebben (in giettoestand) een treksterkte die boven 300 N/mm² ligt, waardoor de soldeerverbinding sterker is dan het moedermateriaal. De schuifsterkte ligt op ongeveer 150 N/mm². Een geringe overlap van ongeveer 3 maal de wanddikte is meestal voldoende. Voor soldeerverbindingen in koperen pijpen toegepast in de installatietechniek gelden afwijkende overlappenden afhankelijk van de wanddikte en pijp diameter (zie hoofdstuk 5: Constructieve aspecten).

8.3.2 Chemische eigenschappen

Zowel zacht- als hardsoldeerverbindingen bij koper en koperlegeringen leveren onder atmosferische en andere zwak tot matig corrosieve milieus geen problemen op. Wel kunnen restanten van te agressieve vloeimiddelen ernstige corrosie veroorzaken.

8.3.3 Metallurgische eigenschappen

Bij het *zachtsolderen* bestaat, door de lage temperatuur waarbij dit plaats heeft, geen beïnvloeding van metallurgische eigenschappen, voor zover althans bepaalde legeringen vooraf spanningsvrij zijn gegloeid. Als koudversterkte messingsoorten (Zn tot 37%) zonder spanningsarm

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

gloeien worden zachtgesoldeerd, bestaat een zeer grote kans op scheuren, de z.g. soldeerbroosheid, wat in wezen vergelijkbaar is met spanningscorrosie. Dit geldt ook - in veel mindere mate - voor tin-bronzen.

Bij het *hardsolderen* moet rekening worden gehouden met onder meer het optreden van bepaalde verschijnselen n.l.:

- ▶ waterstofziekte ook wel waterstofbroosheid genoemd;
- ▶ beïnvloeding van de mechanische eigenschappen;
- ▶ warmscheuren.

WATERSTOFZIEKTE

Zuurstofhoudend koper bevat een zeker percentage koper-oxiduul. Bij de hardsoldeertemperatuur wordt bij een reducerende vlaminstelling dit door ontstane waterstof gereduceerd, waarbij als reactieproduct waterdamp wordt gevormd. De hierbij optredende druk in het koper kan tot ernstige scheurvorming leiden. De enige oplossing is een soldeermethode in een niet-reducerende waterstofvrije atmosfeer, bijvoorbeeld vacuüm. Is dit niet mogelijk, dan moet zuurstofvrij koper (P (= fosfor)-gedesoxideerd of OFHC (= oxygenfree high conductivity) koper worden toegepast. Ditzelfde geldt voor koper-telluur- en koper-zwavellegeringen.

BEÏNVLOEDING VAN DE MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN

Alle koperlegeringen die door uitscheidingsharding zijn veredeld (CuBe, CuCr, enz.) en alle koperlegeringen die koud zijn versterkt, verliezen plaatselijk, geheel of gedeeltelijk, de verkregen hoge hardheid en treksterkte.

WARMSCHEUREN

In loodhoudende legeringen, zoals tin-brons en automatenmessing, is het lood als kleine deeltjes in de structuur aanwezig. Lang voor de soldeertemperatuur is bereikt, is dit lood volledig gesmolten. Dit betekent, dat door de onvermijdelijke thermische spanningen gedurende het solderen, het moedermateriaal kan scheuren ten gevolge van de zwakke plekken in de structuur.

In het algemeen geldt dat legeringen met Pb-gehalten tot 1,5% nog soldeerbaar zijn.

8.4 Voorbewerking

In het algemeen kan worden gesteld, dat een te ruw, maar ook een te glad oppervlak nadelig is voor een goede capillaire werking; de bewerkingsgroeven dienen bij voorkeur in de vloeirichting van het soldeer te liggen ter vergroting van de vloeilengte. Een oppervlak met een ruwheid van ongeveer 5 µm (Ra=5) wordt als ideaal opgegeven (zie voor oppervlakteruwheid en bewerkingstekens NEN 630).

8.4.1 Naadvormen

Alle in hoofdstuk 5 genoemde naadvormen zijn voor koper en koperlegeringen toepasbaar.

Omdat de onderlinge verschillen in de uitzettingscoëfficiënt van de koperlegeringen slechts zeer gering zijn, heeft men zelden of nooit rekening te houden met het te nauw of te ruim worden van de capillaire spleet bij de soldeertemperatuur (zie hiervoor overigens hoofdstuk 5).

8.4.2 Voorbehandeling van de oppervlakken

Vuil en vet dienen eerst te worden verwijderd, bijvoorbeeld met een schone dot poetskatoen, daarna eventueel ontvetten in een geschikt ontvettingsmiddel en eventueel spanningsarm gloeien (tabellen 8.1 en 8.2). Indien de te solderen oppervlakken niet metallisch blank zijn, dan moeten ze in deze toestand worden gebracht. Dit kan geschie-

den met behulp van staalwol, droog schuurlijnen en/of staalborstel of door beitsen. Na de behandeling zo spoedig mogelijk het vloeimiddel aanbrengen en solderen. Voor de meer kritische toepassing kunnen de te solderen onderdelen worden gebeitst; moet het oppervlak glad zijn, dan kan na het beitsen een behandeling in een polijstbad plaatsvinden. Na het vetvrij maken kan het beitsen in een bad van de volgende samenstelling plaatsvinden: 40 ml fosforzuur, 15 ml salpeterzuur, 1,5 ml zoutzuur, 20 g ammoniumnitraat en 45 ml water; 3 à 4 min. spoelen bij een badtemperatuur van 35 °C. Het glansbad bestaat uit: 65 ml azijnzuur, 30 ml fosforzuur en 5 ml salpeterzuur; ½ à 1 min dompelen bij 25 °C. Vervolgens spoelen in koud demiwater, warm demiwater (70 à 80 °C) en alcohol (ethanol).

BEITSEN VAN KOPER-ALUMINIUMLEGERINGEN

Indien het werkstuk zeer sterk is verontreinigd, dient eerst te worden gebeitst in een warm beitsbad van bijvoorbeeld de volgende samenstelling: 40 delen water, 38 delen zwavelzuur, 20 delen salpeterzuur en 2 delen zoutzuur. Na grondig spoelen direct daarna dompelen in een "standaard" bichromaatbad, bestaande uit een 5% zwavelzuuroplossing met 3% natriumbichromaat. Dit bad wordt op kamertemperatuur of iets verhoogde temperatuur gebracht. Bij weinig of niet verontreinigde werkstukken kan worden volstaan met beitsen in dit standaard bichromaatbad. In alle gevallen na afloop grondig spoelen.

BEITSEN VAN KOPER-SILICIUMLEGERINGEN

Werkstukken dompelen in een oplossing met 5% natriumbichromaat en 10% zwavelzuur op kamertemperatuur of iets verhoogde temperatuur; na afloop grondig spoelen. *N.B. Bichromaat is giftig; bij kans van huidopname rubber handschoenen dragen. Bovendien bevat bichromaat het (verdacht) kankerverwekkend zeswaardig chroom.*

8.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer

Door de enorme verscheidenheid van toepasbare soldeersoorten en vloeimiddelen, is het ondoenlijk al deze producten te vermelden. In tabellen 8.1 en 8.2 is daarom volstaan met het geven van de meest aanbevolen soorten en groepen.

Bij de keuze van het vloeimiddel moet men bedenken dat geen enkel middel tot doel mag hebben vet en vuil te verwijderen, het dient uitsluitend om het soldeerooppervlak oxidevrij te houden. Na grondig reinigen van de te verbinden oppervlakken zijn de "weinig agressieve" vloeimiddelen meestal meer dan voldoende in staat om het oppervlak, tijdens de soldeerbehandeling, oxidevrij te houden. Voor toepassingen in de elektronica mogen zelfs alleen de vloeimiddelen op harsbasis worden gebruikt. In de waterleidingstechniek is de toepassing van agressieve middelen verboden (KIWA-keur).

8.6 Soldeermethoden

Alle in hoofdstuk 2 genoemde soldeermethoden zijn zonder meer geschikt voor koper en koperlegeringen. De keuze van de soldeermethode kan dus geheel zijn gericht op andere factoren, zoals enkele fabricage of seriefabricage, enz.

8.6.1 Soldeerprocedure

Na aanbrengen van het vloeimiddel en het in of bij elkaar voegen van de onderdelen moet binnen maximaal 4 uur het solderen volgen.

Bij het solderen met de vlam dient de vlam steeds zoveel

mogelijk te worden gericht op de dikste gedeelten. Er moet voor worden gewaakt dat de vlam niet op het vloeimiddel is gericht, om oververhitting hiervan te voorkomen. Bij het zachtsolderen, de soldeerstaaf niet verwarmen, maar als men ziet aan de werking van vloeimiddel dat de juiste temperatuur is bereikt, de soldeerstaaf tegen de naad houden (buiten de vlam). Bij het hardsolderen de, van vloeimiddel voorziene, soldeerstaaf wél mee verwarmen. Zowel bij hard- als zachtsolderen de dikte van de staaf aanpassen aan de materiaaldikte.

Zolang het soldeer in de naad nog vloeibaar is, mag het werkstuk niet worden bewogen, aangezien de soldeerverbinding daardoor niet meer voor toepassing geschikt kan zijn. Direct afschrikken in water is niet wenselijk (hierdoor kunnen krimpspanningen optreden). Slechts wanneer een te grove korrel of een ontoelaatbaar "uitgloeien" optreedt, waardoor het moeder materiaal te zacht wordt, kan snel afkoelen worden overwogen.

tabel 8.1 Richtlijnen voor het zachtsolderen van koper en koperlegeringen

Type legering		Soldeersoort	Vloeimiddel	Opmerkingen
onlegeerd koper	zuurstof houdend	Alle Sn-Pb, Sn-Pb-Ag, Sn-Sb, Sn-In, Sn-Cu Sn-Zn en Sn-Ag soorten kunnen worden toegepast afhankelijk van het doel van het werkstuk	Bij voorkeur F-SW 23 t/m 32 (resp. 2.y.z t.m 1.y.z). Indien, om welke reden dan ook, de voorkeur ligt bij F-SW 11 t/m 22 (3.y.z typen) moeten de restanten met de uiterste zorgvuldigheid worden verwijderd	
	P-gedesoxideerd OFHC koper			
laaggelegeerde kopersoorten	Cu-As Cu-Ag Cu-Cd Cu-Si-Mn Cu-Ni-Si	Als ongelegeerd koper	Als ongelegeerd koper	
	Cu-Be Cu-Cr Cu-Zr	Als ongelegeerd koper	Door de resistente oxidehuid moeten hier de agressieve vloeimiddelen worden toegepast	Voor betere bevochtiging eventueel een hiervoor geschikte metallische deklaag aanbrengen, bijvoorbeeld Cu of Ni
koper-zink legeringen	zuiver Cu-Zn	Alleen soldeer met laag Sb of zonder Sb gebruiken. Voorkeur S-Sn60Pb40 en S-Sn50Pb40E	Weinig of geen agressieve vloeimiddelen gebruiken	Bij het solderen aan koudverstevigde materialen bestaat het gevaar voor "soldeerbrosheid"; daarom, met name de α -messingsoorten (tot 37% Zn) eerst spanningsarm gloeien. Steeds snel en bij zo laag mogelijke temperatuur solderen om brosse tussenlaag te voorkomen. Het elektrisch opbrengen van een Cu- of een Ni-laag kan dit euvel verhelpen.
	Cu-Zn-Pb			
	Cu-Zn + Mn + Fe (zonder Al of tot 0,5% Al)		Agressieve vloeimiddelen i.v.m. resistente Al-oxidehuid	
	Cu-Zn + Sn			
koper-nikkel legeringen	zonder Zn	Als ongelegeerd koper	Als bij koper-zink legeringen. Bij de hogere Ni-gehalten moeten meer agressieve vloeimiddelen worden gebruikt, zoals F-SW 11 (type 3.2.2)	
	met Zn (nieuw zilver)	Als koper-zink legering		
koper-tin legeringen		S-Sn50 Pb en S-Sn60 Pb	F-SW 24 t/m SW 32 (2.y.z t/m 1.y.z). Voor niet elektrisch werk ook F-SW 22 (type 3.1.2)	Koud gedeformeerde materialen eerst spanningsarm gloeien
koper-aluminium legeringen (4...11% Al)		Zo mogelijk koperlaag aanbrengen (zie kolom Opmerkingen)	Tenminste F-SW 11 (type 3.2.2) (verder zie kolom Opmerkingen)	Koud verstevigde materialen eerst spanningsarm gloeien. Voor betere hechting bedekken met Cu-laag. Indien dit onmogelijk is, dan beitsen (zie § 8.4.2). Als vloeimiddel dient dan te worden gebruikt: ortho-fosforzuur s.g. 1,75 of voor betere capillaire werking zinkchloride + zoutzuur
koper-silicium legeringen (tot 3,5% Si)		Als bij ongelegeerd koper. Binding echter aanmerkelijk slechter. Zinkhoudend soldeer geeft betere resultaten bijvoorbeeld eerst een zinkhoudende vertinningspasta en daarna solderen met Sn-Pb soldeer	F-SW 11 (type 3.2.2)	De nogal resistente oxidehuid moet eerst mechanisch of door beitsen worden verwijderd (zie § 8.4.2)
Opmerking: Voor de soldeersoorten en vloeimiddelen wordt verwezen naar hoofdstuk 3 en 4				

tabel 8.2 Richtlijnen voor het hardsolderen van koper en koperlegeringen

Type legering		Soldeersoort	Vloeimiddel	Opmerkingen
onlegegeerd koper	zuurstof houdend	Alle Cu-Zn, Cu-Ag, Cu-Ag-Cd, Cu-P, Cu-Ag-P en Sn-Ag-Cd-Zn soorten afhankelijk van het doel van het werkstuk (zie groepen H2, H3, H4 en H5)	Bij Cu-P en Cu-Ag-P is geen vloeimiddel nodig (althans bij Cu aan Cu solderen!) Bij de andere soldeersoorten F-SH 1 (FH10 of FH12) voor soldeer met werktemperaturen van 600...800 °C, boven 800 °C: F-SH 2 (FH20 of FH21)	Gevaar voor waterstofziekte! Dus òf niet solderen òf in oven met beschermende atmosfeer; bijvoorbeeld argon of vacuüm
	P-gedesoxideerd of OFHC koper			
laaggelegeerde kopersoorten	Cu-As Cu-Ag Cu-Cd Cu-Si-Mn Cu-Ni-Si	Als ongelegeerd koper	Als ongelegeerd koper	
	Cu-Be Cu-Cr Cu-Zr	Als ongelegeerd koper	Door de resistente oxidehuid moeten de meer agressieve vloeimiddelen (fluoridehoudende) worden gebruikt	Als het smeltpunt van het soldeer boven de uitscheidingshardings-temperatuur ligt, kan eventueel deze harding na het solderen plaatsvinden. Dit is bijv. het geval bij solderen van Cu-Be2 met Ag 208, Ag 207 of Ag 401. Na het solderen steeds snel afschrikken
koper-zink legeringen	zuiver Cu-Zn	Bij Zn-gehalten tot 20% is Cu 303 bruikbaar; bij hogere Zn-gehalten: Ag 309, Ag 203 en Ag 205; maar ook CP 201, CP 102, CP 104 en CP 105	Borax en ook F-SH 1 (FH10 of FH12) en F-SH 2 (FH20 of FH21) Agressieve vloeimiddelen met fluoriden	
	Cu-Zn-Pb			Boven 1,5% lood kan brosheid optreden
	Cu-Zn + Mn + Fe (Al 0,5%)			
	Cu-Zn + Sn			
	Cu-Zn-Al (+ event. Mn-Fe), (Al 0,5%)			
koper-nikkel legeringen	zonder Zn	Als ongelegeerd koper en als koper-zink legeringen. Voor Cu-Ni44: Ag 304 of Ag 401	Als ongelegeerd koper en als koper-zink legeringen	Indien kleurverschil een bezwaar is, dan het koperzinkhardsoldeer 46-50Cu39-46Zn8-11Ni gebruiken
	met Zn (nieuw zilver)	Als bij koper-zink legering en L-Ms. Verder zie kolom Opmerkingen	Als koper-zink legeringen	Veelal wordt L-Ms42 gebruikt, geeft echter brosse naad; beter is dan CP 201, CP 102, CP 102, CP 104, CP 105 en ook Ag 304
koper-tin legeringen		Als bij koper-zink legeringen. Bij zeewaterbestendigheid voorkeur aan Ag 304	F-SH 2 (FH20 of FH21)	Koud gedeformeerde materialen eerst spanningsarm gloeien (Kurt Dies 571)
koper-aluminium legeringen		Bij voorkeur Ag 203, Ag 205 en Ag 206	F-SH 1 (FH10 of FH12) is hier niet agressief genoeg. Noodzakelijk zijn speciale vloeimiddelen met hoog fluoridegehalte eventueel met toevoeging van 15% zinkchloride	Zo snel mogelijk werken om opnieuw oxideren zoveel mogelijk te voorkomen (zie § 8.4.2)
koper-silicium legeringen		CU 303 en Ag solderen als bij ongelegeerd koper	F-SH 1 (FH10 of FH12) Bij solderen met werktemperaturen van 800 °C en hoger F-SH 2 (FH20) met fluoriden toevoeging	Koud gedeformeerde materialen eerst spanningsarm gloeien en beitsen (zie § 8.4.2)

Opmerking: Voor de soldeersoorten en vloeimiddelen wordt verwezen naar hoofdstuk 3 en 4

8.7 Nabehandeling en controle

Bij een goed uitgevoerde capillaire verbinding is geen enkele "mechanische" bewerking als slijpen, hameren, e.d. nodig. Het enige dat beslist moet gebeuren, is het verwijderen van vloeimiddelresten en/of reactieproducten. Voor vloeimiddelresten en/of reactieproducten optredend bij het zachtsolderen is dit meestal: afspoelen of doorspoelen met ruime hoeveelheden water; voor vloeimiddelresten en/of reactieproducten optredend bij het hardsolderen is dit

meestal: chemisch en/of mechanisch reinigen. In de praktijk is het gebruikelijk om, ondanks het (geringe) risico van krimpspanningen, het werkstuk na afkoeling tot enkele honderden graden Celsius in water af te schrikken; de vloeimiddelresten, enz. springen er dan af. Onvoldoende verwijdering kan niet alleen ernstige schade door corrosie veroorzaken, maar ook gevaar van giftige stoffen (o.a. fluoriden) bij verdere bewerking opleveren. De controle beperkt zich over het algemeen tot een visu-

ele beoordeling. Wanneer bij een overlapverbinding bijvoorbeeld het soldeermetaal aan één zijde (zoals normaal gebruikelijk is) toegevoegd is en het aan de andere zijde eveneens zichtbaar is als een ononderbroken gladde poriënvrije rand, dan kan met vrij grote zekerheid worden aangenomen dat de soldeerverbinding goed is. Soldeernaadcontrole kan worden uitgevoerd met penetrant vloeistoffen. De kwaliteit van de verbinding kan radiografisch of ultrasoon worden onderzocht, terwijl de lekdichtheid met de afpersproef of met halogeen- of heliumlektesten kan worden gecontroleerd (zie hoofdstuk 6: Kwaliteitsbeheersing).

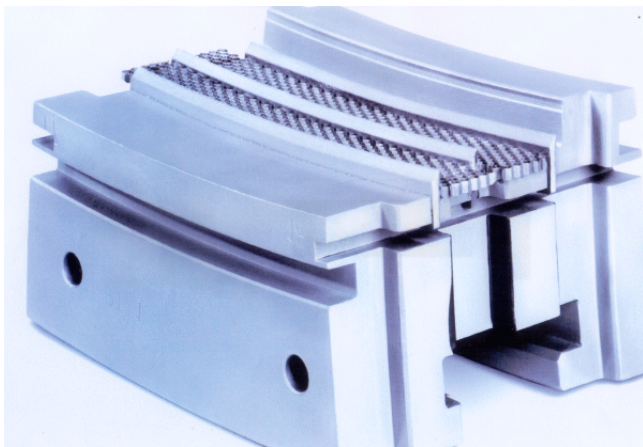
Hoofdstuk 9

Nikkel en nikkellegeringen *)

9.1 Inleiding

Nikkel en nikkellegeringen worden voornamelijk toegepast in verband met hun uitstekende corrosie- en hittevast eigenschappen (figuur 9.1). Deze groep materialen is onder te verdelen in:

- ▶ zuiver nikkel;
- ▶ nikkel-koperlegeringen;
- ▶ nikkel-chroom-ijzerlegeringen;
- ▶ nikkel-chroom-molybdeenlegeringen;
- ▶ veredelbare nikkellegeringen.



figuur 9.1 Honingraatafdichting t.b.v. een straalmotor bestaande uit gesoldeerde nikkellegeringen (foto Bodycote Diemen)

Hardsolderen verdient in vele gevallen de voorkeur boven lassen. Zachtsolderen wordt weinig toegepast als gevolg van de eisen, die men aan het product stelt. Hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen levert vaak minder problemen op dan het hardsolderen van staal. Hoogtemperatuursolderen van nikkel en nikkellegeringen biedt eveneens goede mogelijkheden (zie VM 82 "Hoogtemperatuursolderen").

Bij iedere temperatuur vormt nikkel - in een oxiderende atmosfeer - alleen NiO, hetgeen gemakkelijk chemisch te verwijderen is. Gelegeerd met Fe en Mn vormt nikkel een complex oxide, gebaseerd op NiO. Gelegeerd met Cr, Ti of Al zijn de volgende oxiden mogelijk:

- ▶ Me_2O_3 (Me = Cr, Fe, Mn, Ni of Al);
- ▶ $MeTiO_3$ (Me = Fe of Ni);
- ▶ $NiO.Me_2O_3$ (Me = Cr, Fe, Mn of Al).

Bij temperaturen tot 500 °C wordt alleen NiO gevormd en daarboven zijn alle drie oxidevormen mogelijk.

9.2 Materiaalcombinaties

Materialen, behorend tot hetzelfde type legering, kunnen zonder meer door solderen worden verbonden.

Bij combinaties van verschillende materialen dient rekening te worden gehouden met het verschil in uitzettings-

coëfficiënt (zie hoofdstuk 5: Constructieve aspecten). Nikkel en nikkellegeringen kunnen door hard- en hoogtemperatuursolderen worden verbonden met:

- ▶ koper en koperlegeringen;
- ▶ ongelegeerd en laaggelegeerd staal;
- ▶ gietijzer;
- ▶ roestvast staal.

Combinaties met aluminium, magnesium en hun legeringen zijn niet of zeer moeilijk uit te voeren (tabel 9.1).

9.3 Eigenschappen

9.3.1 Fysische eigenschappen

ZACHTSOLDEERVERBINDINGEN

In situaties waarin nikkel of nikkellegeringen zijn gekozen in verband met de corrosie- of hittevastheid van de constructie, komt zachtsolderen niet in aanmerking als verbindingmethode. Alleen voor verbindingen waaraan deze eisen niet worden gesteld, gebruikt men een zachtsoldeer met een hoog tingehalte. Deze verbindingen bezitten een schuifsterkte van 40...50 N/mm² en zijn bruikbaar tot 100 °C.

Indien de constructies langdurig worden belast, moet in verband met kruip, met een belangrijk lagere sterkte rekening worden gehouden. De toelaatbare langeduur schuifbelasting bedraagt slechts ongeveer 1 N/mm².

Het zachtsoldeer 95% tin 5% antimoon komt wat de kleur betreft het meest overeen met nikkel (zie hoofdstuk 3).

tabel 9.1 Globale richtlijnen voor de soldeerkeuze

Nikkel en nikkellegeringen aan:	Hardsoldeer uit groep ¹⁾					
	H3 Cu	H4 CuZn	H5 Ag	H6 Ni+Co	H7 Pd	H8 Au
Al en Al-legeringen	o	o	o	o	o	o
Mg en Mg-legeringen	o	o	o	o	o	o
Cu en Cu-legeringen	o	+ / o	+	o	+	+
on- en laaggelegeerd staal	+	+	+	+	+	+
gietijzer	+	+	+	+ / o	+ / o	+ / o
roestvast staal	+	o	+	+	+	+
Ni en Ni-legeringen	+	+	+	+	+	+

1) Groepen uit hoofdstuk 3
 + = wel toe te passen
 o = niet toe te passen
 + / o = niet aan te bevelen

HARDSOLDEERVERBINDINGEN

Het hard- en hoogtemperatuursolderen aan veredelbare nikkellegeringen moet - in tegenstelling tot het zachtsolderen - altijd plaatsvinden vóór de veredeling en bij een temperatuur, die hoger ligt dan 875 °C; dit in verband met het mogelijk optreden van spanningscorrosie. De schuifsterkte, afhankelijk van het type soldeer, is weergegeven in tabel 9.2.

De maximaal toelaatbare gebruikstemperatuur in verband met sterkte en oxidatiebestandheid is veelal een criterium voor de keuze van het hardsoldeer (zie tabel 9.2).

N.B. Voor bijzondere soldeersoorten zijn in de aangegeven groepen zowel hogere als lagere gebruikstemperaturen toelaatbaar. De lage temperaturen gelden voor langeduur-belastingen en de hoge temperaturen voor lage belastingen.

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

tabel 9.2 Gegevens voor het hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen

soldeersoort (groep) ¹⁾	schuifsterkte [N/mm ²]	max. toelaatbare gebruikstemp. [°C]	spleetbreedte [mm]
koperhardsolderen (H3)	200...250	500	0,00...0,05
zilverhardsolderen (H5)	200...350	300	0,05...0,20 ²⁾
nikkelhardsolderen (H6)	200...300	1000...1200	0,05...0,10 ²⁾
goudhardsolderen (H8)	200...350	450...850	0,05...0,10 ²⁾

1) Groepen uit hoofdstuk 3
2) Bij hoogtemperatuursolderen de spleetbreedte $\leq 0,05$ mm kiezen

De corrosievastheid van de soldeerverbinding wordt beïnvloed door het medium en moet per geval worden bekeken. De beste resultaten worden verkregen met de nikkelhardsolderen (zie hoofdstuk 3, tabel 3.10). Het gebruik van een vloeimiddel kan de corrosievastheid van de verbinding nadelig beïnvloeden. Daarom verdient solderen in een reducerende atmosfeer en in vacuüm de voorkeur.

9.3.2 Metallurgische eigenschappen

Bij het zachtsolderen treedt geen verandering op in de metallurgische eigenschappen van het werkstuk. Plaatselijke oververhitting tijdens het solderen kan echter de kwaliteit nadelig beïnvloeden.

De nikkellegeringen zijn bij verhoogde temperatuur gevoelig voor bros worden bij de aanwezigheid van lood en andere laagsmeltende metalen.

Bij het hard- en hoogtemperatuursolderen kunnen de volgende verschijnselen optreden:

- ▶ zwavelbrosheid;
- ▶ spanningscorrosie (interkristallijne penetratie);
- ▶ interkristallijne corrosie.

ZWAVELBROSHEID

Nikkel en nikkellegeringen worden bros, indien zij verhit worden in aanwezigheid van zwavel of zwavelhoudende stoffen, zoals snijolie, aftekenkrijt en vingerafdrukken. Het eutectisch nikkelsulfide vormt zich bij voorkeur aan de korrelgrenzen en heeft een laag smeltpunt.

Onder invloed van krimpverschijnselen en een vloeibare fase aan de kristalgrenzen ontstaat gemakkelijk warmbrosheid bij verhoogde temperatuur (warmevoeligheid). Materialen met deze eigenschap noemt men wel "hot short" of warmbros en de scheuren worden aangeduid als "liquation cracks" of warmscheuren. Tijdens het gehele soldeerproces is het dan ook strikt noodzakelijk dat het nikkel niet in aanraking komt met zwavel.

Nikkel-koperlegeringen zijn hiervoor zeer gevoelig, terwijl de chroombevattende legeringen er minder gevoelig voor zijn. Materialen waarin nikkelsulfide is gevormd, zijn voor altijd onbruikbaar geworden.

SPANNINGSCORROSIE (INTERKRISTALLIJNE PENETRATIE)

Nikkel en nikkellegeringen zijn zeer gevoelig voor een soort spanningscorrosie, die veroorzaakt wordt door penetratie van gesmolten soldeermateriaal in onder trekspanning staande delen. Deze spanningen kunnen zijn veroorzaakt door koude vervorming.

Om deze schadelijke penetratie te voorkomen moet men:

- ▶ de onderdelen spanningsarm gloeien voor het solderen;
- ▶ het soldeerproces zo laten verlopen, dat er geen spanningen in het werkstuk worden geïntroduceerd (d.w.z. gelijkmatig opwarmen en oppassen met het gebruik van stelstukken);
- ▶ de soldeertemperatuur bij veredeldbare nikkellegeringen hoog kiezen (boven 875 °C).

INTERKRISTALLIJNE CORROSIE

Bij het solderen van zuiver nikkel komt het voor, dat vloeimiddel en soldeermateriaal langs de korrelgrenzen penetreren en zo het materiaal bros maken.

9.4 Voorbewerking

Bij de voorbereiding zijn de volgende aspecten van belang:

- ▶ De oppervlakken van de soldeerspleet dienen een ruwheid te bezitten, die ligt tussen 1 en 6 μm ($R_a = 1 \dots 6$) en de soldeerspleet dient parallel te zijn met een maximaal toelaatbare afwijking van 0,03 mm.
- ▶ Indien hoge eisen worden gesteld aan de maatvoering of wanneer er kans is op spanningscorrosie, moeten de inwendige spanningen door spanningsarm gloeien worden weggenomen.
- ▶ De veredeldbare nikkellegeringen zijn gelegeerd met titaan en aluminium. Hierdoor is een zeer stabiel oxide aan het oppervlak aanwezig. Bevat het oppervlak een te hoog aandeel aluminium- of titaanoxiden ($> 1\%$), waardoor slechte bevochtiging kan optreden, dan moeten deze oxiden vooraf worden bedekt of verwijderd. Bij voorkeur worden onderdelen, gemaakt van deze nikkellegeringen, vóór het solderen vernikkeld of verkoperd met een laagdikte van 5...10 μm . Ook kan men het oppervlak intensief behandelen in een gasvormige fluorwaterstof atmosfeer, zodat een titaan- en aluminium-arm oppervlak ontstaat. Dit kan ook via vooroxidatie en langs natchemische weg (bijvoorbeeld m.b.v. het POCT-proces (POCT = Pre Oxidation Chemical Treatment)).

9.4.1 Naadvormen

In de praktijk kunnen alle naadvormen uit hoofdstuk 5 worden toegepast. De aan te houden spleetbreedte wordt bepaald door het te gebruiken soldeer en de gekozen soldeermethode (met of zonder vloeimiddel). De spleetbreedte is o.a. van invloed op de sterkte van de verbinding. Voor een goede uitvoering van de hardsoldeerprocedure is het nodig, dat de juiste spleetbreedten worden aangehouden (tabel 9.2).

Hierbij moet men er rekening mee houden, dat de spleetbreedte op soldeertemperatuur wordt bedoeld. De spleetbreedte op soldeertemperatuur kan namelijk afwijken van de op kamertemperatuur ingestelde, vanwege uitzettingsverschillen die optreden ten gevolge van het verschil tussen kamer- en soldeertemperatuur. Dit kan met name het geval zijn bij het solderen van combinaties van materialen.

9.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer

9.5.1 Soldeer

Voor het zachtsolderen kunnen in principe alle zachtsoldeersoorten worden gebruikt.

Voor het hardsolderen zijn alle typen bruikbaar (zie ook tabel 9.1), uitgezonderd aluminiumhardsoldeer en koperfosforhardsoldeer (resp. groep H1 en H2, zie hoofdstuk 3).

De fosforhoudende koperhardsolderen (groep H2, zie hoofdstuk 3) kunnen in verband met de vorming van brosse fosfiden niet worden gebruikt.

Bijna alle nikkellegeringen kunnen met de koperhardsolderen (groep H3, zie hoofdstuk 3) worden gesoldeerd. Dit soldeer legeert echter gemakkelijk met het werkstukmateriaal, waardoor een smeltpuntverhoging van het soldeer ontstaat en dit voortijdig stolt. Een en ander kan worden tegengegaan door het soldeer vlak bij de spleet aan te brengen en het spleetoppervlak te voorzien van groefjes

in de vloeirichting. Bij dunne voorwerpen en te veel soldeer treedt snel buitensporige erosie op (dit is oplossen van het basismateriaal door het vloeibare soldeer).

De koper-zinkhardsolderen (groep H4, zie hoofdstuk 3) worden o.a. toegepast voor het verbinden van nikkel of nikkellegeringen aan zichzelf en aan ongelegeerd of laaggelegeerd staal, gietijzer, koper en koperlegeringen met een solidustemperatuur > 950 °C.

Zilverhardsolderen (groep H5, zie hoofdstuk 3, tabel 3.6) zijn zeer veel gebruikte soldeermaterialen. Bij een goed ontwerp en juiste uitvoering zijn zilversoldeerverbindingen even sterk als het werkstukmateriaal. Gewoonlijk worden zilversolderen gebruikt met 50% Ag en gelegeerd met Cu, Zn en Cd bij een soldeertemperatuur van ongeveer 700 °C; dit hoge zilveragehalte is vereist in verband met een goede corrosiebestandheid.

Indien spanningscorrosie wordt verwacht, dient een soldeer te worden gebruikt zoals: 56% Ag, 22% Cu, 17% Zn, 5% Sn (AG 102) of 60% Ag, 30% Cu, 10% Sn (AG 402).

De nikkelhardsolderen (groep H6, zie hoofdstuk 3, tabel 3.10) legeren evenals koper gemakkelijk met het werkstukmateriaal. Dit veroorzaakt een verhoging van het her-smeltpunt (van belang bij getrapte solderen), een vergroting van de sterkte en een verbetering van de oxidatiebestandheid. Om voorgaande redenen worden nikkelhardsolderen het meest toegepast. Hierbij dient wel te worden gewaakt tegen het optreden van buitensporige erosie.

Palladiumhard- en goudhardsolderen (groepen H7 en H8, zie hoofdstuk 3) worden voor speciale toepassingen gebruikt, waarbij de erosie zo klein mogelijk moet zijn. Deze soldeersoorten zijn gemakkelijk te verwerken en leveren uitstekende verbindingen.

Uiteraard spelen bij de keuze van het soldeer verschillende factoren een rol n.l.: de bedrijfsomstandigheden, de soldeerprocedure, de toe te passen warmtebehandelingen en de kostprijs.

9.5.2 *Vloeimiddel*

De keuze van het vloeimiddel voor het zachtsolderen wordt bepaald door de stabiliteit van de oxiden (zie hoofdstuk 4). Afhankelijk van de mate van stabiliteit van de oxiden kan worden gekozen voor een agressief type als F-SW 11 (type 3.2.2) of mogelijk voor een milder type.

Voor het hardsolderen wordt de keuze van het vloeimiddel bepaald door de soldeertemperatuur (T). Zo worden de typen F-SH 1 (FH10 of FH12) en F-SH 4 (FH40) voor $T > 600$ °C, het type F-SH 2 (FH20 of FH21) voor $T > 800$ °C en het type F-SH 3 (FH30) voor $T > 1000$ °C gebruikt (zie tabel 4.4 in hoofdstuk 4).

9.5.3 *Beheerste atmosfeer*

Daar nikkel en nikkellegeringen worden toegepast voor corrosie- en hittevast onderdelen, worden er aan de verbindingen hoge eisen gesteld. Hierbij is een gelijkmatige opwarming vóór het solderen en de afwezigheid van vloeimiddelresten na het solderen van het grootste belang. Om deze redenen worden dan ook de meeste onderdelen in een vacuüm gesoldeerd van $133,3 \times 10^{-4}$ N/m² ($1,33 \times 10^{-4}$ mbar) of in een waterstofatmosfeer met een dauwpunt van -80 °C.

Alle nikkellegeringen, ook de Ti- en Al-houdende, maar wel afhankelijk van de hoogte van het Ti- en Al-gehalte, kunnen in een vacuüm beneden $133,3 \times 10^{-4}$ N/m² ($1,33 \times 10^{-4}$ mbar) en een temperatuur boven 1000 °C worden gesoldeerd.

9.6 *Soldeermethoden*

Van de gangbare soldeermethoden worden het solderen met de vlam, het solderen in ovens, het inductiefsolderen en het weerstandssolderen het meeste toegepast. Het dompelsolderen en het solderen met de bout vinden in beperkte mate toepassing.

De vereiste kwaliteit, de seriegrootte en de afmetingen van de werkstukken zijn van doorslaggevende betekenis bij de keuze van de methode.

De hittevast nikkellegeringen worden meestal met een nikkelhardsoldeer in vacuüm of in een waterstofatmosfeer gesoldeerd.

9.6.1 *Soldeerprocedure*

De verwarmingsmethode moet in verband met de temperatuurgevoeligheid zo worden gekozen, dat het werkstuk snel en gelijkmatig op de soldeertemperatuur wordt gebracht.

De hele soldeercyclus moet zo worden uitgevoerd, dat deze niet in strijd is met de eisen die aan een goede warmtebehandeling van nikkellegeringen worden gesteld.

9.7 *Nabehandeling en controle*

Goed uitgevoerde soldeerverbindingen vereisen geen mechanische nabewerking.

Vloeimiddelresten moet men echter wel grondig verwijderen in verband met het corrosiegevaar.

Voor belangrijk werk is een procedurekwalificatie noodzakelijk, hetgeen met zich meebrengt dat door destructief onderzoek moet worden vastgesteld of de soldeerspleet voldoende is gevuld.

In veel gevallen zal worden volstaan met een visuele inspectie, nadat men overtuigd is, dat volgens specificaties en tekeningen is gewerkt. Keuring van de gesoldeerde producten vindt dan plaats door lekdetectie en door niet-destructief onderzoek (zie hoofdstuk 6).

Hoofdstuk 10

Aluminium en aluminiumlegeringen^{*)}

10.1 Inleiding

Aluminium en zijn legeringen bezitten een oxidehuid, waarvan het smeltpunt (ca. 2200 °C) ver boven dat van het zuivere materiaal (660 °C) ligt. De dikte van de oxidehuid is afhankelijk van het type legering en kan soms door anodiseren kunstmatig zijn versterkt.

Indien een dikke oxidehuid aanwezig is, moet deze worden afgebeitst in een caustic-sodabad of plaatselijk worden verwijderd door verspanen of slijpen.

Naast de hinder, die kan worden ondervonden van de oxidehuid, is de samenstelling van de legering van invloed op de resultaten, die bij het solderen kunnen worden behaald, als gevolg van de steeds kleinere temperatuurverschillen tussen het smelttraject van de werkstuklegering en het smelttraject of smeltpunt van het soldeer. Het laatstgenoemde speelt vooral bij hardsolderen een grote rol. Om dit te illustreren zijn de toestandsdiagrammen voor de voornaamste aluminiumlegeringen weergegeven in figuur 10.1.

Bij het zachtsolderen kan overschrijding van de rekristallisatietemperatuur van 250-300 °C of de ontlaattempe-

raat van 325-350 °C optreden, met teruggang van mechanische eigenschappen tot gevolg; bij het hardsolderen is dit zeker het geval.

Bij het hardsolderen dient vooral te worden gewaakt tegen oververhitting, d.w.z. dat niet verwarmd mag worden tot een temperatuur die ligt in het gebied waarin de werkstuklegering gedeeltelijk vloeibaar is; oververhit materiaal is materiaal waarvan de kristalgrenzen zijn gesmolten en is te herkennen aan bobbeltjes op het oppervlak.

Met betrekking tot de soldeerbaarheid van aluminium en aluminiumlegeringen kan het volgende worden gesteld:

De best te zachtsolderen aluminiumtypen zijn:

- ▶ Al (AA1XXX);
- ▶ AlCu (AA2XXX);
- ▶ AlMn (AA3XXX);
- ▶ AlSi (AA4XXX);
- ▶ AlZn (AA7XXX).

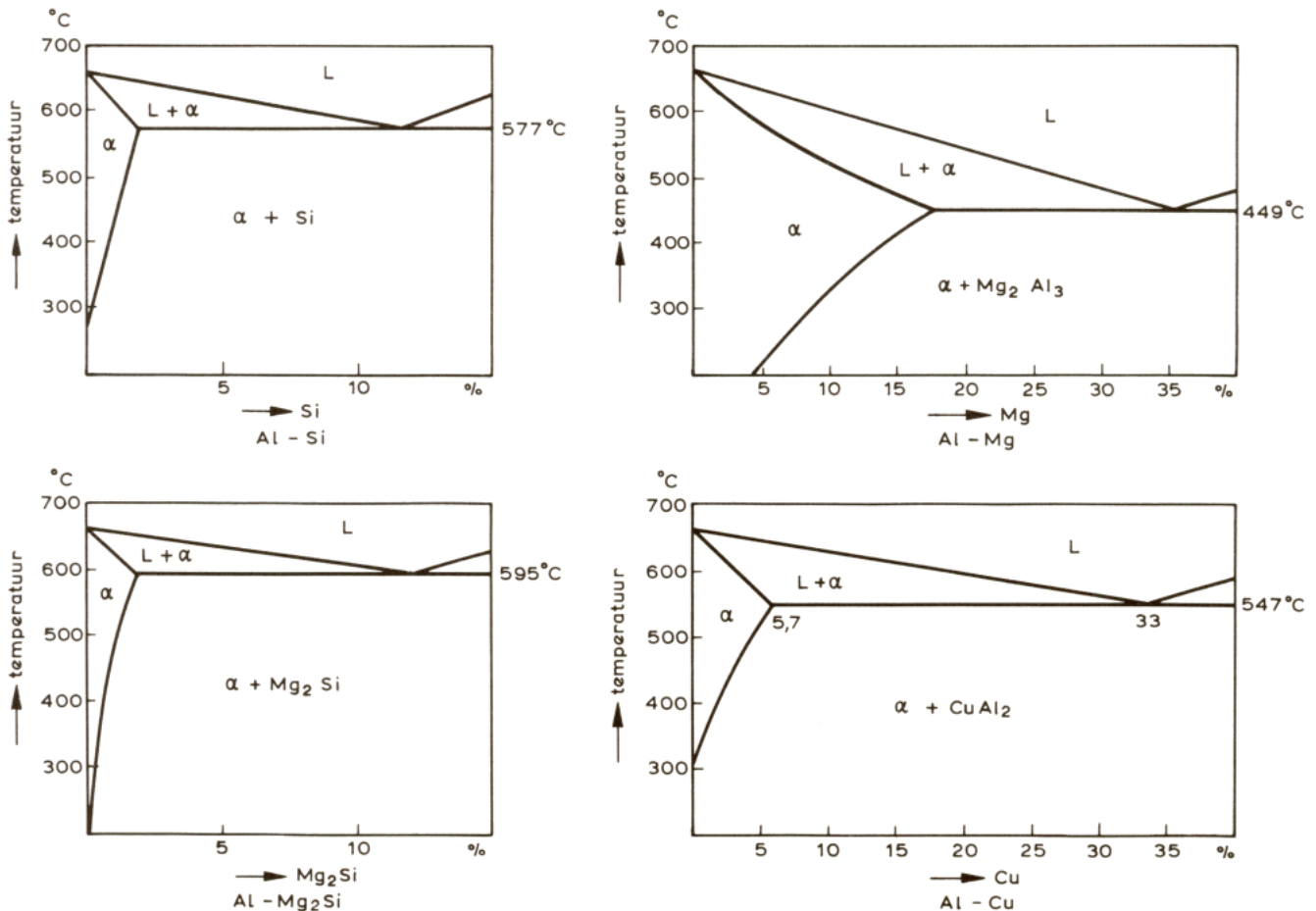
AlMgSi- en AlMg-legeringen zijn matig tot slecht zacht-soldeerbaar vanwege het Mg-aandeel.

De best te hardsolderen aluminiumtypen zijn de niet-veredelbare:

- ▶ Al 99,0-99,5 (AA1XXX);
- ▶ AlMn (AA3XXX);
- ▶ AlMg1 (AA5XXX)

en de veredelbare:

- ▶ AlMgSi (AA6XXX met max. 2% Mg en Si).



figuur 10.1 Toestandsdiagrammen van de voornaamste aluminiumlegeringen

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

De legeringen met een Mg-gehalte hoger dan ongeveer 2% geven aanleiding tot moeilijkheden in verband met bevochtiging en excessieve penetratie; tevens daalt de smelt(solidus)temperatuur aanzienlijk. Wegens het geringe smeltpuntverschil van een aantal typen veredeldbare legeringen en de gebruikte typen hardsoldeer komen slechts enkele legeringen in aanmerking, waarvan de voornaamste AlMgSi is, bijvoorbeeld AA 6061 of 6063. Hierbij moet worden opgemerkt, dat de materialen uit de AA6XXX serie na het hardsolderen veroudering vertonen, waardoor de mechanische eigenschappen veranderen in de tijd (de treksterke neemt toe, de rek daalt).

Van de gietlegeringen komen de AlSi typen in aanmerking met Si-gehalten van maximaal 7%. Niet aanbevolen wordt spuitgietlegeringen te hardsolderen, daar blaasvorming kan optreden door de aanwezigheid van gas in metaal.

10.2 *Materiaalcombinaties*

Combinaties met andere metalen zijn moeilijk uitvoerbaar en vereisen bijzondere technieken.

10.3 *Eigenschappen*

10.3.1 *Zachtsolderen*

Door de aanwezigheid van de oxidehuid, die niet gemakkelijk is op te lossen met een vloeimiddel, is het zachtsolderen van aluminium alleen verantwoord en leidt tot positieve resultaten als men zich terdege heeft georiënteerd op dit gebied.

Voor af en toe voorkomende soldeerkarweien kan men met een vloeimiddel wel incidenteel een redelijke verbinding krijgen. Een reproduceerbaar succes is echter nauwelijks te verwachten.

Wanneer geen diepe naden moeten worden zachtgesoldeerd, bijv. Al-draad op plaat, dan kan het best het z.g. wrijfsolderen worden toegepast, waarbij gebruik wordt gemaakt van een zink-basissoldeer en een soldeerbout met flink vermogen of een brander.

Ook het reactiesolderen, waarbij uit een vloeimiddel een gemakkelijk te solderen metaal op het aluminiumoppervlak wordt neergeslagen, kan worden gebruikt.

Met behulp van een soldeerbout met ultrasone tipbeweging kunnen met zink-, cadmium- en hoog tinbasissoldeer goede hechtlagen worden aangebracht, waarna gemakkelijk kan worden afgesoldeerd met een weinig agressief vloeimiddel.

Het gaat hier steeds echter om solderingen op het oppervlak met zeer ondiepe spleten.

Mocht de noodzaak wel aanwezig zijn om diepe naden te solderen, dan geeft het vooraf vertinnen, bijvoorbeeld in een ultrasoon tinbad, de beste voorwaarde tot succes.

Andere meer ingewikkelde technieken zijn die, waarbij langs galvanische weg een gemakkelijk te zachtsolderen hechtlaag, bijvoorbeeld nikkel, wordt opgebracht.

10.3.2 *Hardsolderen*

Een veel betere reproduceerbare kwaliteit verkrijgt men bij het hardsolderen (figuur 10.2).

De meest eenvoudige wijze is het solderen met de vlam, maar deze methode geeft de meeste kans op teleurstellingen. De smeltpunten van de aluminiumlegeringen en de hardsolderen liggen in vele gevallen dermate dicht bij elkaar, dat het plaatselijk smelten van het werkstuk het gevolg is.



figuur 10.2 Verhittingselement voor een spoelmachine en opgebouwd uit gesoldeerd aluminium (foto Brazetec)

10.3.3 *Plateren, cladden*

Zowel hard- als zachtsolderen kan worden vereenvoudigd door werkstukken samen te stellen uit met soldeer geplaatste of gecladde aluminium plaat.

Plateringen of claddingen dienend als soldeer, kunnen met AlSi (bijv. met de hardsolderen AL102; AA4343, AL103; AA4045 en AL 104; AA4047), Zn, Pb en Cd worden uitgevoerd en worden voor o.a. warmtewisselaars toegepast.

Het plateren of cladden met AlSi wordt meestal uitgevoerd door middel van warmwalsen.

10.4 *Vorbewerking*

Voor het samenstellen moeten de delen grondig worden ontvet met een oplosmiddel of in een caustic-sodabad, gevolgd door neutralisatie met verdund salpeterzuur. Capillair zachtsolderen is alleen mogelijk indien de aluminium naadoppervlakken voor het samenstellen van een hechtlaag zijn voorzien.

10.5 *Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer*

10.5.1 *Zachtsolderen*

Het zachtsolderen vindt plaats bij soldeertemperaturen die liggen tussen 225 en 380 °C. Het meest gangbare type soldeer bevat 60% tin en 40% zink, doch ook andere zachtsolderen, die (het giftige en - op enkele uitzonderingen na - verboden) cadmium en lood bevatten en voorts aluminium, worden eveneens gebruikt; dit zijn naast de solderen Sn85-92Zn8-15 en Sn50-70Zn30-50 ook de solderen Zn85-98Al2-15 en Zn55-65Cd35Al0-5, Sn40-60Pb30-55Zn + Cd2-20 en Cd75-83Zn17-25.

Omdat in het soldeer andere metalen zitten dan aluminium is het strikt nodig om na te gaan of de gebruiksomstandigheden van het gesoldeerde product geen bimetallicche corrosie zullen veroorzaken. Cadmium-zinksolderen hebben de hoogste corrosiebestandheid en deze worden wel toegepast voor het solderen van dakbedekkingen. De tinhoudende solderen zijn niet geschikt voor corrosieve omstandigheden.

De treksterkte van zachtsoldeer ligt tussen 50 en 100 N/mm², doch de sterkte van de verbinding hangt af van de constructie en de kwaliteit van de uitvoering van het werk. In ieder geval dienen zachtgesoldeerde verbindingen alleen te worden toegepast in constructies die slechts aan zeer lage spanningen zijn onderworpen.

De zachtsoldeervloeimiddelen voor gebruik tot 285 °C zijn op een organische amine-basis, terwijl die voor gebruik tot 400 °C op een anorganische chloride- en/of fluoride-basis zijn; op chloride-basis zijn corrosief, op fluoride-basis niet.

10.5.2 *Hardsolderen*

De toevoegmaterialen hebben smeltpunten die liggen tussen 450 en 600 °C.

De eutectische legering AlSi-13 (AL104; AA4047; smeltpunt: 577 °C) wordt gewoonlijk gebruikt voor vlam- en inductiesolderen en is ondanks zijn dunvloeibaarheid ook geschikt voor ovensolderen. Andere geschikte legeringen hebben een siliciumgehalte van 5...10% en zijn bijv. AL102; AA4343 en AL103; AA4045.

Bij het hoogtemperatuursolderen in vacuüm van aluminium worden solderen met 1-2% Mg toegepast zoals AL103; AA4004 en AL302 (zie hoofdstuk 3 en VM82, hoofdstuk 11) of AA 4047/4045 mod. met 0,2% Mg.

Een z.g. actief soldeer tinzilvermetaan wordt toegepast in een beschermde atmosfeer met vloeimiddel bij een soldeertemperatuur van ca. 500 °C om aluminium aan zichzelf of aan koper te solderen, terwijl een aluminiumkoper-nikkelsiliciumsoldeer in vacuüm of in stikstof bij een soldeertemperatuur van maximaal 550 °C wordt gebruikt voor het solderen van aluminium.

Speciale z.g. Long Life legeringen (bijv. Corus 3532 en 3542) zijn als soldeer voor de automobiellindustrie ontwikkeld om interkristallijne corrosie in aluminiummangaanlegeringen zoals AA3003 en AA3005 te voorkomen. Zij vormen tussen het soldeer en het bulkmateriaal een laag met relatief onedele uitscheidingen die zich bij corrosieve omstandigheden opofferen, waardoor lekkage t.g.v. putcorrosie wordt voorkomen of vertraagd. Deze solderen hebben voorts een laag ijzergehalte ter voorkoming van de vorming van brose, naaldvormige FeAl-kristallen bij het stollen. Zij geven na walsen en rekristalliserend gloeien z.g. pancake kristallen, waardoor de eventueel door corrosie gevormde lekweg langs kristalgrenzen verlgang wordt.

Voor het solderen met de vlam worden de naadkanten gebroken (= het verwijderen van de scherpe bewerkingskanten) en ingesmeerd met een vloeimiddelpasta, gemaakt van 3 delen poeder en 1 deel water. De delen kunnen ook in een oplossing worden gedoopt bestaande uit 35 delen vloeimiddelpoeder en 50 delen water. Hierbij kan worden gekozen voor een hygroscopisch of niet-hygroscopisch vloeimiddel. In het laatste geval kan dan ook nog de keuze worden gemaakt voor een al dan niet 2% cesiumhoudend vloeimiddel. Met een cesiumhoudend vloeimiddel is het mogelijk om aluminiumlegeringen met een magnesium-

gehalte $\leq 0,5$ % te bevochtigen en te solderen. De hardsoldeervloeimiddelen bestaan uit complexe fluor-aluminaatzouten die niet corrosief zijn.

De vlaminstelling moet reducerend of neutraal zijn en in geen geval oxiderend. Bij het vlam solderen wordt hoofdzakelijk het gebied waar de soldeerverbinding komt door de vlam verhit en zo min mogelijk het soldeer.

10.6 *Soldeermethoden*

10.6.1 *Zachtsolderen*

SMEER- OF WRIJFSOLDEREN

Wanneer geen vloeimiddel wordt gebruikt, moeten de te verbinden oppervlakken tijdens het verhitten worden geborsteld en geschraapt in een poel van gesmolten soldeer, totdat bevochtiging plaatsvindt, waarna de delen bijeen worden gebracht.

REACTIESOLDEREN

Reactiesolderen is een mogelijkheid, waarbij het werkstukmateriaal wordt bevochtigd met behulp van een vloeimiddel, bestaande uit 88,5% salmiak, 5% zinkwit en 6,5% water. Dit mengsel levert - wanneer het is aangebracht en verhit - een laagje metallisch zink dat de oxidehuid van aluminium doorbreekt en goed hecht. Met het verhitten moet worden gestopt, zodra de reactie staakt (de rookontwikkeling ophoudt). Het soldeer moet dan worden toegevoegd en de verbinding is gemaakt.

ULTRASOON SOLDEREN

Zachtsolderen van aluminium is minder eenvoudig dan hardsolderen. Dit komt omdat er geen vloeimiddelen zijn, die in staat zijn bij de zachtsoldeertemperatuur de oxidehuid te verwijderen.

Naast het gebruik van een vloeimiddel moet bij het zachtsolderen met mechanische hulpmiddelen worden gewerkt om de oxidehuid te doorbreken en een contact tussen soldeer en aluminium te bewerkstelligen (hieronder valt ook de toepassing van het ultrasoon solderen).

10.6.2 *Hardsolderen*

Het solderen met de vlam vereist een grote speciale vak-kennis. Uit het hiervoor behandelde blijkt, dat de beste resultaten worden verkregen bij goed gecontroleerde temperatuur.

De voornaamste processen zijn:

- ▶ zoutbadsolderen;
- ▶ ovensolderen;
- ▶ inductiesolderen.

ZOUTBADSOLDEREN

Delen kunnen worden gesoldeerd door onderdompeling in een zoutbad, waarbij de duur van de behandeling varieert van 0,5...30 minuten. De te solderen delen moeten bij deze methode worden geprepareerd met het gewenste soldeer en ondergedompeld in een bad, dat het soldeer doet smelten en tevens dienst doet als vloeimiddel. De methode vergt speciale zorg ter voorkoming van explosies. Om die reden verwarmt men de te solderen delen in een luchtoven tot ca. 465 °C voor, alvorens ze in het zoutbad te dompelen.

Hoewel de investering hoog is voor dit proces, zijn de verkregen resultaten uitstekend.

Het gebruikte vloeimiddel heeft twee functies, namelijk het fungeren als een vloeimiddel en als een uitstekende warmtegeleider. Dunnere delen raken niet oververhit wanneer deze in combinatie met dikke delen worden gebruikt.

Nauwe lange spleten zijn toelaatbaar. Bijvoorbeeld aluminium golfgeleiders (radartechniek) waaraan hoge eisen worden gesteld, kunnen door middel van zoutbadsolderen uitstekend worden vervaardigd. Gezien het gebruikte vloeimiddeltipe (fluoride-houdend) zijn stringente ventilatiemaatregelen nodig.

OVENSOLDEREN

Stringente ventilatiemaatregelen gelden ook voor met normale ovens te solderen aluminiumonderdelen. Hierbij wordt echter het vloeimiddel aan het werkstuk toegevoegd. Verhitting vindt plaats door middel van straling, zoals bij weerstandsovens gebruikelijk is.

In figuur 10.3 zijn een aantal voorbeelden gegeven van verbindingen die in een oven kunnen worden gesoldeerd.

Nadat de naadkanten en het soldeer zijn voorzien van een vloeimiddel, worden de gemonteerde delen gedroogd alvorens in de oven te gaan. Alleen ovens met een niet-oxiderende atmosfeer mogen worden gebruikt.

Bij deze methode worden de werkstukken 4...15 min. in een oven gehouden, waarvan de temperatuur - om oververhitting van de werkstukken te voorkomen - zeer nauwkeurig wordt gecontroleerd. Nadat de werkstukken lang genoeg op temperatuur zijn gehouden om het soldeer de gelegenheid te geven zich te verspreiden, worden de gesoldeerde werkstukken afgekoeld door onderdompeling in water van 60...80 °C of door sproeien met koud water. Deze behandeling verwijdert de meeste vloeimiddelresten.

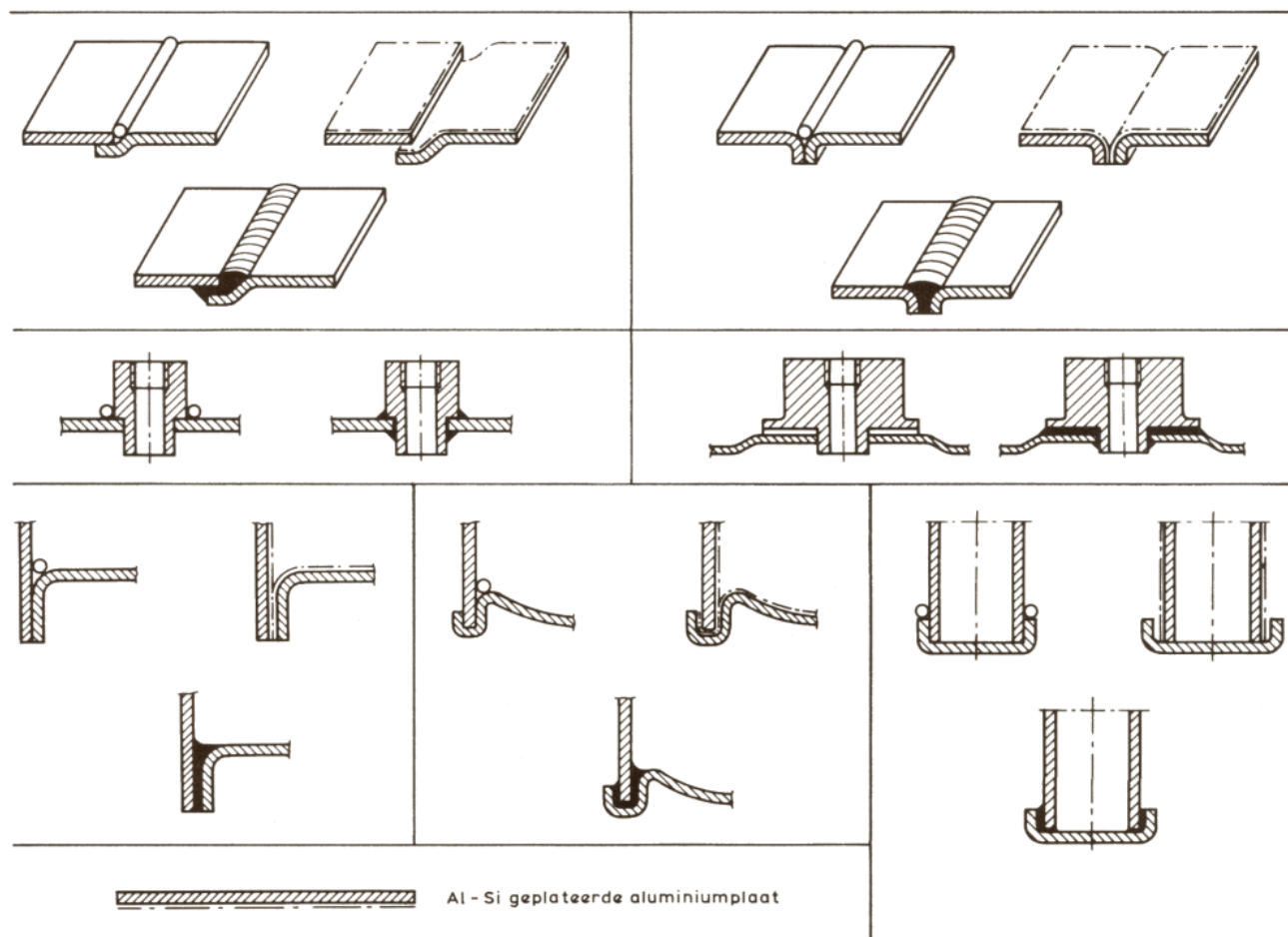
Niettegenstaande dit, wordt een nabehandeling in een bad met verdund salpeterzuur aanbevolen.

Bij het ovensolderen hebben zich verdere ontwikkelingen voorgedaan, waardoor het solderen in vacuüm mogelijk is geworden. Gewerkt wordt met speciaal geprepareerde deklaagmaterialen (die elementen als Bi en Mg bevatten), die verdampen bij de soldeertemperatuur en het werkvacuüm, zodat een metallisch oppervlak resteert. Ook wordt wel gewerkt met dekragen van nikkel of koper of combinaties daarvan. De vacuümoovens zijn echter wel speciaal voor dit doel geconstrueerde ovens (zie ook VM 82 Hoogtemperatuursolderen).

Bandovensolderen onder droge stikstof (dauwpunt < -40 °C; zuurstofgehalte < 100 ppm) met een fluoridebasis vloeimiddel (Nocolok® 2-5 g/m²) heeft in industriële toepassingen, zoals warmtewisselaars, een groot aandeel verworven wegens de toelaatbaarheid van iets grotere toleranties dan bij vacuümsolderen het geval is ($\leq 0,1$ mm t.o.v. $\leq 0,05$ mm). Bovendien zijn lekke onderdelen opnieuw soldeerbaar.

INDUCTIEFSOLDEREN

Bij het inductiefsolderen werkt men met dezelfde vloeimiddelen en soldeersoorten als bijvoorbeeld bij het solderen met de vlam. Gezien de grote warmtegeleiding van aluminium en de sterk geconcentreerde warmte-inbreng bij het inductief solderen, is dit een goede soldeermethode, waarbij snel en zonder gevaar van aansmelten van het basismetaleel kan worden gewerkt.



figuur 10.3 Enige geschematiseerde voorbeelden van soldeerverbindingen, uitgevoerd met AlSi toevoegmateriaal of door toepassing van met AlSi soldeer geplateerde plaat

10.7 *Nabehandeling en controle*

Na het solderen moeten vloeimiddelresten worden verwijderd door spoelen en borstelen met heet water of gedurende 5 min dompelen in een bad met een waterige oplossing van 10 vol.% salpeterzuur en 0,25% fluorwaterstof bij 20 °C, gevolgd door spoelen in stromend water en drogen met warme lucht.

Na afloop kunnen de gesoldeerde verbindingen met de gebruikelijke destructieve en niet-destructieve methoden zoals trek- en afschuifproef voor mee gesoldeerde dummy's (proefstukken), resp. penetrant, radiografisch of ultrasoononderzoek, worden gecontroleerd.

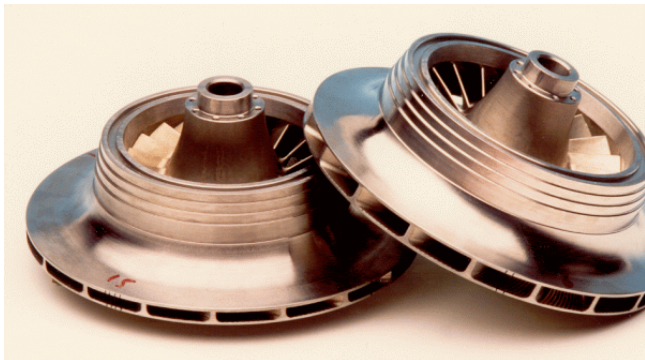
Hoofdstuk 11

Titaan en titaanlegeringen *)

11.1 Inleiding

Titanium en zijn legeringen behoren tot de groep reactieve materialen, die met stijgende temperatuur gassen, zoals zuurstof, stikstof en waterstof, in toenemende mate opnemen. Hierdoor wordt het materiaal broser. Bij gebruik boven ongeveer 500...600 °C zal opname van gassen, zoals hierboven genoemd dermate snel gaan, dat een langdurig gebruik niet aan te bevelen is. Vanwege dit reactief zijn, kunnen niet alle soldeermethoden worden toegepast. In figuur 11.1 wordt hiervan een voorbeeld gegeven.

Mede in verband met het toepassingsgebied in corrosieve milieus, is de selectie van soldeertypen aan beperkingen onderhevig.



figuur 11.1 Turbocompressorwaaiers d.m.v. vacuümsolderen vervaardigd en bestaande uit titaanlegeringen (foto Bodycote Diemen)

11.2 Materiaalcombinaties

Voor het verbinden van titaan en zijn legeringen aan andere materialen, is het aan te bevelen gebruik te maken van een oppervlaktelaag bestaande uit zilver, koper, nikkel of andere lagen, die gemakkelijk door het soldeer kunnen worden bevochtigd.

Dergelijke lagen kunnen door middel van dompelen in een gesmolten metaal, of galvanisch aangebracht worden.

In aanmerking komen:

- ▶ dompelen in gesmolten aluminium en aansluitend dompelen in vloeibaar zilver;
- ▶ verzilveren, vernikkelen, verijzieren of verkoperen;
- ▶ plateren in een zoutbad met indium, tin, lood, zink, cadmium, bismut of tantaal.

Bij het gebruik van dit soort lagen wordt de bevochtiging verbeterd, de kans op het optreden van een brose tussenfase wordt dan echter groter.

11.3 Eigenschappen

11.3.1 Zachtsolderen

Het zal duidelijk zijn, dat het zachtsolderen in combinatie met een oppervlaktelaag goed uitvoerbaar is. Echter het verschil in eigenschappen tussen de oppervlaktelaag en het titaan maakt het toepassingsgebied relatief smal.

11.3.2 Hardsolderen

Vanzelfsprekend geven hardsoldeerverbindingen hogere sterkten. Deze zijn echter nog laag vergeleken bij de sterkte van het basismateriaal. Dit is nog niet zo het geval bij ongelegeerd titaan met een minimum treksterkte van ongeveer 350 N/mm². Afschuifsterkten tot ongeveer 180 N/mm² zijn haalbaar. Het probleem bij het hardsolderen van titaan is, dat de meeste soldeerlegeringen intermetallische verbindingen vormen. Deze zijn bros van karakter, waardoor de verbindingen weinig vervormbaar zullen zijn.

11.4 Voorbewerking

Gezien het karakter van de materialen is een zorgvuldige verwijdering van de oxidehuid noodzakelijk.

Een reinigingsprocedure is:

1. Ontvetten in aceton;
2. Beitsen in een waterige oplossing van 25...45 vol.% HNO₃ (65%) en 2...5 vol.% HF (40%);
3. Spoelen in warm water;
4. Afborstelen met roestvast stalen borstel.

Zware oxidehuiden kunnen eerst door middel van stralen worden verwijderd, aansluitend moet daarna weer worden gebeitst. Het oppervlak moet daarna met schone handschoenen worden aangepakt en verder verwerkt.

11.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer

Uit het oogpunt van bevochtiging zijn legeringen op basis van aluminium, aluminiummangaan, zilver, zilveraluminium, zilverkoper met toevoegingen van tin of palladium het best geschikt voor de lagere temperaturen. Soldeertypen op basis van titaan zijn met succes toegepast. Het zijn de typen TiNi, TiCuNi en TiZrBe. Dit zijn echter geen standaardlegeringen. In tabel 11.1 zijn nog enige soldeertypen aangegeven.

De standaard zilverhardsolderen van het type AgCuZnCd kunnen eveneens worden toegepast voor het vlamsolderen (Groep H5, AG 301 t/m AG 309 en AG 351; zie hoofdstuk 3 tabel 3.6).

11.6 Soldeermethoden en nabehandeling

In principe komen de bekende soldeermethoden in aanmerking. De meest toegepaste methode maar die ook de meeste ervaring vereist, is het vlamsolderen, waarbij gebruik wordt gemaakt van agressieve vloeimiddelen met bijvoorbeeld de volgende samenstelling: 55...60% BaCl₂, 15% LiF, 15% ZnCl₂, 10...5% MgCl₂ en 5% NaCl. Het mengsel kan, mits droog opgeslagen, lang worden bewaard. Kort voor het solderen aanmaken met gedestilleerd water. In de handel zijn vloeimiddelen aangepast aan het type titaanlegering verkrijgbaar. Ook inductief solderen kan worden toegepast.

Door te solderen in vacuüm bij een druk <math>< 10^{-5}</math> mbar of een inert gas met een dauwpunt beter dan -54 °C kan het gebruik van vloeimiddel achterwege blijven (figuur 11.1).

De in de tabel 11.1 genoemde legeringen kunnen in een oven als soldeer worden gebruikt.

Alle hiervoor genoemde legeringen hebben de neiging relatief snel met het titaan te legeren, waardoor erosie van het basismateriaal kan optreden. Het vaststellen van een juiste soldeercyclus is mede hierdoor van essentieel belang. Bij het solderen in vacuüm en inert gas zal een reinigingsprocedure na het solderen niet nodig zijn.

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

tabel 11.1 Enkele zilverhardsolderen voor het solderen van titaan en titaanlegeringen (voor soldeersoorten op aluminium-, titaan-, goud-, palladium- en zirkoniumbasis zie ook VM 82 Hoogtemperatuursolderen)

soldeer- type	groep ¹⁾		chemische samenstelling in %							soldeertem- peratuur [°C]	smeltpunt of -traject [°C]	afschuifsterkte max. [N/mm ²]
	H5	H7	Ag	Li	Mn	Ni	Al	Cu	Pd			
Ag			100							1000	960	-
Ag-Li			98	2						800	-	150
Ag-Mn	AG 501		85		15					1000	960...970	-
Ag-Al			87,5				12,5			790	-	105
			95				5			870...900	-	180
			30			1	69			660	-	-
Ag-Cu-Pd		PD 106	68,5					26,5	5	> 810	805...810	-
Ag-Cu ²⁾			71,5	0,2				28,15		> 790	770	162

1) groepen uit hoofdstuk 3.
2) maximaal 0,15% verontreinigingen.

Hoofdstuk 12

Roestvast staal^{*)}

12.1 Inleiding

De roestvaste staalsoorten hebben met elkaar gemeen, dat zij hun weerstand tegen aantasting ontleen aan het gelegerd zijn met een hoog percentage chroom ($\geq 12\%$). Deze weerstand tegen aantasting geldt in het bijzonder ten opzichte van oxiderende milieus. Deze hoeveelheid chroom, die veelal gecombineerd met andere legerings-elementen zoals nikkel, molybdeen, titaan is toegevoegd, vormt op het materiaal onder inwerking van zuurstof een gesloten oxidehuid. Deze laag beschermt het onderliggende materiaal tegen verdere aantasting. De vorming hiervan vindt al plaats in normale atmosferische omstandigheden.

Door zo'n oxidehuid, waarin ook de oxiden van andere sterk oxiderende legeringsbestanddelen zoals aluminium, titaan en silicium aanwezig kunnen zijn, wordt het solderen, zowel zacht- als hardsolderen, sterk bemoeilijkt. Voor het goede verloop van een soldeerproces is het noodzakelijk dat de vorming van een oxidehuid wordt verhinderd, of dat een gevormde laag wordt doorbroken. Dit laatste vereist in vele gevallen het gebruik van agressieve vloeimiddelen, zeker wanneer aan de lucht of in een niet- of onvoldoende reducerende atmosfeer wordt gesoldeerd. Door middel van bijvoorbeeld verkoperen of vernikkelen is het mogelijk het materiaal van een beter te bevochtigen laag te voorzien.

De roestvaste staalsoorten zijn onder te verdelen in 4 groepen met ieder zeer specifieke eigenschappen. Deze groepen zijn:

- ▶ de ferritische chroomstaalsoorten (niet hardbaar);
- ▶ de martensitische (ferritisch-martensitische) chroomstaalsoorten (hardbaar);
- ▶ de austenitische chroom-nikkelstaalsoorten (niet hardbaar);
- ▶ de precipitatie-hardende roestvaste staalsoorten (hardbaar).

De *ferritische chroomstaalsoorten* hebben een minimum van 11,5% aan chroom en een laag koolstofgehalte. Deze groep, waarmee ook de hittevaste chroomstaalsoorten zijn te vergelijken, vertoont tot op hoge temperaturen geen of slechts gedeeltelijk structuuromzetting, is niet hardbaar en heeft lage uitzettingscoëfficiënten.

De *martensitische (ferritisch-martensitische) chroomstaalsoorten* hebben koolstofpercentages tot 1,15% en afhankelijk hiervan een daarmee oplopend chroomgehalte van 13...17%. Deze groep is hardbaar, waarbij de corrosie-vastheid gunstig wordt beïnvloed en heeft eveneens lage uitzettingscoëfficiënten.

Bij de *austenitische chroomnikkelstaalsoorten*; is de omzetting bij afkoelen vanuit het austenietgebied onderdrukt door het legeren met nikkel onder verhoging van het chroomgehalte (ongeveer 18% Cr; 8% Ni).

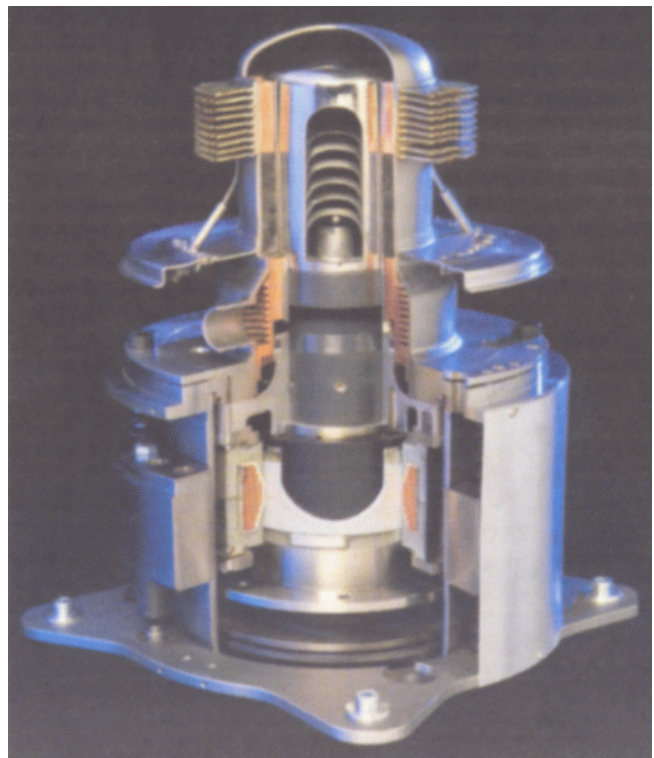
Afhankelijk van de samenstelling kan door koude deformatie omzetting naar martensiet plaatsvinden. Het uitzettingsgedrag van de austenitische structuur wijkt sterk af van de beide voorgaande groepen en van de meeste andere niet-roestvaste staalsoorten en komt ongeveer overeen met dat van koper. De austenitisch hittevaste staalsoorten hebben een vergelijkbaar gedrag.

De *precipitatie-hardende roestvaste staalsoorten* bevatten chroomhoudende staalsoorten, die na afkoelen vanaf de oplosvloei temperatuur austenitisch blijven of naar martensiet omklappen, waarna door een precipitatie-hardingsbehandeling een aanzienlijke verhoging van de sterkte-eigenschappen wordt verkregen.

De keuze van het soldeer en de methode wordt in geval van toepassing bij roestvaste staalsoorten niet alleen bepaald door de gewenste sterkte of uit prijsoverwegingen, doch ook door de milieu-omstandigheden, waaraan de constructie bij gebruik wordt blootgesteld.

Zachtsoldeerverbindingen kunnen maar beperkt worden toegepast.

Hard- en hoogtemperatuursolderen is in veel gevallen naast lassen mogelijk, ook voor gebruik op hogere temperaturen (zie figuur 12.1)



figuur 12.1 Stirlingmotor t.b.v. HRe ketel opgebouwd uit gesoldeerde roestvaststalen delen (foto Remeha)

12.2 Materiaalcombinaties

Binnen de eigen groep kunnen roestvaste staalsoorten, afgezien van een eventuele voorbehandeling, in de meeste gevallen zonder meer via solderen worden verbonden. In alle andere gevallen moet rekening worden gehouden met verschil in uitzettingscoëfficiënt (zie §12.4.1 Naadvormen). Afgezien van het corrosiegedrag van de verbinding zijn roestvaste staalsoorten door middel van hardsolderen te verbinden met:

- ▶ roestvaste staalsoorten uit andere groepen;
- ▶ constructie- en gereedschapstaalsoorten;
- ▶ nikkel en nikkellegeringen;
- ▶ koper en koperlegeringen;
- ▶ titaan en titaanlegeringen;
- ▶ wolfram en molybdeen.

Moeilijk of niet te verbinden materialen aan roestvaste staalsoorten zijn: aluminium, magnesium en legeringen hiervan.

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

Zachtsolderen is mogelijk met vrijwel alle soldeerbare materialen. Het vindt echter weinig toepassing, aangezien noch uit oogpunt van sterkte, noch uit dat van corrosieweerstand enige eisen aan de verbinding mogen worden gesteld.

12.3 Eigenschappen

12.3.1 Fysische en mechanische eigenschappen

ZACHTSOLDEERVERBINDINGEN

Zachtsoldeerverbindingen komen alleen dan in aanmerking, wanneer deze noch aan corrosie, noch aan verhoogde temperatuur (100 °C) worden blootgesteld. Toepassingen kunnen zijn: het verbeteren van elektrische geleiding en/of warmteoverdracht of afdichting tegen gas of vloeistoflekages, voor zover de gebruikstemperatuur beneden 100 °C blijft en het mechanisch ontlaste of zeer gering belaste verbindingen betreft. Gerekend moet worden met schuifsterkten van maximaal 50 N/mm² en kruipsterkten van 1 N/mm².

De elektrische geleidbaarheid van tin-solderen bedraagt 10...15% van de I.A.C.S. (International Annealed Copper Standard).

Tinantimoon- en tinzilversolderen en zuiver tin komen in kleur het beste overeen met roestvast staal.

HARDSOLDEERVERBINDINGEN

Hardsolderen geeft de mogelijkheid bij roestvast staal, al of niet met andere materialen, verbindingen te vervaardigen met goede elektrische en thermische geleiding, lage dampspanningen (voor vacuümdoeleinden), met hoge mechanische sterkte en taaiheid en zelfs met bestandheid tegen hoge temperaturen. De mechanische sterkte van een soldeernaad wordt behalve door het type soldeer, ook door de materiaalcombinatie in samenhang met de spleetbreedte en de naadvorm bepaald. Richtwaarden voor de sterkte bij statische belasting zijn weergegeven in tabel 12.1.

tabel 12.1 Mechanische sterkte en gebruikstemperatuur van hardgesoldeerde verbindingen van roestvast staal

soldeersoort (groep) *)	treksterkte [N/mm ²]	schuifsterkte [N/mm ²]	max. toelaatb. gebruikstemp. [°C]
koperhardsolderen (H3)	150...300	100...200	500
zilversolderen (H5)	250...350	150...200	250
nikkelhardsolderen (H6)	100...300	50...150	1200
edelmetaalhardsolderen (H7 en H8)	250...400	150...200	1000

*) groepen uit hoofdstuk 3

De aangegeven maximum gebruikstemperatuur geeft aan tot welke temperatuur nog een keuze uit een bepaalde groep gemaakt kan worden. Per soldeer kan de gebruikstemperatuur uiteenlopen.

12.3.2 Chemische eigenschappen

De corrosieweerstand van een soldeerverbinding wordt afhankelijk van het gebruiksmilieu zowel bepaald door de te verbinden materialen als door het te gebruiken soldeer en dient per geval bekeken te worden. De bruikbaarheid van zachtsolderen in corrosieve milieus is gering.

Van de hardsoldeersoorten zijn vooral de nikkelhoudende het best bruikbaar. Chroomstaalsoorten zijn gevoelig voor aantasting van het grensvlak tussen het soldeer en basismateriaal in vochtige omstandigheden bij gebruik van nikkelvrije zilversolderen.

Vloeimiddelen zijn nadelig voor de corrosievastheid; met name chloridehoudende vloeimiddelen.

Vloeimiddelresten moeten grondig worden verwijderd.

Soldeermethoden zonder gebruik van vloeimiddelen verdienen de voorkeur.

12.3.3 Metallurgische eigenschappen

Zachtsoldeerprocessen hebben gezien de maximale smelttemperatuur van het soldeer (450 °C) geen invloed op de eigenschappen van het basismateriaal, mits er geen oververhitting plaatsvindt. Door het lage warmtegeleidingsvermogen van roestvaste staalsoorten wordt het plaatse-lijk verhitten wel vereenvoudigd, maar is het gevaar voor oververhitting groter.

Bij hardsolderen moet afhankelijk van de gebruikte staal- soort rekening worden gehouden met een aantal verschijnselen:

- ▶ *Ferritisch chroomstaal* neigt tot korrelgroei op hoge temperaturen, zodat hiervoor bij voorkeur geen hoogsmeltende solderen moeten worden gebruikt. Bij ver- hitting op hoge temperaturen dient de tijd zo kort mo- gelijk te worden gehouden.
- ▶ Bij *martensitisch chroomstaal* kan men het harden com- bineren met het solderen, indien het soldeerproces hierop wordt afgestemd. Bij solderen beneden de omzetting-temperatuur gaat bij geharde delen de hardheid teza- men met de corrosievastheid achteruit.
- ▶ De *precipitatie-hardende staalsoorten* bieden de mo- gelijkheid om het solderen te combineren met het oplos- gloeien, waarna achteraf de precipitatiebehandeling kan plaatsvinden. Deze legeringen zijn evenals de austenitische gevoelig voor spanningscorrosie en zwavelbrosheid.
- ▶ Bij *austenitisch chroom-nikkelstaal* kunnen ten gevolge van het soldeerproces verschillende corrosieverschijn- selen optreden, nl.:
 - spanningscorrosie (interkristallijne penetratie);
 - carbide-precipitatie;
 - zwavelbrosheid.

SPANNINGSCORROSIE (INTERKRISTALLIJNE PENETRATIE)

Aanwezigheid van inwendige spanningen kan interkristal- lijne penetratie van gesmolten soldeermateriaal ten ge- volge hebben, waardoor het materiaal bros wordt; dit ver- schijnsel staat bekend als LME = Liquid Metal Embrittlement. Men kan dit vermijden door:

- ▶ de werkstukken van tevoren spanningsarm te gloeien;
- ▶ een laagsmeltend zilversoldeer te gebruiken en de ver- hitting zo laag en zo kort mogelijk te houden om de penetratie te beperken;
- ▶ te voorkomen dat bij het soldeerproces spanningen wor- den geïntroduceerd door gelijkmatig verwarmen en met de invloed van de soldeermallen rekening te houden.

Boven ongeveer 875 °C kunnen spanningen zover afne- men, dat bij hoger smeltende solderen dit verschijnsel niet optreedt, indien niet al te snel wordt opgewarmd, opdat in feite spanningsarm wordt gegloeid. Ook door het opbrengen van een bij het zilversolderen niet-smel- tende laag (bijvoorbeeld een nikkel- of koperlaag) kan penetratie worden voorkomen.

CARBIDE-PRECIPITATIE

Bij verblijf in het temperatuurgebied van 500...900 °C vindt bij hoog koolstofhoudende (>0,03%) roestvaste

staalsoorten, carbide-uitscheiding langs de korrelgrenzen plaats. Het materiaal wordt hierdoor gevoelig voor interkristallijne corrosie.

Men kan dit verschijnsel alleen onderdrukken door:

- ▶ kortstondige verhitting aan de ondergrens van het temperatuurgebied;
- ▶ te verhitten tot in het oplosgloeigebied van 950...1100 °C (of zo nodig hoger), gevolgd door een snelle afkoeling vanaf 950 °C (in water voor dikke of met perslucht voor dunne producten).

De gestabiliseerde staalsoorten (Ti- of Nb-houdende) en ook de laag koolstofhoudende (L-kwaliteiten) vertonen dit verschijnsel niet. Voorkeur verdient voor soldeerconstructies bij toepassing onder corrosieve omstandigheden deze kwaliteiten te gebruiken, indien niet boven 950 °C kan worden gesoldeerd en niet snel kan worden afgekoeld.

Opmerking: Ti-gestabiliseerde staalsoorten kunnen bevochtigingsproblemen geven vanwege het op het oppervlak aanwezige titaanoxide.

ZWAVELBROSHEID

De aanwezigheid van nikkel in het staal maakt het gevoelig voor aantasting in zwavelhoudende milieus op hoge temperatuur. Verhitting in zwavelhoudende gassen moet wegens de kans op NiS-vorming wat warmscheur gevoeligheid kan veroorzaken, worden vermeden.

12.4 Voorbewerking

12.4.1 Naadvormen

Uit het oogpunt van corrosie is het ongewenst naadvormen te kiezen, waarbij spleten ontstaan die niet of slechts gedeeltelijk door soldeer worden gevuld. Ook bij vacuümtoepassingen dient men aan de naadvorm grote aandacht te schenken. Men moet ervoor zorgen dat de in de spleet aanwezige lucht niet door het soldeer in de naad wordt opgesloten, waardoor het vloeien wordt tegengegaan of lekken in de gevormde verbinding kunnen ontstaan. De spleetbreedte, die moet worden aangehouden wordt bepaald door het te gebruiken soldeer en de gekozen soldeermethode (met of zonder vloeimiddel). Daar de spleetbreedte van invloed is op de sterkte van de verbinding, is het bij hardsoldeerverbindingen van belang dat op soldeertemperatuur de juiste spleetbreedten worden verkregen (tabel 12.2). Hierbij dient rekening te worden gehouden met bijvoorbeeld het grote verschil in uitzettingscoëfficiënt tussen de austenitische soorten ($\sim 19 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) en de ferritische en martensitische soorten ($\sim 12 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$).

tabel 12.2 Spleetbreedten voor het hardsolderen van roestvast staal

soldeersoort	spleetbreedte [mm]	opmerkingen
koperhardsolderen	0...0,05	gegeven waarde zonder vloeimiddel; met vloeimiddel: 0,05...0,20 mm
zilverhardsolderen	0,02...0,10 ¹⁾	
nikkelhardsolderen	0,01...0,10 ¹⁾	0,1...0,2 mm (zie §12.5.1)
edelmetaalhardsolderen	0,02...0,10 ¹⁾	

1) Bij het hoogtemperatuursolderen bij voorkeur soldeerspleten <0,05 mm kiezen

12.4.2 Voorbehandeling van de oppervlakken

- ▶ De te solderen oppervlakken dienen geheel vrij te zijn van olie, vet of vuil en van oxidelagen. Ze dienen van tevoren grondig te worden ontvet. De oxidehuid moet door middel van beitsen of mechanisch (bijvoorbeeld staalgritten) worden verwijderd.
- ▶ Oppervlakken met bewerkingsgroeven laten zich beter bevochtigen dan gladgewalste oppervlakken; ook beitsen is hierin bevorderlijk. De ruwheid van de oppervlakken in de soldeerspleet dient bij voorkeur $R_a = 0,8 \dots 6,4 \mu\text{m}$ te zijn.
- ▶ Indien wegens maatvoering of optreden van interkristallijne penetratie, inwendige spanningen het soldeerproces kunnen beïnvloeden, dient men van tevoren spanningsarm te gloeien. Zo nodig wordt dit gevolgd door verwijdering van een daarbij gevormde oxidehuid.
- ▶ De moeilijke reduceerbaarheid van de oxidehuid bij roestvaste staalsoorten vereist het gebruik van vloeimiddelen. Men kan dit vermijden door:
 - te solderen in een reducerende atmosfeer of vacuüm;
 - bij het hard- of hoogtemperatuursolderen de soldeerplaatsen van tevoren te verkoperen^{*)} of te vernikkelen (laagdikte ongeveer 10 μm);
 - bij het zachtsolderen door te vertinnen.

12.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer

12.5.1 Soldeer

Voor het zachtsolderen gebruikt men bij voorkeur tinsolderen met 50% of meer Sn, hoewel ook lood-tinsolderen met 60% en meer Pb worden gebruikt. Deze wijken sterker af in kleur dan zuiver tin-, tinantimoon- of tinzilversoldeer.

Voor het hardsolderen zijn alle typen, uitgezonderd die van de groepen H1 en H2, bruikbaar.

De koperfosforhardsolderen (groep H2; zie hoofdstuk 3) zijn niet bruikbaar, daar het aanwezige fosfor de vorming van brosse fosfideverbindingen in de naad tot gevolg heeft.

Met de koperhardsolderen (groep H3; zie hoofdstuk 3) laten zich alle genoemde staalsoorten goed solderen, waarbij voornamelijk ovensolderen onder reducerend gas of in vacuüm wordt toegepast naast inductief- en weerstandsoldeeren, al of niet onder reducerend gas of in vacuüm. Door de dunvloeibaarheid van de koperhardsolderen is een zeer geringe spleetbreedte noodzakelijk. Ook dient men de hoeveelheid soldeer goed te doseren, daar anders de kans bestaat dat het teveel aan soldeer uitvloeit naar plaatsen waar het niet gewenst is.

De koperzinkhardsolderen (groep H4; zie hoofdstuk 3) zijn af te raden wegens de slechte corrosie-eigenschappen van de naad. Ze zijn ongeschikt voor ovensolderen en neigen tot penetratie in het materiaal bij langdurig verhitten of oververhitting, gepaard gaande met vorming van poreuze naden door uitdamping van zink.

De zilverhardsolderen (groep H5; zie hoofdstuk 3) zijn zeer bruikbaar voor soldeerverbindingen tussen roestvaste staalsoorten onderling of met andere materialen. Ze kunnen worden gebruikt voor verschillende verhittingsmethoden (vlam, inductief, enz.). Het verschil in smeltemperatuur tussen de diverse soldeerlegeringen maakt het met zilverhardsolderen mogelijk constructies in etappes te solderen, gebruik makend van een steeds lager smeltend soldeer, het z.g. stapsolderen. Door het kiezen van een steeds lager smeltend soldeer en daardoor lagere soldeertemperatuur smelten de voorgaande verbindingen niet. Ook bre-

*) Koper als deklaag wordt veel toegepast voor warmtewisselaars, zoals bijvoorbeeld de "donut"-vormige oliekoelers bedoeld voor de auto-industrie.

dere spleten kunnen met bepaalde zilverhardsolderen goed worden overbrugd. Bij zilverhardsolderen is meestal het gebruik van een vloeimiddel vereist, vooral bij verhitting in een atmosfeer, die niet voldoende reducerend is. De soldeertemperaturen liggen voor bijna alle zilverhardsoldeersoorten in het gebied van de korrelgrenscarbidevorming bij de austenitische staalsoorten.

Afhankelijk van de soldeercyclus en toepassing (milieu) moet men een keuze maken voor een geschikt type roestvast staal (mogelijk zijn: typen met laag koolstofgehalte en gestabiliseerde typen).

Bij voorkeur gebruikt men de nikkelhoudende zilverhardsolderen, wat bij de chromstaalsoorten zelfs noodzakelijk is ter voorkoming van grensvlakaantasting in vochtige milieus. Door vooraf te vernikkelen kan men dit eveneens voorkomen.

Het optreden van spanningscorrosie (interkristallijne penetratie) door soldeerbesteden kan worden voorkomen, door gebruik te maken van een laagsmeltend type zilverhardsoldeer uit groep H5 (bijv. AG 304 AgCuZnCd-soldeer) indien men dan maar de soldeertemperatuur zo laag mogelijk houdt en de tijd zo kort mogelijk.

Zink- en cadmiumhoudende zilverhardsolderen zijn niet geschikt voor het solderen in vacuüm.

Het soldeer Ag92,5Cu7,5Li 0,15-0,3, smelttraject 780-890 °C en soldeertemperatuur 890-980 °C, kan worden gebruikt voor de precipitatie-hardende staalsoorten, waarbij het oplosgloeien met het solderen kan worden gecombineerd.

De nikkelhardsolderen (groep H6, zie hoofdstuk 3) geven corrosie- en hittevast verbindingen. Zij vereisen een hoge soldeertemperatuur, waardoor meestal ovensolderen en dan veelal in een goed vacuüm moet worden toegepast. Zij zijn minder taai dan de overige hardsoldeersoorten en kunnen tijdens het solderen hoogsmeltende fasen vormen, die het verder vloeien kunnen blokkeren. Bij lange naden moet men daarom bredere spleten (0,1...0,2 mm) gebruiken dan bij kortere (0,01...0,10 mm). Opgemerkt kan worden dat de boriumvrije nikkelhardsolderen corrosievaster zijn dan de boriumhoudende; een gloeibehandeling na het solderen verbetert de mechanische eigenschappen van deze soldeersoorten.

De edelmetaalhardsolderen (groep H7 en H8, zie hoofdstuk 3) worden meestal gebruikt voor speciale doeleinden. Ze geven sterke en taai verbindingen, die bijvoorbeeld goed bestand zijn tegen zwavelhoudende atmosferen en ze vertonen weinig neiging tot legeren met en penetratie in het moedermetaal. De kostprijs van deze solderen is hoog. Dit is eveneens een factor, die naast andere factoren als bedrijfsomstandigheden, soldeermogelijkheden en toe te passen warmtebehandelingen, een rol speelt bij de keuze van een soldeer.

12.5.2 *Vloeimiddelen*

De stabiele oxidehuid bij de roestvaste staalsoorten vereist bij zachtsolderen het gebruik van agressieve vloeimiddelen. Hiervoor kan een vloeimiddel op basis van zinkammoniumchloride met vrij zoutzuur als het type F-SW 11 (3.2.2) dienen. Aangezien chloorionen een bron voor ernstige corrosie kunnen vormen, moeten vloeimiddelresten zeer grondig worden verwijderd.

Hierom is het beter het type F-SW 13 (3.2.1) of met water verdund fosforzuur (50...20% H₃PO₄) toe te passen, waarvan eventuele resten minder schadelijk zijn en dat bij gebruik ook minder schadelijke en hinderlijke dampvorming geeft.

Voor hardsolderen gebruikt men vloeimiddelen op basis van boorzuur, boraten, fluoriden en/of fluorboraten met een bevochtiger (om het vloeimiddel beter te laten uitvloeien bij kamertemperatuur), die als zodanig in de handel worden gebracht. De verhoudingen van de verschillende componenten bepalen het werkzame gebied, waarbij de meer fluorhoudende als type F-SH 1 (FH10 en FH12) voor de lagere soldeertemperaturen (T < 800 °C) en de meer boriumhoudende als F-SH 2 (FH20 en FH21) voor de hogere soldeertemperaturen (800 < T < 1100 °C) worden gebruikt. Ook hiervan moeten de resten (behalve die van type FH21), grondig worden verwijderd.

12.5.3 *Beheerste atmosfeer*

Om oxidatie zoveel mogelijk tegen te gaan en om het gebruik van vloeimiddelen te vermijden, waardoor de kwaliteit van de verbinding kan worden verbeterd, maakt men gebruik van beheerste reducerende atmosferen bij het solderen. Bij het gebruik van zeer droge waterstof (dauwpunt -80 °C of lager) of bij een vacuüm van 133,3.10⁻³ N/m² (1,33 x 10⁻³ mbar) of beter kan men in de meeste gevallen solderen zonder gebruik van vloeimiddelen; in alle gevallen indien de soldeertemperatuur boven 900 °C is.

12.6 *Soldeermethoden*

Roestvast staal wordt meestal hardgesoldeerd door middel van ovensolderen in een reducerende atmosfeer of in vacuüm. Daarnaast wordt ook wel inductief (eventueel onder beschermgas/vacuüm) of met de vlam of weerstand gesoldeerd. Zachtsolderen geschiedt meestal met de bout of met de vlam. Andere methodes worden zelden toegepast. De keuze van de methode hangt af van de materiaalcombinatie, het soldeer, de bijkomende warmtebehandeling, de seriegrootte, de afmetingen van de werkstukken en de gewenste kwaliteit.

12.6.1 *Uitvoering soldeercyclus*

De verwarmingsmethode dient zo te worden gekozen dat het werkstuk gelijkmatig en daarbij zo snel mogelijk op soldeertemperatuur wordt gebracht. Hierbij dient men rekening te houden met het relatief geringe warmtegeleidingsvermogen van roestvast staal en bij inductief verhitten met het feit dat de wel ferro-magnetische ferritische en martensitische staalsoorten tot aan ongeveer 800 °C sneller doorwarmen dan de niet-magnetische austenitische kwaliteiten.

De gehele soldeercyclus dient zo te worden uitgevoerd, dat ongunstige beïnvloeding van de materialen zoveel mogelijk wordt voorkomen en aan de per soort afhankelijke warmtebehandeling wordt voldaan.

12.7 *Nabehandeling en controle*

Vloeimiddelresten dienen grondig te worden verwijderd in verband met het corrosiegevaar. Een bij het solderen (plaatselijk) ontstane oxidelaag is eveneens ongunstig voor de corrosieweerstand en dient zo nodig mechanisch of chemisch te worden verwijderd.

Voor belangrijk werk is een procedurekwalificatie noodzakelijk, hetgeen met zich meebrengt dat door destructief onderzoek moet worden vastgesteld of de soldeerspleet voldoende is gevuld. In veel gevallen zal worden volstaan met een visuele inspectie, nadat men overtuigd is, dat volgens specificaties en tekeningen is gewerkt. Kuring van de gesoldeerde producten vindt dan plaats door lekdetectie en door niet-destructief onderzoek (zie ook hoofdstuk 6).

Hoofdstuk 13

Gietijzer *)

13.1 Inleiding

De algemene benaming gietijzer omvat een groep legeringen, die in hoofdzaak bestaat uit ijzer en koolstof met daarnaast toevoegingen als silicium, mangaan, koper, nikkel, chroom en molybdeen.

Het koolstofgehalte van deze materialen is groter dan 1,7% en o.a. hierdoor wordt de smelttemperatuur verlaagd tot ongeveer 1150 °C. Met het oog op de soldeerbaarheid is deze groep materialen onder te verdelen in:

1. lamellair gietijzer

- ▶ ongelegeerd;
 - witgietijzer (alle koolstof gebonden tot cementiet)
 - grijsgietijzer (vrije koolstof)
 - smeedbaar gietijzer (zachtgegloeid wit gietijzer)
- ▶ laaggelegeerd; (weinig toegepast)
- ▶ hooggelegeerd. (Ni-resist)

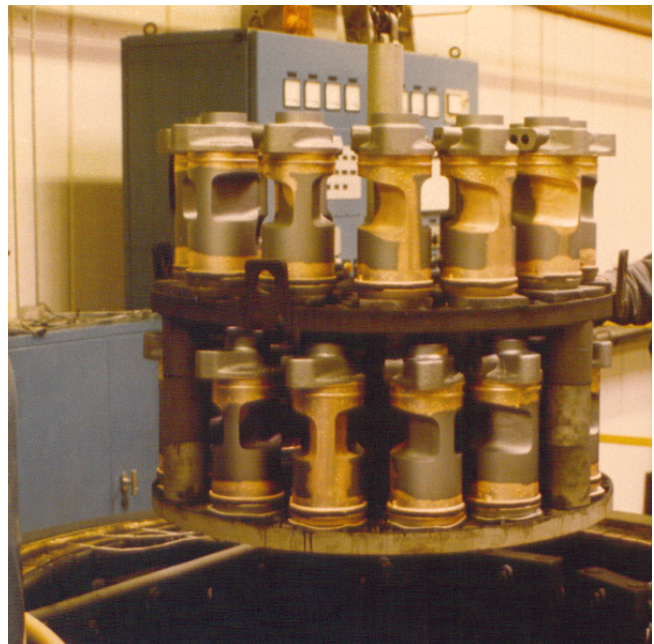
2. nodulair gietijzer

- ▶ ongelegeerd;
- ▶ laaggelegeerd;
- ▶ hooggelegeerd.

Het verschil tussen deze beide hoofdgroepen is de vorm waarin de vrije koolstof in het materiaal aanwezig is. De nodulaire gietijzersoorten liggen wat eigenschappen betreft dichterbij de gietstalen dan bij de lamellaire gietijzersoorten. Het solderen van gietijzer vereist over het algemeen speciale voorzieningen. Dit wordt veroorzaakt door de vorming van SiO₂, (boven 650 °C) en de aanwezigheid van veel vrije koolstof. Verdere mogelijk optredende problemen worden veroorzaakt door aanwezigheid van chroom in de gelegeerde materialen. Hieruit blijkt wel dat het zachtsolderen de minste voorzieningen vraagt. Solderen verdient in vele gevallen de voorkeur boven lassen.

13.1.1 Toepassingen

Gietijzer wordt steeds vaker gesoldeerd, zowel in de nieuwbouw, als bij reparaties (figuur 13.1). Als soldeer-materiaal gebruikt men de koper- en zilverhardsolderen. Het samenstellen van ingewikkelde delen uit simpele giet-



figuur 13.1 Gesoldeerde gietijzeren uitlaatklephuis t.b.v. dieselmotor (foto Bodycote - Diemen)

stukken en gedraaide delen door middel van solderen vindt dan ook steeds vaker plaats.

13.2 Materiaalcombinaties

Bij het solderen van combinaties van onderling verschillende materialen dient rekening te worden gehouden met het verschil in uitzettingscoëfficiënt (zie hoofdstuk 5).

Gietijzer kan zowel met hard- als met zachtsoldeer worden verbonden aan :

- ▶ koper en koperlegeringen;
- ▶ nikkel en nikkellegeringen;
- ▶ ongelegeerd en laaggelegeerd staal;
- ▶ roestvast staal.

Combinaties met aluminium en magnesium en legeringen ervan zijn niet of zeer moeilijk uit te voeren (tabel 13.1).

tabel 13.1 Globale richtlijnen voor de soldeerkeuze

Gietijzer aan:	zachtsolderen uit tabellen 3.1 en 3.2					hardsolderen uit tabellen 3.4 t/m 3.11								
	101 t/m 104; 111 t/m 117; 121 t/m 124; 131 t/m 133	134 t/m 137	151; 161; 162; 171	201; 701 t/m 704	801	AL 101 t/m 104; 201; 301 en 302	CP 101 t/m 105; 201 t/m 203; 301 en 302	CU 101 t/m 106; 201 en 202	CU 301 t/m 306	AG 101 t/m 108; 201 t/m 208; 301 t/m 309; 351; 401 t/m 403; 501 t/m 503	NI 101 t/m 113; CO 101	PD 101 t/m 106; 201 t/m 204; 301	AU 101 t/m 106	
Al en Al-legeringen	+	o	o	o	o	+	o	o	o	o	o	o	o	
Mg en Mg-legeringen	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Cu en Cu-legeringen	+	o	o	+	o	o	o	o	+	+	o	+	o	
Ni en Ni-legeringen	o	o	o	o	o	o	o	+	+	+	o	+	o	
on- en laaggelegeerd staal	+	o	o	+	o	o	o	+	+	+	o	+	o	
gietijzer	+	o	o	+	o	o	o	+	+	+	o	+	o	
roestvast staal	o	o	o	o	o	o	o	o	+	+	o	+	o	

+ = wel toepassen; o = niet toepassen.

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

13.3 *Eigenschappen*

13.3.1 *Fysische eigenschappen*

ZACHTSOLDEERVERBINDINGEN

Bij het zachtsolderen van gietijzersoorten moet men gebruik maken van een zachtsoldeer met een hoog tingehalte (> 70%).

Deze verbindingen bezitten een schuifsterkte van 30...50 N/mm² en zijn bruikbaar tot 100 °C.

Indien op de verbinding langdurig een kracht wordt uitgeoefend, moet in verband met kruip met een belangrijk lagere waarde van 1 N/mm² worden gerekend.

HARDSOLDEERVERBINDINGEN

De schuifsterkte, afhankelijk van het type soldeer, is weergegeven in tabel 13.2.

Deze waarden zijn afhankelijk van de spleetbreedte.

De maximaal toelaatbare temperatuur in verband met sterkte en oxidatievastheid is veelal een criterium voor de keuze van het hardsoldeer (tabel 13.2).

tabel 13.2 Gegevens voor het solderen van gietijzer

soldeersoort (groep) ¹⁾	schuifsterkte [N/mm ²]	max. toelaatbare gebruikstemp. [°C]	spleetbreedte [mm]
koperhardsolderen (H3)	200...250	500	0...0,05
koperzinkhardsolderen (H4)	250...300	300	0,05...0,15
zilverhardsolderen (H5)	250...300	300	0,05...0,15
paladiumhardsolderen (H7)	200...350	600...800	0,05...0,10
tinloodzachtsolderen	30...50	100	0,10...0,30
loodvrije zachtsolderen	-	-	0,10...0,30

1) Groepen uit hoofdstuk 3

LASSOLDEERVERBINDINGEN (zie hoofdstuk 1)

Bij het lassolderen van gietijzer aan staal wordt vaak het zogenaamde "lasbrons" gebruikt, hetgeen een eenvoudig messing(koperzink)hardsoldeer is. Indien dit type soldeer wordt toegepast, mag de bedrijfstemperatuur de 300 °C niet overschrijden.

13.3.2 *Chemische eigenschappen*

De corrosievastheid van de soldeerverbinding is afhankelijk van het milieu en moet per geval worden bekeken. De beste resultaten worden verkregen met zuiver koper. Het gebruik van een vloeimiddel kan de corrosievastheid van de verbinding nadelig beïnvloeden.

13.3.3 *Metallurgische eigenschappen*

Bij het zachtsolderen treedt geen verandering op in de metallurgische eigenschappen van het werkstuk. Om structuurveranderingen te voorkomen moet men solderen bij een temperatuur onder de 760 °C.

Hardsolderen onder deze temperatuur is aan te bevelen, daar dan niet aan een bijkomende warmtebehandeling hoeft te worden gedacht. Solderen boven deze temperatuur dwingt tot een afkoelcurve die gelijk is aan de veredelingscurve van gietijzer, hetgeen uit oogpunt van economie gunstig is.

MATERIAALGROEI

Tijdens het solderen van gietijzer op hoge temperatuur, vooral boven 950 °C, treedt door ontbinding van carbiden en inwendige oxidatiegroei op in de orde van grootte van 0,5%. Hiermee moet vooral rekening worden gehouden,

daar deze groei op geen enkele manier meer te compenseren is.

13.4 *Vorbewerking*

De oppervlakken van de soldeerspleet dienen een ruwheid te bezitten die ligt tussen 1 en 6 µm en de soldeerspleet dient parallel te zijn met een maximaal toelaatbare afwijking van 0,03 mm.

13.4.1 *Naadvormen*

In de praktijk kunnen alle naadvormen (zie hoofdstuk 5) worden toegepast. De spleetbreedte, die moet worden aangehouden, wordt bepaald door het te gebruiken soldeer en de gekozen soldeermethode (met of zonder vloeimiddel).

De spleetbreedte is o.a. van invloed op de sterkte van de verbinding. Voor een goede uitvoering van de soldeerprocedure is het nodig, dat de juiste spleetbreedten worden aangehouden (tabel 13.2). Hierbij moet men er rekening mee houden dat de spleetbreedte op soldeertemperatuur is bedoeld.

Bij het lassolderen speelt de naadvorm een belangrijke rol. De te solderen delen worden in het algemeen bij stompe verbindingen afgeschuind (openingshoek 90°). Zowel onder als boven moeten scherpe hoeken worden afgerond (in verband met optredende kerfwerking bij scherpe hoeken). Bij haakse verbindingen komt de naadvorm overeen met die van een hoeklas.

13.4.2 *Vorbewerking van de oppervlakken*

De soldeerplaats en de naaste omgeving worden goed schoongemaakt.

Voor het zacht-, hard- en lassolderen volgt men de volgende procedure :

- ▶ het werkstuk vrijmaken van vuil en vet;
- ▶ na het ontvetten moet het oppervlak worden vrijgemaakt van koolstof, silicium en oxide.

Dit kan op de volgende wijze, al of niet in combinatie geschieden:

- ▶ slijpen en straalreinigen of staalstralen (het laatste in geval van hoogtemperatuursolderen);
- ▶ chemisch reinigen;
- ▶ elektrochemisch reinigen (Kolène Verfahren of anodisch etsen in zwavelzuur);
- ▶ oxideren met de vlam (alleen voor verwijdering van koolstof).

Blijft dit achterwege, dan zal over het algemeen geen bevochtiging plaatsvinden.

Indien hoge eisen worden gesteld aan de maatvoering, dan moeten inwendige spanningen door spanningsarmgloeien worden weggenomen.

Bij het zacht- en lassolderen vertint men daarna met zuiver tin door de soldeervlakken van vloeimiddel te voorzien, op temperatuur te brengen en met staalwol vloeibaar tin over deze vlakken te wrijven. Het op de juiste wijze vertinnen van de soldeerplaats waarborgt een goede bevochtiging en hechting van het soldeer.

13.5 *Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer*

13.5.1 *Soldeer*

Van de zachtsolderen komen in de eerste plaats in aanmerking om gebruikt te worden de tinloodsolderen met 70 en 90% tin en tinantimoon (Sn95Sb5)- en tinzilver (Sn96,5Ag3,5)-soldeer (zie hoofdstuk 3).

Bij het hardsolderen geven de koperhardsolderen met name CU104 (groep H3), alle zilverhardsolderen (groep H5) en alle zilverkoperpalladiumlegeringen (groep H7) de beste resultaten.

13.5.2 *Vloeimiddelen*

De keuze van het vloeimiddel wordt bepaald door de stabiliteit van de op het oppervlak aanwezige oxiden en de smelttemperatuur van het gekozen toevoegmateriaal (zie hoofdstuk 4).

Als vloeimiddel bij het zachtsolderen gebruikt men speciaal voor gietijzer ontwikkelde middelen die vallen in de groep van type F-SW11 (3.2.2).

Bij het hardsolderen moet men de keuze van het vloeimiddel aanpassen aan de stabiliteit van het aanwezige oxide en de soldeertemperatuur. In principe komen hier alle vloeimiddelen (typen F-SH 1 t/m 4) (FH10 t/m FH40) voor in aanmerking.

13.5.3 *Beheerste atmosfeer*

Aangezien gietijzer over het algemeen poreus is, is het grondig verwijderen van de vloeimiddelresten na het solderen zeer moeilijk. Solderen in een oven met een beheerste atmosfeer (reducerend gas of vacuüm) kan zonder vloeimiddel geschieden en biedt dus voordelen.

Ongeleerd gietijzer wordt tegenwoordig met succes met koperhardsoldeersoorten gesoldeerd in een vacuümatmosfeer van $133,3 \dots 133,3 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ ($1,33 \dots 1,33 \times 10^{-3}$ mbar) met aansluitende warmtebehandeling.

Bij geleerd gietijzer moet in dit geval de vacuümdruk lager zijn dan $133,3 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ ($1,33 \times 10^{-3}$ mbar).

13.6 *Soldeermethoden*

Alle in hoofdstuk 2 genoemde soldeermethoden kunnen worden toegepast. Het is van belang dat er geen oververhitting optreedt of spanningen t.g.v. temperatuurverschillen ontstaan.

De vereiste kwaliteit, de seriegrootte en de afmetingen van de werkstukken zijn van doorslaggevende betekenis bij de keuze van de methode.

Hoogtemperatuursolderen biedt grote voordelen, omdat zowel de voorbehandeling (hoewel slijpen, staalstralen en ontvetten en soms spanningsarmgloeien noodzakelijk blijven) als de nabehandeling (geen verwijdering van vloeimiddelresten noodzakelijk) achterwege kunnen blijven (zie ook VM82 "Hoogtemperatuursolderen" hoofdstuk 6).

De temperatuur waarbij het vertinnen en solderen bij het zacht- en lassolderen plaatsvindt, is uitermate belangrijk. Grote werkstukken van gietijzer moeten vaak in een oven worden voorverwarmd.

13.6.1 *Uitvoering soldeercyclus*

Gietijzer is een slechte warmtegeleider en is bovendien erg scheurgevoelig. De verwarmingsmethode moet dan ook zo gekozen worden, dat er zo min mogelijk warmtespanningen ontstaan (langzame alzijdige verwarming). Hetzelfde geldt voor de afkoeling. De gehele soldeerprocedure moet daarbij niet in strijd zijn met de gestelde warmtebehandelingseisen.

13.7 *Nabehandeling en controle*

Vloeimiddelresten dienen grondig te worden verwijderd in verband met het grote corrosiegevaar bij dit poreuze materiaal. Goed uitgevoerde soldeerverbindingen vereisen geen mechanische nabewerking. Controle op de soldeer-

procedure en uitvoering volgens het voorschrift is van groot belang (zie hoofdstuk 6). Keuring van gietijzer-soldeerverbindingen kan door middel van niet-destructief onderzoek slechts op enkele manieren plaatsvinden, nl.:

- ▶ oppervlakteonderzoek: visuele inspectie; penetrant onderzoek;
 - ▶ dichtheidsonderzoek: druktest met gas of vloeistof (afpersen);
- en soms ook door middel van:
- ▶ radiografisch onderzoek; beperking wordt gevormd door de wanddikte;
 - ▶ ultrasoononderzoek; niet mogelijk met lamellair gietijzer en beter mogelijk met nodulair gietijzer.

Hoofdstuk 14

Koolstofstaal *)

14.1 Inleiding

Over het algemeen zijn alle ongelegeerde en laaggelegeerde staalsoorten, zoals:

- ▶ constructiestaal,
 - ▶ veredelingsstaal,
 - ▶ automatenstaal,
 - ▶ carboneerstaal,
 - ▶ nitreerstaal,
 - ▶ en gereedschapsstaal
- uitstekend te solderen.

Het zwavel- of loodhoudende (max. 0,25-0,35% Pb) automatenstaal is nog goed te zacht-, hard- en hoogtemperatuursolderen. Het is echter raadzaam om voor producten die zwaar worden belast de sterkte van de soldeerverbindingen vooraf te bepalen. De soldeerverbinding kan als gevolg van deze toevoegingen aan het basismetaleel aanmerkelijk aan sterkte verliezen of niet lekdicht zijn. Massafabricagedelen met een gecompliceerde vormgeving worden steeds vaker door poedermetallurgie en sinteren vervaardigd. Een karakteristieke eigenschap van gesinterd metaal is de poreusheid van de structuur. Bij een poreusheid kleiner dan 8% wordt het metaal nog als dicht gekarakteriseerd. Gesinterde producten met een hogere poreusheid kunnen bij het solderen problemen geven, daar het werkstuk het vloeibare soldeer als een spons opzuigt. Een zeer korte soldeertijd of het toepassen van een soldeer met een breed smelttraject kan hier uitkomst brengen.

14.1.1 Toepassingen

Het solderen van koolstofstaal wordt op grote schaal toegepast, bijv. slangkoppelingen, matrijzen, oliekoelers, meubelframes, boren (hardmetaal), tandwielen (fig.14.1).

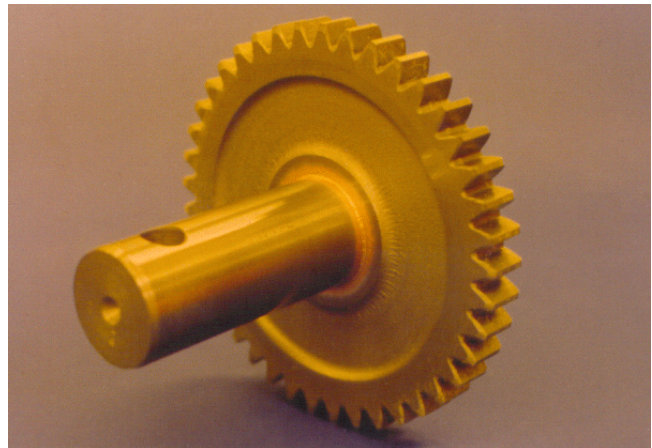
14.2 Materiaalcombinaties

Koolstofstaalsoorten kunnen onderling goed worden gesoldeerd.

Materiaalcombinaties van koolstofstaal met:

- ▶ hooggelegeerde staalsoorten,
- ▶ gietstaal en gietijzer,
- ▶ nikkellegeringen,
- ▶ koper of
- ▶ hardmetaal

zijn met behulp van zacht-, hard- en hoogtemperatuur-



figuur 14.1 Tandwiel (foto Bodycote Diemen)

solderen goed uitvoerbaar. Met verschil in uitzetting dient bij de constructie rekening te worden gehouden, speciaal bij het verbinden van hardmetaal (zie hoofdstuk 5). De keuze van het soldeerproces en van het soldeermateriaal wordt nu bepaald door de materiaalcombinatie.

14.3 Eigenschappen

Indien een product uit staal wordt vervaardigd, zijn de mechanische sterkte en lekdichtheid de belangrijkste kwaliteitseisen. De mechanische sterkte van een soldeerverbinding wordt door de volgende factoren bepaald:

- ▶ type soldeermateriaal;
- ▶ spleetbreedte;
- ▶ materiaalcombinatie;
- ▶ uitgevoerde warmtebehandeling;
- ▶ constructie van het product.

In tabel 14.1 zijn enige mechanische waarden vermeld van gesoldeerde verbindingen met tinloodsoldeer (nr. 151 en 171) en loodvrij tinsoldeer (nr. 703, 402 en 201), zilverkopertin (AG102 t/m 108)-, zilverkoper (AG203 t/m 208), zilverkoperzinkcadmium (AG301 t/m 309) en een koper(CU101-103)soldeer (zie ook tabel 14.2).

14.4 Voorbewerking

Voor goede resultaten is het noodzakelijk, dat de te solderen oppervlakken vrij zijn van oxides en organische stoffen. Dit betekent in vele gevallen dat de werkstukken mechanisch moeten worden bewerkt. Ontvetten van de

tabel 14.1 Mechanische eigenschappen van enkele gesoldeerde koolstofstaalverbindingen

beproevingswijze	afschuifsterkte in N/mm ² (c.f. DIN 8526)	treksterkte in N/mm ² (c.f. DIN 8525)			
		zilversoldeernr. (c.f. ISO 9454) AG 102 t/m 108	zilversoldeernr. (c.f. ISO 9454) AG 203 t/m 208	zilversoldeernr. (c.f. ISO 9454) AG 301 t/m 309	kopersoldeernr. (c.f. ISO 9454) CU 101 t/m 103
basismateriaal	tinsoldeernr. (c.f. ISO 9453) 151; 171; 703; 402; 201				
C60	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	590
Fe510	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	550
Fe490	n.b.	430-480	400-480	430-510	n.b.
Fe360	15 (151); 20 (171); 25 (703); 25 (402); 30 (201)	350-360	350-400	350-410	380
flux/atm.	flux	flux	flux	flux	in vacuüm
n.b. = niet bekend					

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

tabel 14.2 Enige gangbare soldeersoorten voor staal

groep	legeringsnummer	aanduiding c.f. ISO 3677	T _{solidus} – T _{liquidus} in °C
tin-lood-cadmium	151	S-Sn50Pb33Cd18	145 - 145
tin-lood-zilver	171	S-Sn62Pb36Ag2	179 - 179
tin-zilver	703	S-Sn96Ag4	221 - 221
tin-koper	402	S-Sn97Cu3	227 - 310
tin-antimoon	201	S-Sn95Sb5	235 - 240
zilver-koper-zink-tin	AG102	B-Ag56Cu22Zn17Sn5	620 - 655
	AG103	B-Ag55Cu21Zn22Sn2	630 - 660
	AG104	B-Ag45Cu27Zn25,5Sn2,5	640 - 680
	AG105	B-Ag40Cu30Zn28Sn2	650 - 710
	AG106	B-Ag34Cu36Zn27,5Sn2,5	630 - 730
	AG107	B-Ag30Cu36Zn32Sn2	665 - 755
	AG108	B-Ag25Cu40Zn33Sn2	680 - 760
zilver-koper-zink	AG203	B-Ag44Cu30Zn26	675 - 735
	AG204	B-Ag30Cu38Zn32	680 - 765
	AG205	B-Ag25Cu40Zn35	700 - 790
	AG206	B-Ag20Cu44Zn36	690 - 810
	AG207	B-Ag12Cu48Zn40	800 - 830
	AG208	B-Ag5Cu55Zn40	820 - 870
zilver-koper-zink-cadmium	AG301	B-Ag50Cu15Zn16Cd19	620 - 640
	AG302	B-Ag45Cu15Zn16Cd24	605 - 620
	AG304	B-Ag40Cu19Zn21Cd20	595 - 630
	AG306	B-Ag30Cu28Zn21Cd21	600 - 690
	AG307	B-Ag25Cu30Zn27,5Cd17,5	605 - 720
	AG309	B-Ag20Cu40Zn25Cd15	605 - 765
koper	CU101 *)	B-Cu100	1085
koper-nikkel	CU105	B-Cu97Ni3	1085 - 1100
koper-tin	CU201	B-Cu94Sn6	910 - 1040

*) CU101 en de in de tabel niet vermelde CU102 en CU103 zijn onderling vergelijkbaar

producten is vrijwel altijd noodzakelijk, zeker voor het solderen in vacuüm.

De vereiste ruwheid van de te solderen vlakken wordt gewoonlijk bereikt door verspanende bewerkingen als schaven, frezen, draaien of slijpen ($R_a = 1 - 6 \mu\text{m}$).

Al te gladde oppervlakken zijn even ongewenst als te ruwe oppervlakken. Genitreerde lagen dienen te worden afgeslepen, daar het soldeer slecht bevochtigt op deze oppervlakken.

Met tinlood als zachtsoldeermateriaal worden de beste resultaten verkregen met spleten van 0,10 - 0,15 mm; voor zilver-, koperzink-, kopertin- en kopernikkel-hardsoldeer liggen de soldeerspleten bij voorkeur tussen ca. 0,05 - 0,12 mm, terwijl voor nikkel- en koper-hardsoldeer de spleten tussen 0,00-0,05 mm dienen te liggen. Bij het solderen met een "nul-spleet" berust de capillaire spleetvulling op de oppervlakteruwheid.

Het voordeel van "nul-spleten" is, dat met klempassingen kan worden gewerkt, waardoor constructies zelffixerend zijn.

De spleetbreedte heeft invloed op de capillaire werking tijdens het solderen, alsmede op de mechanische eigenschappen van de gesoldeerde verbindingen.

14.5 Soldeermethoden

De meest voorkomende methoden waarmee koolstofstaal wordt gesoldeerd, zijn:

- ▶ boutsolderen;
- ▶ vlamsolderen;

- ▶ inductiefsolderen;
- ▶ weerstandsolderen;
- ▶ hoogtemperatuur(oven)solderen in droge waterstof of stikstof/waterstof, in vacuüm of in exogas.

Bout-, vlam-, inductief-, weerstand- en ovensolderen worden voor het zachtsolderen het meest toegepast. Vlam-, inductief- en ovensolderen zijn voor het hardsolderen de meest toegepaste methoden. Bij het hardsolderen is het van belang er op te letten of dit boven of onder de austeniteringstemperatuur wordt uitgevoerd; boven deze temperatuur treedt bij snel afkoelen (bijvoorbeeld in water) gewenste of ongewenste harding op, daaronder niet. Methoden als vlam-, inductief- en weerstandsolderen lenen zich om bij grotere series gemechaniseerd te worden uitgevoerd.

Kleinere massafabricagedelen uit koolstofstaal (max. 0,3% C) of laag gelegeerd staal (maximaal 1,5% Cr) kunnen op economische wijze (bijvoorbeeld met een koper-hardsoldeer) in een transportbandoven worden gesoldeerd. In een menggas-atmosfeer van stikstof en waterstof kunnen hoger gelegerde staalsoorten worden gesoldeerd. Ovens met menggas of droge waterstof zijn veelal transportbandovens.

Transportbandovens zijn vooral geschikt voor de productie van massafabricagedelen of serieproductie van lichtere delen.

Vacuümovens zijn wat betreft de te solderen materialen universeel, doch worden meer ingezet voor het solderen van zwaardere machinedelen.

14.6 *Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer*

Voor het zachtsolderen zijn tinloodsoldeer en loodvrij tin-soldeer met een hoog tingealte ($\geq 40\%$) geschikt. Een agressief vloeimiddel op basis van zinkammonium-chloride is aan te bevelen. Staal wordt wel met een tinlaag ("Tinplate") of tinloodlaag ("Terneplate") geleverd voor een betere bevochtiging; een agressief vloeimiddel is dan niet nodig. Voor het hardsolderen worden soldeersoorten op zilver-, kopertin-, kopernikkel- en koperzinkbasis gebruikt; geschikt voor brede soldeerspleten ($\leq 0,5$ mm) zijn B-Cu70Zn20Mn10 799-925 en B-Cu54Zn35Ni6Mn4Si1 850-930. Koperzinksoldeer is ongeschikt voor het solderen in vacuüm.

Koperbasissoldeersoorten zoals zuiver koper, kopertin en kopernikkel worden veelal toegepast bij het hoogtemperatuursolderen van staal. Dit geldt ook voor de nikkelhardsolderen maar minder voor de solderen op edelmetaalbasis (goud-, palladiumhardsoldeer).

Nikkelhardsoldeersoorten worden gebruikt voor speciale toepassingen, bijvoorbeeld voor de materiaalcombinatie met roestvast staal of koper.

Ook palladiumhoudende zilverkopersoldeersoorten worden wel toegepast en soms ook goudnikkelsoldeer; zij zijn echter duur.

Zie tabel 14.2 voor een overzicht van de meest gangbare soldeersoorten.

14.7 *Nabehandeling en controle*

De meeste producten worden uitsluitend visueel gecontroleerd, al dan niet steekproefsgewijs.

Bovendien bestaat bij massafabricagedelen de mogelijkheid van een destructieve test.

Niet-destructieve methoden zoals röntgenen, ultrasoon- en scheuronderzoek met "penetrant"vloeistoffen zijn voor soldeerverbindingen zeer bruikbaar.

Het is raadzaam in het ontwerpstadium rekening te houden met de controle van de soldeernaad.

Van zacht- en hardsoldeerverbindingen moeten de vloeimiddelresten grondig worden verwijderd. Voor zachtsoldeerverbindingen wordt hiertoe een verdunde zoutzuuroplossing (1% HCl) gebruikt, gevolgd door spoelen met water. Bij hardsoldeerverbindingen wordt gewassen met warm/heet water, gevolgd door een dip verdund zwavelzuur en vervolgens goed spoelen met water.

Hoogtemperatuuresoldeerde producten behoeven in het algemeen geen nabewerking. Galvanische nabehandelingen als bijvoorbeeld vernikkelen kunnen direct worden uitgevoerd. Hoogtemperatuuresoldeerde verbindingen hebben een hoge temperatuur ondergaan, waardoor de hardheid terugloopt en de producten achteraf moeten worden gehard. Dit geldt ook voor producten die zijn hardgesoldeerd. Het solderen kan dan plaats hebben gevonden hetzij onder de austeniteringstemperatuur, waardoor sterk ontlaten kan optreden, hetzij boven deze temperatuur gevolgd door een onvoldoende afschrikken tijdens afkoelen. Met een zilverhardsoldeer bijvoorbeeld AG207 kan het solderen en harden in één behandeling worden uitgevoerd. Luchthardende staalsoorten worden tijdens het ovensoldeerproces direct gehard, zodat na het solderen uitsluitend nog ontlaten dient te worden.

Producten die na het soldeerproces moeten worden gecarboneerd en gehard, dienen te worden ontkoperd in een zogenaamd stripbad. Het nitreren van met koper gesoldeerde producten is niet mogelijk, daar de ammoniak-atmosfeer het koper aantast.

Hoofdstuk 15

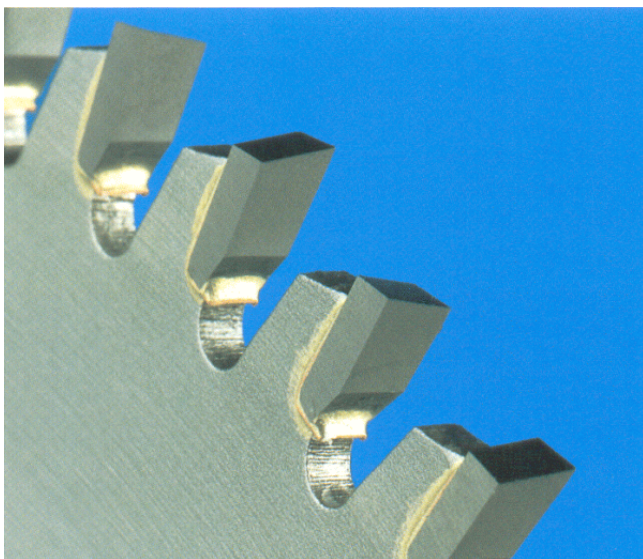
Hardmetaal *)

15.1 Inleiding

Hardmetaal wordt vervaardigd door het sinteren van een mengsel van poedervormige carbiden van metalen met een hoge smelttemperatuur, zoals wolfram-, tantaal- en titaan-carbide, en cobaltpoeder (cobaltaandeel 6 tot 15-20 gew.%) tot dicht bij het smeltpunt van cobalt. Bij het sinteren smelt het cobaltpoeder - hoewel niet volledig - en vult de ruimte op tussen de carbidedeeltjes, hetgeen gepaard gaat met een grote krimp. Na het sinteren bestaat het hardmetaal uit dicht tegen elkaar liggende kleine, zeer harde carbidekristallen, die door het cobalt als bindmetaal zijn verbonden. Naast deze hardmetaalsoort bestaan er ook soorten waarin zich titaan-, tantaal- of chroomcarbiden bevinden en waarin hardbaar staal of nikkel als binder wordt toegepast.

15.2 Materiaalcombinaties en eigenschappen

Hardmetalen plaatjes worden vaak door middel van solderen op een stalen schacht of zaagblad bevestigd (zie figuur 15.1). De kwaliteit van een gesoldeerd hardmetalen gereedschap is in belangrijke mate afhankelijk van de kwaliteit van de soldeermethode en mede afhankelijk van de kwaliteit van het schachtmateriaal (bijvoorbeeld C60). De uitzettingscoëfficiënten van hardmetaal en staal verhouden zich ongeveer als 1:2, zodat na verwarming tot de soldeertemperatuur het schachtmateriaal tweemaal zoveel is uitgezet als het hardmetaal. Bij het afkoelen na het solderen zal het schachtmateriaal dus meer willen krimpen dan het hardmetaal. Hierdoor blijft zowel in het schachtmateriaal als in het hardmetaal een soldeerspanning achter: in de schacht een trekspanning, in het hardmetaal een druk- of buigspanning. Omdat hardmetaal slecht tegen buigen bestand is - afhankelijk van de samenstelling - bestaat het gevaar dat het hardmetaal direct na het solderen of



figuur 15.1 Zaagblad voor het zagen van hout (foto Brazetec)

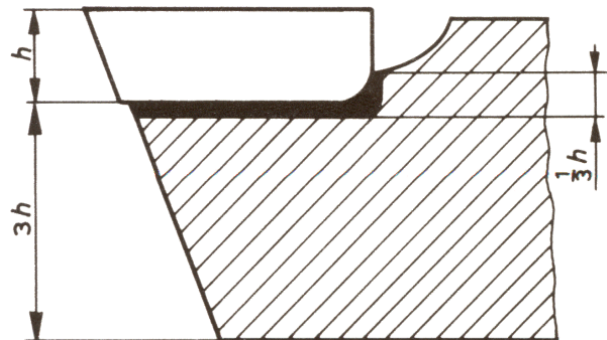
tijdens het verspanen (door het totaal van de reeds aanwezige spanningen én de spanningen die tijdens het verspanen optreden) scheurt. Het is daarom van groot belang om het ontstaan van spanningen tijdens het solderen zoveel mogelijk te voorkomen. Deze spanningen zijn afhankelijk van:

- ▶ de verhouding van de dikte van het hardmetalen plaatje ten opzichte van de dikte van het schachtmateriaal (gunstige verhouding is ongeveer 1:3);
- ▶ de grootte en de vorm van de soldeervlakken;
- ▶ de smelttemperatuur en de elasticiteit (in de vorm van krimp of relaxatie) van het te gebruiken soldeer.

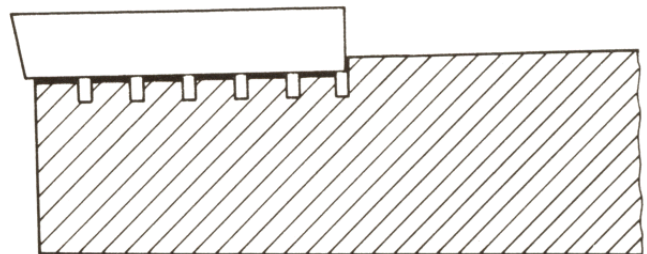
Reeds bij het aanbrengen van de uitsparing in de schacht moet men hiermee rekening houden, bijvoorbeeld door het plaatje alleen aan het grondvlak en het onderste deel van de achterzijde te solderen (figuur 15.2). Bij een dergelijke uitvoering wordt het slijpen van het spanvlak vergemakkelijkt. Meerszijdige begrenzing van hardmetaal en staal veroorzaakt grotere spanningen.

Grote soldeervlakken worden, als dit wat betreft belasting toelaatbaar is, onderbroken uitgevoerd (figuur 15.3), om het soldeervlak te verkleinen en daarmee de soldeerspanning te verminderen.

Bij het solderen van hardere hardmetaalsoorten, die scheur gevoeliger zijn dan de taaie hardmetaalsoorten, worden tussenlagen toegepast van gaas of soldeerfolie (triplé) om spanningen over de grotere tussenlaagdikte te kunnen afbouwen.



figuur 15.2 Dwarsdoorsnede soldeerverbinding



figuur 15.3 Onderbroken soldeervlak ter vermindering van de soldeerspanning

Het gaas bestaat uit fijn nikkel of vernikkeld ijzer. Het wordt zo uitgesneden, dat de draden diagonaal op het soldeervlak liggen. De soldeerfolie of triplé bestaat uit koper- of kopernikkelfolie, aan beide zijden geplateerd met zilverhardsoldeer (bij grotere beitels en voor hogere smeltpunten ook wel koperhardsoldeer). De dikteverhouding soldeer-

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

tussenlaag-soldeer is gewoonlijk 1:2:1. Een tussenlaag van koper wordt toegepast als een grote ductiliteit (pletbaarheid) gewenst is.

Daar waar hoge drukspanningen kunnen optreden wordt een kopernikkel tussenlaag gebruikt.

15.3 Eigenschappen

Hardmetaal heeft een zeer hoge hardheid en warm- en slijtvastheid. Nadeel is dat het niet ductiel is. Daardoor is het niet of slecht bestand tegen trek- en buigspanningen en moet het bij voorkeur op druk worden belast. Doordat hardmetaal grotendeels uit carbiden bestaat, laat het zich moeilijk door vloeibaar soldeer bevochtigen. Verkoperen of vernikkelen van het hardmetaal omzeilt dit probleem.

Ook het grote verschil in uitzettingscoëfficiënt ten opzichte van staal maakt dat bij het solderen van hardmetaal aan staal en vervolgens afkoelen, grote spanningen in de soldeernaad en in de constructiedelen kunnen ontstaan (zie ook § 15.3 "Materiaalcombinaties").

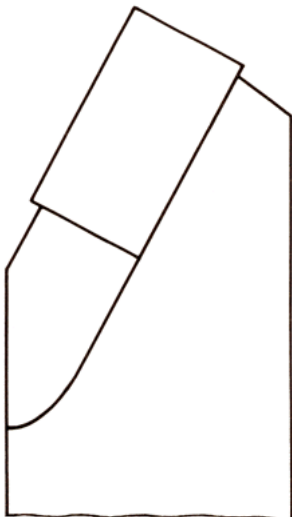
15.4 Voorbewerking

Om een goede soldeerverbinding te verkrijgen, moet het plaatje over het gehele oppervlak goed aanliggen. De soldeerlaag moet niet alleen zorgen voor een goede verbinding tussen hardmetaal en staal, maar moet ook spanningen kunnen opnemen. De soldeerlaag moet daarom naast voldoende sterkte ook een bepaalde minimale dikte bezitten. De soldeerlaag mag echter niet te dik zijn, omdat dan bij grote verspaningsdrukken het soldeer wordt samengedrukt en uit de naad wordt geperst. De gewenste soldeerlaagdikte bedraagt 0,1...0,2 mm.

15.4.1 Naadvormen

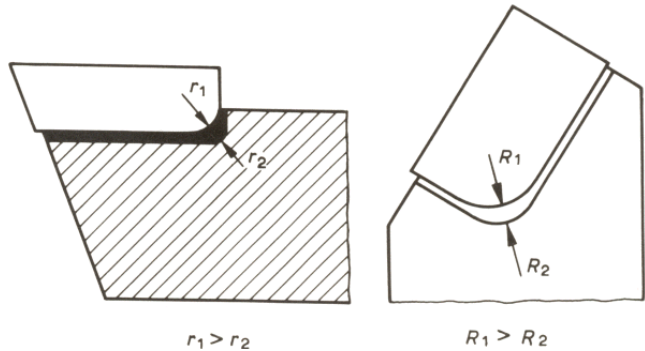
Het verdient de voorkeur om de uitsparing in de schacht iets groter te kiezen dan het plaatje. Hierdoor bereikt men dat het plaatje langs de gehele rand wordt gesoldeerd. In de praktijk levert dit echter moeilijkheden op bij het slijpen van de vrijloopvlakken. Beter is het daarom een doorgefreesd oplegvlak toe te passen (figuur 15.4).

Wordt met een triplé gewerkt, dan kiest men plaatje en uitsparing even groot, terwijl men de triplé iets laat uitsteken. Verder is het aan te bevelen de radius van de

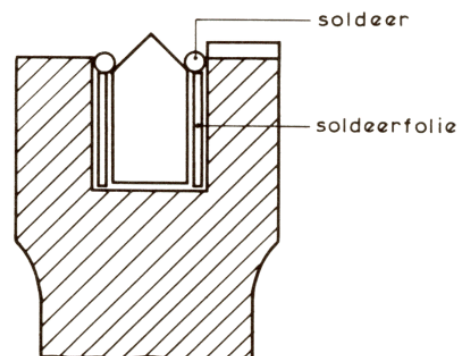


figuur 15.4 Doorgefreesd oplegvlak

schacht kleiner te kiezen dan van het plaatje, om van goed aanliggen te zijn verzekerd (figuur 15.5). Bij het solderen van een hardmetaal plaatje in een sleuf, zoals bij steenboren, moet er voldoende ruimte zijn tussen het plaatje en de wanden, om het soldeer of de soldeerfolie te kunnen aanbrengen. Stukjes soldeer in de vorm van draad of strip kunnen boven op de soldeernaad worden gelegd (figuur 15.6).



figuur 15.5 Afrondingen van plaatje en schacht



figuur 15.6 Naadvorm bij een steenboor

15.4.2 Voorbehandeling van de oppervlakken

De sinterhuid van het hardmetaal moet men verwijderen door licht te slijpen of te stralen met siliciumcarbide. Kort voor het solderen reinigt men de soldeervlakken met bijvoorbeeld tetrachloorkoolstof, trichloor-ethyleen organische oplosmiddelen zoals aceton of alcohol, of met een alkalisch ontvettingsmiddel. Daarna goed spoelen met demi-water.

15.5 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer

Bij de keuze van het soldeer moet men rekening houden met de temperatuur en druk die bij het verspanen kunnen optreden.

Koperhardsoldeer

Deze solderen zijn opgenomen in groep H3 (hoofdstuk 3). Niet aan te bevelen zijn de fosforhoudende typen CU 104, CU 201 en CU 202 vanwege de kans op brosheid aan de staalzijde bij een hardmetaal-staal verbinding. De smeltemperatuur bedraagt ongeveer 1100 °C.

Voordelen:

- ▶ hoge drukken en temperaturen zijn toelaatbaar;
- ▶ ten opzichte van zilverhardsolderen met een hoog smeltpunt heeft koperhardsoldeer een betere elasticiteit.

Nadelen:

- ▶ door de hoge soldeertemperatuur ontstaan relatief hoge soldeerspanningen;
- ▶ de energiekosten zijn hoog door de langere soldeertijd.

Koperzinkhardsoldeer

Van groep H4 (hoofdstuk 3) worden de legeringen gebruikt met ongeveer 60% koper. Solderen met een hoger zinkgehalte dan 40% dient men niet toe te passen. In de handel zijn ook niet-genormeerde solderen voor hardmetaal verkrijgbaar zoals bijv. B-Cu48ZnNiSi 890-920. De soldeertemperatuur bedraagt ongeveer 950 °C, terwijl er ook hoger smeltende solderen zijn, zoals bijvoorbeeld B-Cu86MnNi 970-990 en B-Cu87MnCo 980-1030.

Voordelen:

- ▶ betrekkelijk hoge temperaturen zijn toelaatbaar;

Nadelen:

- ▶ door de hoge soldeertemperatuur ontstaan relatief hoge soldeerspanningen;
- ▶ vrij hoge energiekosten.

Zilverhardsolderen

Van groep H5 (hoofdstuk 3 tabel 3.6) worden hoofdzakelijk toegepast de nrs. AG102, AG351, AG402, AG502 en AG503. In de handel zijn ook nog niet-genormeerde solderen voor hardmetaal verkrijgbaar zoals bijvoorbeeld B-Ag64CuInNiMn 730-780. De soldeertemperatuur varieert van 650...960 °C.

Voordelen:

- ▶ de lagere temperatuur vermindert het gevaar voor thermische spanningen;
- ▶ vrijwel alle soldeermethoden kunnen worden toegepast in het bijzonder het inductiefsolderen;
- ▶ goede ductiliteit; bovendien zijn bepaalde zilverhardsolderen verkrijgbaar als triplé.

Nadelen:

- ▶ de verbinding kan minder hoge temperaturen weerstaan;
- ▶ duurder soldeermateriaal.

Opmerking: Het zilverhardsoldeer met een smeltpunt van 960 °C (nr. AG501 van groep H5) is in feite de vervanging voor het koperzinkhardsoldeer (het hoge zinkgehalte hiervan geeft vaak moeilijkheden in een reducerende atmosfeer).

Zachtsolderen

Deze solderen komen alleen in aanmerking indien zeer lage eisen worden gesteld aan de sterkte van de verbinding. Vóór het zachtsolderen worden de soldeeropervlakken van het hardmetaal verkoperd of verzilverd.

15.6 Soldeermethoden

Verschillende soldeermethoden kunnen voor het solderen van hardmetaal worden toegepast.

SOLDEREN MET DE VLAM

Bij voorkeur wordt gebruikgemaakt van een zuurstof-acetyleenmengsel, omdat hiermee een snelle verwarming mogelijk is. De vlam wordt iets reducerend afgesteld, ter ondersteuning van het vloeimiddel. Het te solderen gereedschap wordt in een bankschroef geklemd en aan de onderzijde verwarmd, waarbij de vlam tot ongeveer de helft van de schachtlengte wordt heen en weer bewogen. De verwarming van een groter gedeelte van de schacht is belangrijk om na het solderen een langzame en gelijkmatige afkoeling te kunnen bereiken. Als de schacht de soldeertemperatuur heeft bereikt, d.w.z. als het soldeer begint uit te vloeien, wordt de vlam direct op het hardmetaal plaatje gericht, totdat deze dezelfde kleur heeft als de schacht. Met een aangepunt metaal staafje, dat eerst in de vlam is verwarmd, wordt het plaatje wrijvend aangedrukt. Deze wrijvende beweging bevordert de bevochtiging van de soldeervlakken en verdrijft eventuele gas- en vloeimiddelinsluitingen. Het plaatje wordt aangedrukt totdat het soldeer is gestold. Onmiddellijk na stolling van

het soldeer wordt het gereedschap afgekoeld onder een laag droge kalk, houtskoolpoeder of fijne kolenas. Bij grotere aantallen te solderen gereedschappen zal men een andere methode dan het vlamsolderen kiezen.

INDUCTIEFSOLDEREN

Deze methode wordt vooral door fabrikanten van hardmetalen gereedschappen gebruikt, die grote series gelijksoortige gereedschappen solderen. Bij het inductiefsolderen wordt onderscheid gemaakt tussen midden- en hoogfrequentsolderen. Hoogfrequentsolderen wordt toegepast bij de kleinere schachtafmetingen (tot ongeveer 400 mm² doorsnee). De opwarmingsnelheid is aan de machine regelbaar. Om zo weinig mogelijk energieverlies te krijgen, moet de spoel zo goed mogelijk om het te solderen gereedschap passen. Bij het inductiefsolderen wordt het soldeer vooraf aangebracht.

SOLDEREN IN OVENS

Bij het solderen in ovens wordt het soldeer, evenals bij het inductiefsolderen, vooraf aangebracht. De verwarmingstijd is meestal langer dan bij de voorgaande methoden, zodat meer oxidatie kan optreden. Dit kan worden tegengegaan door vooraf wat extra droog vloeimiddel toe te voegen, bij het solderen in kamerovens de brander iets reducerend af te stellen, of te werken in een beschermende gasatmosfeer of in vacuüm.

Het hardmetaal wordt met het soldeermateriaal op de schacht vastgebonden door middel van chroom-nikkel-draad, waarbij elke wikkeling apart wordt vastgedraaid. Bij serieproductie van gesoldeerde gereedschappen wordt ook gebruik gemaakt van automatische doorloopovens. Deze worden elektrisch verhit. Door het continue karakter van dit proces is de soldeertijd per stuk gering, waarbij toch een rustige en gelijkmatige verhitting wordt verkregen.

15.7 Algemene richtlijnen

Kort samengevat zijn de richtlijnen voor het solderen van producten van hardmetaal (figuur 15.6):

- ▶ de soldeervlakken moeten goed vlak en niet te glad zijn;
- ▶ zo mogelijk maar aan één vlak solderen; anders de opstaande kanten zo laag mogelijk houden (ongeveer 1/3 van de plaatdikte);
- ▶ de soldeervlakken goed ontvetten en schoonmaken;
- ▶ de gewenste verhouding van hardmetaaldikte en schachtdikte bedraagt 1:3;
- ▶ afhankelijk van de hardmetaalsoort en de toepassing van het gereedschap het juiste soldeer kiezen, met het daarbij behorende vloeimiddel;
- ▶ de vlam van de brander (ook bij ovens) iets reducerend afstellen;
- ▶ zo gelijkmatig mogelijk verwarmen;
- ▶ juiste vloeitijd aanhouden (30...60 s);
- ▶ bij het solderen zo mogelijk tijdens het vloeien het hardmetaal licht aandrukken;
- ▶ het gesoldeerde werkstuk langzaam laten afkoelen.

15.8 Nabehandeling en controle

Vloeimiddelresten moeten grondig worden verwijderd na afloop van het solderen ter vermindering van corrosie. Controle op hechting van het soldeer kan door middel van visueel onderzoek en ndo-technieken (radiografisch, ultrasoononderzoek) worden uitgevoerd. Belangrijk is de controle op kromtrekken bij hardmetaal-staalverbindingen.

Hoofdstuk 16

Keramik *)

16.1 Inleiding

Het toenemende gebruik van keramische materialen voor industriële toepassingen is te danken aan hun goede isolerende eigenschappen, alsmede de uitstekende eigenschappen bij hoge temperaturen. Het komt hierbij veelvuldig voor dat deze materialen verbonden moeten worden aan een metaal.

De belangrijkste keramische materialen zijn: steatiet en de aluminiumoxiden.

Steatiet wordt veel toegepast voor elektronische onderdelen, vanwege de goede sterkte en de betrekkelijk lage kosten.

Aluminiumoxiden worden toegepast waar hogere eisen worden gesteld en als duurdere materialen toelaatbaar zijn. De elektrische eigenschappen zijn aanzienlijk beter dan van steatiet.

Daarnaast zijn siliciumnitriden, siliciumcarbiden en zirkoniumoxiden eveneens belangrijke keramische materialen. Siliciumnitriden en -carbiden vinden vooral toepassing in constructies die aan hoge temperaturen en agressieve milieus worden blootgesteld bijvoorbeeld in automotoren. Zirkoniumoxiden, vooral de partieel gestabiliseerde typen (PSZ) worden toegepast vanwege hun ductiel gedrag o.a. in messen, zuigerveren e.d.

16.2 Materiaalcombinaties en eigenschappen

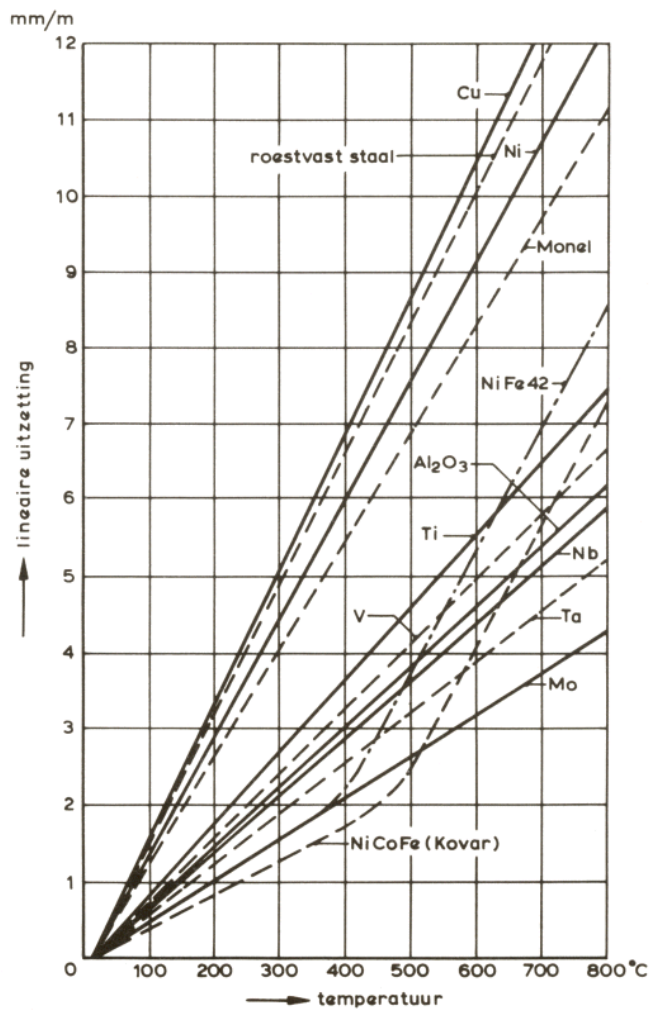
De keramische materialen worden niet bevochtigd door de soldeerlegeringen. Het vloeibare soldeer trekt zich samen op het keramische materiaal (ontvochtiging). Het keramiek moet daarom eerst worden voorzien van een metalen hechtlaag. Een ander probleem is het grote verschil van de uitzettingscoëfficiënten van keramisch materiaal en de gebruikelijke metalen. Om een goede verbinding te verkrijgen moeten de uitzettingscoëfficiënten ongeveer gelijk zijn (figuur 16.1). Een metaal dat deze eigenschap bezit is Kovar, ook bekend als Fernico, bestaande uit 29% nikkel, 17% cobalt en 54% ijzer. Een voorbeeld van een keramiek-metaalverbinding wordt in figuur 16.2 gegeven.

16.3 Voorbewerking

Aangezien keramisch materiaal beter tegen druk dan tegen trekspanning bestand is, moet, voor zover mogelijk, het keramische deel in het metalen deel worden geplaatst. Wordt bij een dergelijke constructie Kovar voor het metalen deel gebruikt, dan zal dit na het solderen druk uitoefenen op het keramisch materiaal. Kovar heeft namelijk een grotere uitzetting bij hogere temperaturen.

Als het metalen deel binnen het keramische materiaal wordt geplaatst, dan moet de spleetbreedte zodanig worden gekozen, dat deze groot genoeg is om de uitzetting van het metaal te kunnen opvangen. In dit geval moet het soldeer een bepaalde minimale dikte bezitten om weerstand te kunnen bieden aan de krimpspanningen die tijdens het afkoelen ontstaan.

Behalve het keramische materiaal moet soms ook het metalen deel worden voorbehandeld. Kovar dient vóór het solderen spanningsvrij te worden gegloeid.



figuur 16.1 Lineaire uitzetting van enkele metalen, metaallegeringen en aluminiumoxide (keramiek)



figuur 16.2 Voorbeeld van keramiek-metaalverbinding, een z.g. isolatiestuk (foto Brazetec)

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

16.4 *Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer*

De keuze van het soldeer wordt bepaald door het fabricageproces en de gebruiksomstandigheden. Zo moet bijvoorbeeld voor vacuümtoepassingen het soldeer vrij zijn van bestanddelen met een hoge dampspanning, zoals zink, cadmium en lood. Bovendien moet het soldeer een voldoende hoog smeltpunt bezitten om weerstand te kunnen bieden tegen deformatie, spanningen en thermische behandelingen tijdens het verdere fabricageproces. Een soldeer dat aan deze eisen voldoet en vaak wordt toegepast is het eutectische zilverkoperhardsoldeer (72% zilver, rest koper). Dit soldeer bevochtigt de meeste metalen en legeringen zeer goed; voor de meeste toepassingen is de dampspanning van de componenten voldoende laag; het smeltpunt is meestal voldoende hoog. Ook worden zilverkoperpalladium-, goudkoper- en goudnikkel-solderen toegepast (zie groepen H7 en H8, hoofdstuk 3). Voor het zachtsolderen wordt gebruik gemaakt van een reeds met koper of zilver verzadigd zachtsoldeer om ervoor te zorgen, dat de betrekkelijk dunne metaallaag op het keramische materiaal niet wordt opgelost.

16.5 *Soldeermethoden*

Keramisch materiaal wordt in bepaalde gevallen gesoldeerd in ovens met een reducerende atmosfeer of in vacuüm. Voor de verbinding van keramisch materiaal aan metaal zijn verschillende methoden ontwikkeld:

► **Metalliseren**

Pasta's van zilver, goud, platina en andere edele metalen kunnen worden gebruikt om het keramische materiaal van een metallische laag te voorzien. Deze pasta's bevatten naast een organische binder meestal nog een anorganische toevoeging (oxiden, glasvloeimiddel), die de hechting met de keramiek bevordert. De pasta wordt bijvoorbeeld met een penseel, of door middel van spuiten of zeefdrukken op het keramische materiaal aangebracht, waarna een warmtebehandeling onder normale atmosferische omstandigheden plaatsvindt. Na de warmtebehandeling wordt een gemakkelijk soldeerbare metaallaag verkregen. Deze methode is gemakkelijk toe te passen, omdat geen ovens met een beschermende atmosfeer zijn vereist.

► **Actief metaalmethode**

Bij deze werkwijze wordt gebruik gemaakt van gevormd soldeer, dat een actief metaal zoals titaan of zirkonium bevat. Het soldeer wordt tussen het keramische en het metalen deel geplaatst, waarna in vacuüm wordt verhit. De soldeerlegering vormt een verbinding met het metaal, terwijl het actieve metaal een reactie tot stand brengt met het keramische materiaal, waardoor een verbinding met het soldeer ontstaat.

► **Molybdeen-mangaan methode**

Deze methode wordt zeer veel gebruikt voor elektronische toepassingen. Een dunne laag (10 tot 50 μm) van een fijn gemalen molybdeen-mangaan mengsel in suspensie wordt op het keramische materiaal aangebracht. Vervolgens vindt een warmtebehandeling plaats in een waterstof of andere reducerende atmosfeer bij ca. 1500 °C.

De aldus verkregen metallische laag wordt vernikkeld of verkoperd, waardoor een goede bevochtiging door het soldeer mogelijk wordt.

16.6 *Nabehandeling en controle*

Gesoldeerde keramiek verbindingen behoeven in het algemeen geen nabehandeling. Visuele inspectie zal altijd wor-

den uitgevoerd, terwijl lekdichtheidsonderzoek afhankelijk van de geometrie kan worden toegepast. Voorts is ndo soms mogelijk aan de hand van radiografisch of ultrasoononderzoek (akoestische microscopie).

Hoofdstuk 17

Andere hoogsmeltende metalen *)

17.1 Inleiding

De hiervoor behandelde metalen zijn de meest toegepaste. In het kader van deze voorlichtingspublicatie voert het te ver om alle bestaande metalen en legeringen te behandelen. Besloten wordt daarom met enkele aanwijzingen voor de metalen molybdeen en tantaal. Voor metalen als wolfram en niobium wordt verwezen naar VM 82 "Hoogtemperatuursolderen".

17.2 Molybdeen

17.2.1 Eigenschappen

Ongelegeerd molybdeen rekristalliseert bij ongeveer 1175 °C. Door de toevoeging van legeringselementen, zoals titaan en zirkonium, wordt de rekristallisatietemperatuur verhoogd.

Molybdeen begint reeds bij ca. 350 °C te reageren met zuurstof. Hierbij ontstaat MoO₃, dat met MoO₂ een laag smeltend eutecticum vormt. De reactie met stikstof vindt pas plaats boven 1000 °C, terwijl molybdeen tot het smeltpunt (2620 °C) bestand is tegen waterstof. Om deze reden wordt molybdeen bij voorkeur gesoldeerd in argon, waterstof of vacuüm.

17.2.2 Voorbewerking

De reiniging van het oppervlak dient onmiddellijk vóór het solderen plaats te vinden. De reiniging kan zowel mechanisch (stralen, schuren, slijpen) als chemisch (beitsen) plaats vinden.

De volgende beitsbaden worden met succes toegepast:

- ▶ 95% H₂SO₄, 4,5% HNO₃, 0,5% HF, waaraan toegevoegd Cr₂O₃ (18,8 gram/liter);
- ▶ 10% NaOH, 5% KMnO₄, 85% H₂O, badtemperatuur: 60...80 °C, badtijd: 5...10 min;
- ▶ 15% H₂SO₄, 15% HCl, 70% H₂O, waaraan toegevoegd chroomzuur (6...10 gew. % per volume-eenheid).

17.2.3 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer

Zilverhardsolderen kunnen met de gebruikelijke vloeimiddelen met een licht reducerende zuurstof-acetyleen vlam worden gebruikt (bij voorkeur zilverhardsolderen toepassen met een zilveragehalte ≥ 44% ; zie hoofdstuk 3 groep H5). Indien het solderen zorgvuldig geschiedt, wordt de ductiliteit van het molybdeen niet nadelig beïnvloed.

De soldeerbaarheid kan worden verbeterd door het molybdeen te verkoperen of te vernikkelen, waarna een diffusiebehandeling gedurende enige minuten in een waterstof-atmosfeer bij 1000 °C moet worden uitgevoerd.

Voor het solderen in een argonatmosfeer wordt o.a. gebruik gemaakt van de soldeermaterialen:

- ▶ 55 % Co, 20% Cr, 15% W en 10% Ni (smeltpunt 1390 °C), ook geschikt voor vacuüm;
- ▶ 80% Ni, 14% Cr en 6% Fe (smeltpunt 1425 °C).

Bij het solderen in waterstof of in vacuüm wordt gebruik gemaakt van:

- ▶ CuNi-legering als hardsoldeer (bijv. CU105 van groep H3, hoofdstuk 3);
- ▶ AuNi hardsoldeer (nrs. AU 105 en AU 106 van groep H8, hoofdstuk 3);
- ▶ Ag75Pd20Mn5 hardsoldeer met smelttraject

- 1000-1120 °C (nr. PD 202 van groep H7, hoofdstuk 3);
- ▶ Ag64Pd33Mn3 hardsoldeer met smelttraject 1180-1200 °C;
- ▶ zuivere metalen, zoals platina (smeltpunt 1773 °C) en rhodium (smeltpunt 1970 °C).

17.2.4 Soldeermethoden

Als soldeermethoden kunnen worden genoemd het vlamsolderen en het ovensolderen in een waterstof- of argonatmosfeer, terwijl ook het solderen in vacuüm wordt toegepast.

17.3 Tantaal

17.3.1 Eigenschappen

Tantaal heeft evenals wolfram een hoog smeltpunt (3000 °C).

Afhankelijk van de grootte van de koude deformatie rekristalliseert zuiver tantaal bij ca. 1200 °C.

Door de toevoeging van legeringselementen kan deze rekristallisatietemperatuur zowel hoger als lager komen te liggen.

Reeds bij betrekkelijk lage temperaturen worden alle gasen, behalve de edelgasen, door het tantaal opgenomen, waardoor het materiaal bros wordt. Indien bijvoorbeeld tantaal aan de lucht wordt verhit, bestaat reeds bij een temperatuur van ongeveer 250 °C het gevaar dat het materiaal bros wordt door gasopname.

17.3.2 Voorbewerking

Voor het verwijderen van vuil en oxiden wordt aanbevolen om gedurende ½...2 minuten, bij kamertemperatuur, te beitsen in het volgende beitsbad:

55 vol.% H₂SO₄, 25 vol.% HNO₃ en 20 vol.% HF.

Onmiddellijk na het reinigen wordt de taai oxidehuid weer op het tantaal gevormd. Om deze reden wordt het oppervlak wel verkoperd of vernikkeld, waarna een diffusiebehandeling bij een druk van $133,3 \times 10^{-3} \text{ N/m}^2$ ($1,33 \times 10^{-3} \text{ mbar}$) plaatsvindt bij ongeveer 1200 °C.

17.3.3 Soldeer, vloeimiddel en atmosfeer

Voor het solderen van tantaal wordt o.a. gebruik gemaakt van zuivere metalen zoals platina, palladium, niobium en nikkel. Een bezwaar kunnen de zeer hoge smeltemperatures zijn (resp. 1790, 1539, 2468 en 1452 °C). Ook worden solderen op nikkelbasis toegepast, zoals:

- ▶ NiCrSiB hardsoldeer (nrs. NI 101, NI 1A1 en NI 102 van groep H6, hoofdstuk 3);
- ▶ NiCrSi hardsoldeer (nr. NI 105 van groep H6, hoofdstuk 3).

Van de goudhardsolderen kunnen de goud-koperhardsolderen worden toegepast (goudgehalte minder dan 40%; nrs. AU 103 en AU 104 van groep H8 hoofdstuk 3).

De zilverhardsolderen kunnen niet worden gebruikt, omdat zij het tantaal bros maken.

Als het oppervlak verkoperd of vernikkeld is, kan op normale wijze zowel zacht- als hardgesoldeerd worden. Men dient er echter wel voor te zorgen dat geen oververhitting plaatsvindt.

Het gevaar bestaat dat tin afkomstig van tinsoldeer door het koper diffundeert en het tantaal bros maakt.

17.3.4 Soldeermethoden

Vanwege de gevoeligheid voor niet-inerte gassen wordt tantaal uitsluitend in afgesloten installaties in vacuüm of in een argon- of heliumatmosfeer gesoldeerd.

*) Zie ook VM 82 - "Hoogtemperatuursolderen"

Hoofdstuk 18

Referenties

Literatuur

- Astrom, A.: A study on the effect of nitrogen reflow soldering in a lead-free process, Toepassingen voor de elektronica industrie, (2006) Hoek Loos.
- "Brazing Handbook", 4th ed. Publication of the AWS, (1991) Miami, Florida, ISBN 0-87171-359-4.
- Davids, A.: "Handboek van de Fijnmechanische Techniek", deel 7: "Technologieën", hoofdstuk 3, van der Hoek, F.: "Solderen", blz. 104...166; Philips Technische Bibliotheek, Kluwer, Deventer (1968).
- Dorn, L. u.a.: "Hartlöten, Grundlagen und Anwendungen", Band 146, Sindelfingen, expert verlag (1985), ISBN 3-88508-963-7.
- Draper, C. R.: "The production of printed circuits and electronics assemblies", Robert Draper Ltd., Teddington (1969).
- Fenton, E. A. (technical secretary): "Soldering Manual", prepared by AWS Committee on Brazing and Soldering, American Welding Society, New York.
- Fletcher, N. J.: "Vacuum brazing", Mills & Boon Ltd., London.
- Harvey, D. J.: "The wetting of metals by lead alloys - Adhesion and cohesion", Proceedings of the Symposium on adhesion and cohesion, Gen. Mot. Res. Lab. Warron Michigan 1961; Elseviers Publishing Co. Amsterdam, London, New York (1962), blz. 146...158.
- Humpston, G., D.M. Jacobson: Principles of Soldering and Brazing, ASM International ISBN 0-87170-462-5.
- Juul, P. et al: Survey on Lead Free Solder Systems, Environmental Project No. 778 (2003), Danish Environmental Protection Agency.
- Klein Wassink, R.J.: "Soldering in Electronics", 2nd Edition, (1989), Electrochemical Publications Ltd., Ayr Scotland: ISBN 090115024X.
- Kohl, W. H.: "Handbook of Materials and Techniques for vacuum devices", Reinhold Publishing Corporation, New York, Amsterdam, London.
- Langeveld, P., G.Schouten: "Handsoldeer-Techniek", febr.1985; Stichting Leermiddelen VEV, Nijkerk ISBN 9065251359.
- Lashko, N. F. & Lashko-Avakyany, S. V.: "Brazing and soldering of metals", Israel program for Scientific Translations, Jerusalem (1961).
- Lewis, W. R.: "Notes on soldering", 4th ed. (1961 - reprinted 1968), TRI 93*). "Weichlöt-Handbuch", Vertaling van het Zinn-Informationsburo, Dusseldorf.
- Mahler, W. & Zimmermann, K. F.: "Hartlöten von Kupfer und seinen Legierungen", Deutscher Verlag für Schweisstechnik (DVS) GmbH, Dusseldorf (1966).
- Manko, H. H.: "Solders and soldering", McGraw-Hill, New York, Toronto, London (1964).
- "Metals Handbook", Vol. 6: "Welding and brazing", American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 44073.
- Müller, W.: "Metallische Lotwerkstoffe, Arten, Eigenschaften, Verwendung", 1.Aufl. Dusseldorf, Dt. Verlag für Schweisstechnik, DVS-Verlag (1990), ISBN 3-87155-125-2.
- Peaslee, R.L. : "Brazing Footprints", Wall Colmonoy Corporation (2003) ISBN 0-9724479-0-3.
- N.N.: DIN-DVS Handbuch196 Beuth DVS Verlag (1997) ISBN 3-410-13524-3.
- Roberts, P.M.: "Industrial Brazing Practice" CRC Press, Boca Raton, Florida (2004).
- Schmetterer, C. et al: Database for properties of lead-free solder alloys, February 2006, Univ. of Vienna, COST 531 & ELFNET project.
- Schwartz, M.M: "Brazing", 2nd ed., ASM International (2003), ISBN 0-87170-784-5.
- Schwartz, M.M: "Modern Metal Joining Techniques, John Wiley & Sons Inc. (1969) New York, ISBN 471 766 151.
- Sheward, G.: "High temperature brazing in controlled atmospheres, Pergamon Press Ltd (1985) Oxford., ISBN 0-08026169-8.
- Thwaites, C.J.: "Soft Soldering Handbook", Int. Tin Research Institute, ITRI Publication 533, Greenford Middlesex,(1982).
- Wallace, E.: "Erfahrungen beim Hochtemperaturlöten; Beispiele von Hochtemperaturlötungen", Schweisstechnik, Band 46.
- Werner, Dr.: "Materials of high vacuum technology", Vol. 1:

"Metals and metalloids", Pergamon Press o.a. in London, Paris, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin.

- Zimmermann, K. F.: "Hartlöten: Regeln für Konstruktion und Fertigung", Deutscher Verlag für Schweisstechnik (DVS) GmbH, Dusseldorf (1966).

Normen

- NEN 2200 (1965) "Naadloze koperen pijpen met nauwe toleranties".
- NEN 2541 (1967) "Puntstukken voor capillaire soldeerverbinding voor gasleidingen".
- NEN 2543 (1967) "Puntstukken met soldeereind voor gasleidingen".
- NEN 2546 (1967) "Puntstukken voor capillaire soldeerverbinding voor waterleidingen".
- NEN 2549 (1968) "Draadstukken voor capillaire soldeerverbinding voor driedelige koppelingen in gas- en waterleidingen".
- NEN-EN-ISO 9453:2005 Ontw. "Zachtsoldeerlegeringen: Chemische samenstellingen en leveringsvormen".
- NEN-ISO 9454-1:1994 "Vloeimiddelen voor zachtsolderen: Indeling en eisen; Deel 1: Indeling, etikettering en verpakking".
- NEN-EN-ISO 9454-2:2000 en "Vloeimiddelen voor zachtsolderen: Indeling en eisen; Deel 2: Prestatie-eisen".
- NEN-EN 1044:1999 (inmiddels ook uitgekomen als NEN-EN 1044:2006:Ontw.en) "Hardsolderen: Toevoegmaterialen".
- NEN-EN 1045:1997 "Hardsolderen: Vloeimiddelen voor hardsolderen; Indeling en technische leveringsvoorwaarden".
- NEN-EN 3677:1995 "Toevoegmaterialen voor zacht- en hardsolderen - Aanduiding".
- NEN-EN 12797:2000/A1:2004 "Hardsolderen: Destructieve beproeving van hardgesoldeerde verbindingen".
- NEN-EN 12799:2000/A1:2004 "Hardsolderen: Niet-destructief onderzoek van hardgesoldeerde verbindingen".
- NEN-EN 13133:2000 "Hardsolderen: Kwalificeren van de soldeerder".
- NEN-EN 13134:2000 "Hardsolderen: Goedkeuring van de procedure".
- NEN-EN 14324:2004 "Hardsolderen: Richtlijnen voor het toepassen van hardgesoldeerde verbindingen".
- NEN-EN-ISO 18279:2004 "Hardsolderen: Onvolkomenheden in hardgesoldeerde verbindingen".
- NEN-ISO 2553:1994 "Las- en soldeerverbindingen; Symbolische weergave op tekeningen".
- NEN-EN 746-5:2000 "Industriële installaties voor warmtebehandelingsprocessen; Deel 5: Bijzondere veiligheidseisen voor zoutbadinstallaties".

KIWA Beoordelingsrichtlijnen (BRL)

- K 623 "Hulpstukken voor soldeer- en/of schroefverbindingen aan koperen pijpen".
- K 624 "Vloeimiddelen en vertinningspasta's voor zachtsolderen van capillaire verbindingen van koper en koperlegeringen".

Buitenlandse normen

- DIN ISO 857-2 (2007) Schweißen und verwandte Prozesse-Begriffe- Teil 2: Weichlöten, Hartlöten und verwandte Begriffe (ISO 857-2:20050).
- DIN 1707-100 (2001) "Weichlote für Schwermetalle; Zusammensetzung, Verwendung, technische Lieferformenbedingungen".
- DIN 1900 (Entwurf 2006) "Anforderung und Qualifizierung von Lötverfahren für metallische Werkstoffe- Verfahrensprüfung für das Lichtbogenlöten von Stählen".
- DIN 1912-4 (1981) "Zeichnerische Darstellung: Schweißen, Löten: Begriffe und Benennungen für Lötstöße und Lötnahte".
- DIN 8514 (2006) "Lötbarkeit".
- DIN 8522 (1980) "Fertigungsverfahren der Autogentechnik; Übersicht".
- DIN 8505 (1969) "Löten metallischer Werkstoffe; Begriffe, Benennungen".
- DIN 8511 "Flussmittel zum Löten metallischer Werkstoffe"; . Blatt 1 (1967) "Flussmittel zum Hartlöten von Schwermetallen" . Blatt 2 (1967) "Flussmittel zum Weichlöten von Schwermetallen" . Blatt 3 (1967) "Flussmittel zum Hart- und Weichlöten von Leichtmetallen".
- DIN 8514 (2006) "Lötbarkeit".
- DIN 8522 (1980) "Fertigungsverfahren der Autogentechnik; Übersicht".
- DIN 8525 "Prüfung von Hartlötverbindungen, Spaltlötverbindungen"; . Blatt 1 (1965) "Zugversuch"; . Blatt 2 (1965) "Scherversuch".

- DIN 8526 (1977) "Prüfung von Weichlötverbindungen; Spaltlötverbindungen, Scherversuch, Zeitstandsscherversuch".
- DIN 32506-1 bis 4 (1981) "Lötbarkeitsprüfung für das Weichlöten".
- DIN 32513-1 (2005) "Weichlotpasten - Teil 1: Zusammensetzung, Technische Lieferbedingungen".
- DIN 65228 (2005) "Luft- und Raumfahrt- Prüfung von Hartlöt- Hartlötmetallischer Bauteilen".
- DIN EN 1326 (1996) "Gasschweißgeräte - Kleingeräte zum Gaslöten und -schweißen".
- DIN EN 29454-1(1994) "Flussmittel zum Weichlöten; Einteilung und Anforderungen; Teil 1: Einteilung, Kennzeichnung und Verpackung (ISO 9454-1:1990)".
- DIN EN 29455-1,5,811,14 (1994) "Flussmittel zum Weichlöten; Prüfverfahren".
- DIN EN ISO 9453 (2006) "Weichlote; Zusammensetzung und Lieferformen (ISO 9453:2006)".
- DIN EN 9454-2(2000) "Flussmittel zum Weichlöten; Einteilung und Anforderungen; Teil 2: Eignungsanforderungen (ISO 9454-2:1998)".
- DIN EN 9455-2, 3, 6, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 17 (1994) "Flussmittel zum Weichlöten; Prüfverfahren".
- DIN EN ISO 10564 (1997) "Zusätze zum Weich- und Hartlöten - Methoden zur Probenahme von Weichloten für die Analyse (ISO 10564:1993)".
- DIN EN ISO 12224-1 (1998) "Massive Lotdrähte und flussmittelgefüllte Röhrenlote - Festlegungen und Prüfverfahren - Teil 1: Einteilung und Anforderungen (ISO 12224-1:1997)".
- DIN EN ISO 12224-2(1999) "Flussmittelgefüllte Röhrenlote - Festlegungen und Prüfverfahren - Teil 2: Bestimmung des Flussmittelgehaltes (ISO 12224-2:1997)".
- DIN EN ISO 12224-3 (2003) "Massive Lotdrähte und flussmittelgefüllte Röhrenlote- Anforderungen und Prüfverfahren -Teil 3: Bestimmung der Flussmittelwirkung von flussmittelgefüllten Röhrenloten mit der Benetzungswaage (ISO 12224-3:2003)".
- ASTM B32-70 "Specification for solder metal".
- ASTM B260-62T / AWS A5.8-62T "Specification for brazing filler metal".
- AWS 2.4 "Standard Symbols for Welding, Brazing and Nondestructive Examination".
- AWS A.30 "Standard Welding Terms and Definitions, Including Terms for Brazing Soldering, Thermal Spraying and Thermal Cutting".
- AWS A5.8/A5.8M "Specification for Filler Metals for Brazing and Braze Welding".
- AWS A5.31 "Specification for Fluxes for Brazing and Braze Welding".
- AWS B2.2 "Standard for Brazing Procedures and Performance Qualification".
- AWS C3.2M/C3.2 "Standard Method for Evaluating the Strength of Brazed Joints".
- AWS C3.3 "Recommended Practice for the Design, Manufacture and Examination of Critical Brazed Components".
- AWS C3.4 "Specification for Torch Brazing".
- AWS C3.5 "Specification for Induction Brazing".
- AWS C3.6 "Specification for Furnace Brazing".
- AWS C3.7 "Specification for Aluminium Brazing".
- AWS C3.8 "Recommended Practice for Ultrasonic Inspection of Brazed Joints".

Website van European Association for Brazing and Soldering (EABS 5 Kent Drive, Congleton, Cheshire, England, CW12 1SD): www.brazingandsoldering.org

Trefwoordenregister

- Aantasting: 37, 38, 66, 67, 68
 akoestische emissie: 46
 afdichting: 17, 67
 affiniteit (oxiden): 19
 afkoelcurve: 71
 afkoelen/afkoeling: 8, 16, 19, 38, 53, 54, 66, 68, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79
 afmetingen (werkstuk): 12, 15, 58, 69; 72
 afschrikken: 38, 53, 54, 75
 afspoelen: 54
 agressiviteit (vloeimiddel): 35, 37, 38
 alloys, super -: 19
 aluminiumlegeringen: 30, 59, 60, 61
 aluminiumoxide: 24, 79
 anodiseren: 59
 atmosfeer: 8, 10, 12, 19, 52, 57, 60, 64, 68, 69, 71, 75, 77, 80, 81
 atmosfeer, beheerste -: 7, 8, 9, 10, 16, 17, 19, 20, 45, 58, 69, 72
 atmosfeer, beschermende -: 8, 10, 54, 61, 78, 80
 atmosfeer, oxiderende -: 49, 56, 62
 atmosfeer, reducerende -: 8, 12, 16, 17, 18, 19, 52, 57, 66, 68, 69, 78, 80
 autogeen lassen: 7, 9
 automatisering: 20, 23, 48
- Badoven: 22
 badtemperatuur: 52, 81
 badvulling: 22
 bediening: 16, 20
 bedrijfsomstandigheden: 40, 58, 69
 bedrijfstemperatuur: 26, 28, 40, 71
 beitsbad: 52, 81
 beitsen: 36, 37, 38, 49, 52, 53, 54, 64, 68, 81
 belasting, langdurige -: 51, 56
 belasting, statische -: 40, 67
 benzinebrander: 14
 beoordeling, (zie ook inspectie): 46, 55
 beschermgas: 69
 bevochtigen/bevochtiging: 7, 8, 9, 10, 12, 23, 24, 26, 28, 35, 37, 51, 53, 57, 60, 61, 64, 66, 68, 71, 75, 77, 78, 80
 bevochtigingshoek: 7, 8
 bevochtigingstemperatuur: 10
 bewerkbaarheid: 40
 bewerking, verspanende -: 13, 74
 bewerkingsgroeven: 44, 52, 68
 bewerkingstekens: 52
 bezettingsgraad: 13, 16, 22, 25
 blaasvorming: 60
 bout, solderen met de -: 12, 13, 14, 15, 28, 48, 58, 69, 74
 boutkop: 15
 bouttemperatuur: 14, 15
 brander: 8, 14, 15, 16, 41, 48, 60, 78
 brandgevaar: 14, 38, 48
 breuklast: 11
 brosheid: 54, 77
 brugvorming: 23
 buigspanning: 44, 76, 77
- Capaciteit: 13, 14, 15, 16, 20
 capillaire werking: 7, 8, 9, 22, 43, 52, 53, 74
 Carbiden, ontbinding van -: 71
 carbide-precipitatie,: 67
 carbide-uitscheiding: 12, 68
 circulatie, gedwongen -: 16, 22
 constructie (werkstuk): 40
 continusolderen: 14, 23
 controle: 13, 23, 45, 54, 55, 58, 63, 69, 72, 75, 78, 80
 corrosie (zie ook vloeimiddelresten); 8, 23, 36, 37, 38, 51, 54, 61, 67, 68, 69, 78
 corrosiebestandheid: 58, 61
 corrosiebestendig: 28
 corrosiegedrag: 66
 corrosiegevoelig (materiaal): 14
 corrosie, interkristallijne -: 12, 57, 61, 68
 corrosie, putvormige -: 61
 corrosievastheid: 40, 56, 57, 66, 67, 71
 corrosieweerstand: 67, 69
- Dampdruk: 13, 28
 dampspanning: 67, 80
 dampvorming: 69
 dauwpunt: 17, 18, 19, 58, 62, 64, 69
 deklaagmateriaal: 62
 delen, voorgevormde -: 10
 dichtheidsonderzoek: 72, 80
 diffusie: 8, 12, 19
 diffusiebehandeling: 81
 dikteverhouding: 76, 78
 dissociatie: 19
 doppelsolderen: 10, 12, 14, 22, 23, 36, 48, 58
 doorloopoven: 78
 dosering (soldeer): 16
 drukspanning: 77
 druppelvorming: 23
 ductiliteit: 12, 30, 77, 78, 81
 dunvloeibaarheid: 61, 68
- Edelgas: 17, 81
 eigenschappen: 12, 26, 28, 36, 37, 45, 51, 56, 60, 64, 66, 67, 68, 70, 71, 73, 76, 77, 79, 81
 eigenschappen, chemische -: 8, 51, 67, 71
 eigenschappen, fysische -: 8, 51, 56, 67, 71
 eigenschappen, mechanische -: 12, 17, 40, 52, 59, 60, 67, 69, 73, 74
 eigenschappen, metallurgische -: 51, 57, 67, 71
 elasticiteit: 76, 77
 elektroden: 21, 23, 48
 elektronica: 24, 28, 35, 50, 52
 elementen: 12, 13, 16, 19, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 33, 62, 66, 81
 energiekosten: 16, 20, 77, 78
 erosie: 12, 20, 58, 64
 etsen, anodisch -: 71
 evenwicht (oxidatiereductie): 18
 evenwichtstoestand (tijd-temperatuur): 8
 explosie(f): 19, 48, 61
 explosiegevaar: 23
- Factoren, economische -: 12, 13, 58
 factoren, technische -: 12: 40, 58, 73
 Fase, brosse -: 51, 64
 fase, vloeibare -: 57, 69
 flux (zie ook vloeimiddel): 10, 50, 73
 frequentie (wisselstroom): 19, 20, 21
- Gaas: 76
 Gasatmosfeer (zie ook atmosfeer): 8, 19, 78
 gasfluxsolderen: 16, 48
 gasgenerator, exothermische -: 17
 gas, inert -: 7, 13, 14, 48, 64
 (gas)opname: 64, 81
 gas, reducerend -: 7, 13, 14, 17, 19, 68, 72
 (gas)samenstelling: 8, 10, 16, 17
 gassen: 15, 17, 19, 23, 48, 64, 68, 81
 gasverwarming: 15
 gasvlam: 14
 gebreken aan het oppervlak: 46
 gebreken in de soldeerverbinding: 46
 gebruikstemperatuur: 56, 67
 geleiding, elektrische -: 67
 geleiding, thermische -: 67
 gietijzer: 8, 21, 56, 58, 70, 71, 72, 73
 giettoestand: 51
 giftigheid: 26, 30
 gloeien, spanningsarm -: 51, 52, 53, 54, 57, 67, 68, 71, 72
 golfsolderen: 13, 14, 23, 24, 49
 (grensvlak)aantasting: 67, 69
- Hardbaar: 66, 76
 hardheid: 52, 67, 75, 77
 hardmetaal: 8, 30, 73, 76, 77, 78
 hardsoldeer(soort): 23, 26, 28, 30, 38, 48, 49, 51, 54, 56, 57, 58, 60, 67, 69, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 80, 81
 hardsoldeervloeimiddel: 38, 50, 61
 hardsolderen: 7, 8, 9, 10, 14, 15, 37, 38, 41, 44, 49, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 64, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 74, 75
 harsvloeimiddel: 35, 37
 hechten/hechting: 7, 8, 9, 11, 23, 53, 71, 78, 80
 hechtlaag: 60, 79

- hersmelpunt: 58
 hittevastheid: 56
 hoogtemperatuursolderen: 7, 8, 9, 10, 13, 14, 28, 30, 44, 49, 56, 57, 61, 66, 68, 71, 72, 73, 75
 hulpmiddelen: 13, 61

 Indringdiepte: 19, 20, 21
 inductiefsolderen: 12, 13, 14, 19, 20, 36, 48, 58, 61, 62, 64, 74, 78
 inductiespoel (inductor): 19
 infraroodsolderen: 13, 14, 24, 25, 48
 inspectie: 13, 45, 46, 58, 69, 72, 80
 investering: 13, 16, 22, 24, 46, 61
 invloed op eigenschappen: 12, 17, 19, 51, 67, 68, 71, 74
 invloedsfactoren op uitvloeien: 7, 8

 Kameroven: 16, 78
 kerfwerking: 71
 keuring: 13, 45, 46, 58, 69, 72
 keuze van soldeermethode: 12, 19, 52, 58, 66, 69, 72, 73
 keuze van vloeimiddel: 37, 38, 52, 58, 61, 72
 klokoven: 16
 kogelen (soldeer): 16
 koperlegeringen: 15, 28, 30, 31, 36, 37, 38, 51, 52, 53, 54, 56, 58, 66, 70
 korrel, grove -: 53
 korrelgrens/kristalgrens: 13, 30, 57, 59, 61, 68
 korrelgrenscarbidevorming: 69
 korrelgroei: 67
 kosten, variabele -: 13
 kosten, vaste -: 13
 kostenvergelijking: 13
 kostprijs: 13, 28, 58, 69
 koude vervorming (deformatie): 53, 54, 57, 66, 81
 koudverstevigde: 12, 51, 53
 krimp (vervorming): 20, 76
 krimpspanning: 53, 54, 79
 krimpverschijnsel: 57
 kruip: 51, 56, 71
 kruipsterkte: 41, 67
 kwalificatie (procedure): 45, 58, 69
 kwaliteitsbeheersing: 45, 46

 Laagdikte: 57, 68, 76, 77
 lassen: 7, 9, 49, 56, 66, 70
 lassolderen: 7, 8, 9, 10, 71, 72
 legeren: 7, 58, 64, 66, 69
 legeringsvorming: 12, 13
 lekdetectie: 58, 69
 lektheid: 12, 13, 22, 55, 73, 80
 lekzoekmethoden: 46

 Maatvoering: 57, 68, 71
 magneetveld: 19
 mallen: 15, 17, 67
 materiaal, keramisch -: 79, 80
 materiaal, reactief -: 64
 materiaalcombinatie: 51, 56, 60, 64, 66, 67, 69, 70, 73, 75, 76, 79
 materiaalgroei: 71
 mechaniseren (soldeerproces): 16
 messingsorten: 51
 metaaloppervlak: 7, 8, 10
 metalen, koudverstevigde -: 12, 53
 metalen, veredelde -: 12
 metalliseren: 80
 methode, actief metaal -: 80
 methode, molybdeen-mangaan -: 80
 milieu, corrosief -: 51, 64, 67
 milieu, oxiderend -: 66
 milieu, vochtig -: 69
 molybdeen: 19, 66, 70, 80, 81

 Naad, gelassoldeerde -: 11
 naaddikte: 11
 naadvorm: 7, 40, 41, 45, 52, 57, 67, 68, 71, 77
 naadvulling: zie spleetvulling
 nabehandeling: 38, 45, 54, 58, 62, 63, 64, 69, 72, 75, 78, 80
 nadeel: 16, 17, 24, 28, 77
 naden, aantal -: 16

 nikkellegeringen: 31, 38, 56, 57, 58, 66, 70, 73

 Onderhoudskosten: 22
 onderzoek: 8, 45, 46, 58, 63, 69, 72, 75, 78, 80
 onderzoekmethoden: 46
 ontleden (vloeimiddel): 8, 35, 37
 ontmenging (soldeer): 13
 ontsteektemperatuur: 19
 ontvetting: 38, 52, 77
 oplosgloeien: 67, 69
 oplosmiddel: 36, 49, 60, 77
 oppervlaktebehandeling: 13
 oppervlaktegesteldheid: 40, 44
 oppervlaktelaag: 64
 oppervlakteruwheid: 30, 44, 52, 74
 oven, continu werkende -: 16
 oven, niet-continu werkende -: 16
 ovensolderen: 12, 13, 14, 16, 48, 61, 62, 68, 69, 74, 81
 ovens, solderen in -: 8, 12, 13, 16, 48, 58, 78
 oventemperatuur: 19
 overgangslaag: 51
 overlap: 21, 41, 44, 45, 51
 overlapverbinding: 40, 41, 55
 oververhitting: 16, 21, 30, 53, 57, 59, 62, 67, 72, 81
 oxidatie: 8, 10, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 69, 78
 oxidatiebestandheid: 28, 56, 58
 oxidatievastheid: 19, 40, 71
 oxide: 8, 12, 15 - 19, 23, 24, 37, 40, 56, 57, 58, 71, 72, 73, 80, 81
 oxidefilm: 8, 10, 16, 35
 oxidehuid: 19, 24, 53, 54, 59, 60, 61, 64, 66, 68, 69, 81
 oxiden, stabiliteit van -: 12, 19, 35, 58, 72

 Pasta: 20, 35, 37, 61, 80
 paneel (printed circuit board): 23, 24
 penetratie: 13, 23, 30, 57, 60, 67, 68, 69
 penetratie, interkristallijne -: 57, 67, 68, 69
 plateren: 60, 64
 pletbaarheid, (zie ductiliteit)
 poeder: 20, 35, 61
 pompinstallatie: 23
 poreusheid: 19, 73
 precipitatie, (zie uitscheiding)
 prentpaneel: 23, 24
 productiecapaciteit: 16
 proefstuk: 11, 63
 procedure-kwalificatie: 58, 69
 puntlassen: 21

 Reactieproduct: 52, 54
 reactiesolderen: 12, 60, 61
 reduceerbaarheid: 68
 reductie: 16, 18, 19
 reinigen: 17, 35, 38, 39, 52, 54, 71, 81
 reiniging: 13, 38, 81
 reiniging van het oppervlak: 81
 reinigingsmiddel: 13, 49
 rekristallisatietemperatuur: 51, 59, 81
 reparatie: 8, 25, 70
 reproduceerbaar: 16, 60
 richtlijnen: 49, 53, 54, 56, 70, 78
 rolbaanoven: 16
 röntgenen: 46, 75
 rookontwikkeling: 61
 ruwheid van het oppervlak: 8, 30, 44, 52, 57, 68, 71, 74

 Schachtoven: 16
 scheur gevoelig: 57, 68, 72, 76
 scheurvorming: 12, 52
 schuifsterkte: 11, 41, 46, 51, 56, 64, 65, 67, 71, 73
 sinteren: 73, 76
 sleepsolderen: 13, 23, 48
 smeersolderen: 61
 smeltlassen: 8, 11
 smeltpunt: 7, 26, 28, 30, 37, 54, 57, 59, 60, 61, 76, 77, 78, 80, 81
 smelttemperatuur: 7, 9, 13, 26, 28, 37, 67, 68, 70, 72, 76, 77, 81
 smelttraject: 13, 26, 28, 30, 31, 32, 34, 44, 59, 69, 73, 81
 smeltpuntverhoging: 57

soldeer, samenstelling van -: 13, 45
soldeerbaarheid: 59, 70, 81
soldeerbrosheid: 52, 53
soldeerbout: 14, 15, 48, 60
soldeercyclus: 35, 45, 58, 64, 69, 72
soldeerdraad: 35, 37, 77
soldeerfolie: 76, 77
soldeergolf: 23
soldeermethode: 9, 10, 12 - 16, 19 - 24, 37, 38, 45, 48, 52, 57, 58, 61, 62, 64, 67, 68, 69, 71, 72, 74, 76, 78, 80, 81
soldeernaad/-spleet: 12, 13, 16, 20, 30, 40, 44, 45, 46, 55, 57, 58, 67, 68, 69, 71, 75, 77
soldeernaaddikte (zie spleetbreedte)
soldeerplaats: 12, 14, 15, 16, 21, 23, 68, 71
soldeerprocedure: 45, 52, 57, 58, 71, 72
soldeerprocedurekwalificatie: 45
soldeerproces: 7, 8, 15, 16, 23, 25, 45, 57, 66, 67, 68, 73, 75
soldeersnelheid: 51
soldeersoort: 17, 26, 28, 30, 44, 49, 51 - 54, 56 - 58, 62, 65, 67- 69, 71, 72, 74, 75
soldeerstaaf: 15, 53
soldeertemperatuur: 7 - 10, 12 - 17, 19, 22, 25, 26, 28, 30, 31, 35 - 38, 40, 43, 44, 45, 51, 52, 57, 58, 61, 62, 65, 68, 69, 71, 72, 76, 77, 78
soldeertermen: 9
soldeertijd: 7, 8, 20, 21, 23, 73, 77, 78
soldeerverbinding: 13, 16, 24, 40, 43, 44, 45, 46, 51, 53, 55, 56, 57, 58, 61, 62, 64, 66, 67, 68, 71, 72, 73, 75, 76, 77
soldeervormstuk: 20
spanningen, inwendige -: 8, 57, 67, 68, 71
spanningen, thermische -: 52, 78
spanningscorrosie: 38, 52, 56, 57, 58, 67, 69
spanningstoestand: 7
specificatie: 45, 58, 69
spleet: 9, 10, 15, 16, 22, 23, 30, 40, 41, 43, 44, 52, 57, 68
spleetafmeting: 43
spleet (capillaire -): 52
spleetbreedte: 10, 11, 15, 43 - 45, 57, 67, 68, 71, 73, 74, 79
spleetoppervlak: 40, 57
spleetvormige ruimte: 7, 9, 40
spleetvulling: 13, 74
stabieleit (oxyde): 12, 19, 35, 58, 72
standtijd (vloeimiddel): 18, 35
steatiet: 79
sterkte: 8, 11, 12, 19, 28, 30, 43, 46, 56, 57, 58, 61, 64, 66, 67, 68, 71, 73, 77, 78, 79
sterkte, mechanische -: 28, 67, 73
stoom, oververhitte -: 19
stralen: 38, 45, 64, 71, 72, 77, 81
straling: 13, 25, 47, 48, 62
stroomsterkte: 21
structuur: 46, 52, 66, 73
structuur, beïnvloeding van -: 20

Taatheid: 67
tantaal: 19, 64, 76, 81
temperatuur, hoge -: 7, 8, 18, 19, 25, 30, 51, 68, 71, 75
temperatuur, kritische -: 8
temperatuurgebied: 12, 35, 67, 68
temperatuurgevoeligheid: 58
temperatuurverdeling: 43
termen: 9
thermodesolderen: 25
thermografie: 46
tinbad, ultrasoon -: 60
tijdsduur: 13, 21, 23, 38, 45, 51
titaanlegeringen: 64, 65, 66
toepassingsgebied: 8, 15, 17, 37, 64
toestand, zachtgegloeide -: 51
toestandsdiagram: 59
toevoegmetaal: 7, 8, 9, 10, 11
toevoer (soldeer): 15
toevoer (vloeimiddel): 15
transportband: 16
transportbandoven: 16, 74
transportkosten: 13
trekspanning: 41, 57, 76, 79
treksterkte: 11, 46, 51, 52, 61, 64, 67, 73
trillingen, ultrasone -: 24, 38
triplé: 76, 77, 78

Uitdampen: 13
uitgloeien: 53
uitscheiding: 12, 52, 54, 61, 66, 67, 68, 69
uitscheidingsharding: 52, 54
uitsparing: 76, 77
uitvalpercentage: 13
uitvloeien (soldeer): 7, 8, 10, 15, 35
uitvloeiensnelheid: 8
uitzettingscoëfficiënt: 43, 51, 52, 56, 66, 68, 70, 76, 77, 79
ultrasoononderzoek: 46, 63, 72, 78, 80
ultrasoon solderen: 13, 14, 24, 28, 48, 61

Vacuüm, solderen in -: 7, 8, 12, 13, 14, 18, 19, 62, 64, 69, 72, 74, 75, 80, 81
vacuümoven: 17, 62, 74
vacuümsolderen: 62, 64
veiligheidsfactor: 41, 51
veiligheidsmaatregelen: 19
ventilatie: 35, 48, 62
verbinding, intermetallische -: 7, 13, 64
verbinding, stompe -: 40, 41, 71
verblijfsduur: 12
verbranding (vloeimiddel): 16
verbrandingstemperatuur: 15
verdampen (uitdampen): 8, 16, 19, 35, 37, 62
veredeldbare: 56, 57, 59, 60
veredeld: 12, 52, 56
verhitten: 8, 10, 14, 16, 20, 25, 61, 67, 68, 69
verhitting: 9, 12, 13, 14, 16, 18, 19, 21, 23, 25, 37, 62, 67, 68, 69, 78
verhitting, plaatselijke -: 12, 19
verhittingsmethode: 13, 68
verkolen (vloeimiddel): 8, 35, 37
verkoperen: 64, 66, 68, 77, 81
vernikkelen: 64, 66, 68, 69, 75, 77, 81
verspreiden (zie ook uitvloeien): 10, 62
vertinnen: 24, 28, 36, 45, 60, 68, 71, 72
vervorming: 8, 12, 16, 20, 57
vervorming, koude -: 12, 57
verwarming, gelijkmatige -: 16
verwarmingselement: 14, 25
verwarmingmethode: 24, 58, 69, 72
verwarmingmethoden, bijzondere -: 24
verzadigingsdruk: 18
verzilveren: 64
vlam, neutrale -: 15
vlam, open -: 14, 22
vlam, solderen met de -: 12, 15, 48, 52, 58, 60, 61, 62, 78
vlamafstelling: 15
vlambeeld: 15
vlaminstelling: 52, 61
vlamsolderen: 12 - 16, 48, 61, 64, 74, 78, 81
vloeien (soldeer): 7, 12, 23, 31, 68, 69, 78
vloeimiddel: 7 - 10, 12, 13, 15 - 20, 22, 23, 24, 35 - 39, 45, 48, 49, 51 - 54, 57, 58, 60, 61, 62, 64, 66 - 69, 71, 72, 75, 77, 78, 80, 81
vloeimiddel, agressief -: 15, 41, 48, 51, 53, 54, 58, 60, 64, 66, 69, 75
vloeimiddel, corroderend -: 35, 37, 38
vloeimiddelresten: 8, 23, 36, 37, 38, 49, 54, 58, 62, 63, 67, 69, 72, 75, 78
vloeirichting: 8, 44, 52, 58
V-naad: 41
voorbewerking: 13, 45, 52, 66, 68, 71, 72, 77
voorbewerking: 13, 52, 57, 60, 64, 68, 71, 73, 77, 79, 81
voordeel: 15, 16, 17, 23, 24, 30, 37, 74
voorverwarmen: 22, 25
vorm (werkstuk): 12, 15, 25
V-vorm: 40, 41

Waakvlam: 19
wanddikte: 41, 51, 72
warmscheuren: 52, 57
warmtebehandeling: 12, 58, 69, 71, 72, 73, 80
warmtecapaciteit: 14, 20, 22, 23
warmtegeleiding: 14, 21, 40, 46, 47, 51, 62, 67, 69
warmte-inbreng: 12, 51, 62
warmteontwikkeling: 21
warmteoverdracht: 13, 14, 15, 21, 22, 67
warmtetoevoer, plaatselijke -: 14, 15

waterleidingtechniek: 52
waterstofatmosfeer: 18, 19, 58, 81
waterstofbrosheid: 12, 15, 17, 52
waterstofziekte: 12, 15, 52, 53
weerstand, elektrische -: 19, 21
weerstandoven: 62
weerstandsolderen: 12, 13, 14, 21, 22, 48, 58, 68, 74
wegspoelen: 12
werkspoel: 19, 20, 48
werkstukmetaal: 7, 8, 9, 10, 12, 13
werkstukoppervlak: 7, 8, 9, 16, 19
wrijfsolderen: 60, 61

Zachtsoldeer: 26, 41, 49, 51, 56, 57, 61, 70, 71, 74, 80
zachtsoldeerverbinding: 51, 56, 66, 67, 71, 75
zachtsoldeervloeimiddel: 8, 35, 36, 38, 50, 61
zachtsolderen: 7, 8, 9, 14, 23, 28, 35 - 38, 41, 44, 49, 51, 53,
54, 56 - 61, 64, 67 - 72, 74, 75, 78, 80
zoutbad: 22, 23, 61, 64
zoutbadsolderen: 13, 14, 22, 48, 61, 62
zuiverheid (gasatmosfeer): 18, 19
zwavelbrosheid: 57, 67, 68



Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

T (079) 353 11 00

F (079) 353 13 65

E alg@fme.nl

I www.fme.nl