

Afweegfactoren bij keuze van soldeermaterialen

J. v. Esdonk en Th. N. v. Heijst

Inleiding

De technische ontwikkelingen van gasovens en vacuümovens met daarnaast de verkrijgbaarheid van hoogwaardig soldeermaterialen hebben een uitgebreide toepassing van soldeerverbindingen mogelijk gemaakt. Naast het solderen van grote aantallen producten die in prijs konden en kunnen concurreren met andere verbindingstechnieken blijkt het toepassen van soldeerverbindingen voor hoogwaardige constructies gewenst, ja in veel gevallen zelfs een voorwaarde voor een optimale constructie. Bij het toepassen van de soldeerconstructie moet men een aan de basismaterialen aangepast soldeermateriaal kiezen. Om een verantwoorde keuze te kunnen maken is het noodzakelijk een aantal factoren in de overwegingen te betrekken o.a.

- eisen aan de constructie
- basis- en soldeermaterialen
- invloed en keuze van het soldeerproces op de constructie en basismaterialen
- beoordeling van soldeermaterialen
- prijsbepalende factoren

Met uitzondering van de prijsbepalende zullen genoemde factoren aan een nadere beschouwing worden onderworpen.

Eisen aan de constructie

Aan iedere constructie worden bepaalde eisen gesteld. Ook de soldeerverbindingen die hierbij worden toegepast dienen de eigenschappen te bezitten om aan die eisen te kunnen voldoen. De te stellen eisen kunnen van zeer uiteenlopende aard zijn en bijvoorbeeld inhouden:

- mechanische eisen zoals statische en dynamische sterkte, taaiheid, stijfvastheid/hardheid.
- temperatuurvastheid bij de bedrijfstemperaturen, zoals bij hoge temperaturen de kruipvastheid, bij lage temperaturen de kerfgevoeligheid en het bestand zijn tegen temperatuurwisselingen.
- chemische eisen in verband met bestandheid tegen het milieu waarin de verbinding gebruikt wordt.
- fysieke eisen zoals vacuümdichtheid, lage dampspanningen en bepaalde magnetische eigenschappen.
- de maat en vormnauwkeurigheid waarbij vooral verschillen in uitzet-

ting een belangrijke rol kunnen spelen.

- oppervlaktegesteldheid na de soldeerbehandeling in verband met uitvloeien van het soldeer en de toegepaste meniscus.

De eisen kunnen soms zeer beperkt zijn en enkele gelden slechts voor zeer speciale gevallen zoals bijvoorbeeld lage dampspanning alleen van belang is voor componenten die moeten functioneren in vacuüm.

Materialen

Bij het uitvoeren van een soldeerverbinding hebben we te maken met combinaties van verschillende materialen o.a.

- basismateriaal
- galvanische/chemische bedekkingen
- soldeermateriaal

De keuze van de materialen wordt bepaald door de eisen van de constructie daarbij rekening houdend met de invloed van het soldeerproces terwijl uiteindelijk de verbinding aan de gestelde eisen moet voldoen.

Basismateriaal

Solderen biedt de mogelijkheid om ongelijsoortige materialen met van elkaar afwijkende eigenschappen met elkaar te verbinden. Hierdoor heeft men de mogelijkheid de gewenste eigenschappen op de functionele plaatsen in de constructie in te bouwen. Bekende toepassingen zijn bijvoorbeeld hardmetalen beitelplaatjes op een stalen ondergrond en keramiek-metaal verbindingen.

Hoewel het soldeerproces in veel gevallen de eigenschappen van het basismateriaal beïnvloedt kan men ten gunste van de eigenschappen de temperatuurcyclus aanpassen. Door een combinatie van een hardbaar en niet hardbaar materiaal kan vaak een lagere kostprijs bereikt worden. Het harden kan in bepaalde gevallen in een procesgang door met de vereiste snelheid af te koelen worden uitgevoerd.

Een belangrijke eigenschap van de basismaterialen, die combinaties al dan niet mogelijk maakt, is de uitzettingscoëfficiënt. Verschil in uitzetting kan de toepassing van een bepaalde combinatie sterk beperken. De afmeting van de verbindingsnaad bij de soldeertemperatuur kan door verschil in uitzetting belangrijk afwijken van de uitgangsafmeting bij kamertemperatuur. Dit kan ongewenste gevolgen hebben voor het soldeerproces en bovendien leidt dit tot spanningen in de constructie. Bij grote afmetingen kunnen kleine verschillen in uitzetting het maken van een soldeerverbinding zeer bemoeilijken. Een goede combinatie dienaangaande is koper (u.c. $175 \cdot 10^{-7}$) en austenitisch corrosievast staal (u.c. $\approx 170 \cdot 10^{-7}$) afhankelijk van samenstelling). Een minder goede combinatie is koper en ferritisch staal (u.c. $120 \cdot 10^{-7}$) hoewel de spanningstoestand in deze combinatie, door de lage kruipsterkte van koper, beheerst kan worden waardoor, door langzaam af te koelen, toch een bruikbare verbinding tot stand komt.

Het oproepen van hardingseffecten in het staal door snel te koelen is in dit geval meestal onmogelijk. Bij grotere

afmetingen kunnen bij het solderen van 2 staalsoorten zelfs betrekkelijk kleine verschillen in eigenschappen zoals een klein verschil in omzettingstemperatuur tot vervorming van de materialen of scheuren in de soldeernaad leiden.

Galvanische/chemische bedekkingen

Bepaalde basismaterialen lenen zich niet zo goed voor de totstandkoming van een soldeerverbinding als hierbij een bepaald soldeer vereist is. Zo zal bijvoorbeeld corrosievast Cr Ni Staal zich met een eutectisch Ag-Cu soldeer niet of zeer moeilijk bevochtigen omdat het materiaaloppervlak moeilijk oxidevrij te maken is. Door het Cr Ni Staal vooraf te bedekken met een geschikte goed hechtende galvanische laag schept men de mogelijkheid om een sterke verbinding te realiseren die vacuumdicht is. In bepaalde gevallen is het zelfs mogelijk om zo'n galvanisch aangebrachte laag als soldeermateriaal te gebruiken. Voorbeelden van bruikbare bedekkingen zijn galvanisch verkoperen, vernikkelen, verzilveren of chemisch vernikkelen (NiP). Voor speciale gevallen wordt zelfs edelmetaal als goud als tussenlaag toegepast.

Soldeermaterialen

De bruikbaarheid van een soldeer voor een gedachte constructie wordt bepaald door zijn fysische en chemische eigenschappen en door de wisselwerking met de basismaterialen. De belangrijkste van invloed zijnde eigenschappen van het soldeermateriaal zijn:

- smeltpunt c.q. smelttraject
- vloeibaarheid en oppervlaktespanning (capillaire werking)
- dampspanning (zowel ten aanzien van het soldeerproces als in verband met het gebruik)
- sterkte en ductiliteit na het solderen
- oxidatie en corrosievastheid
- bewerkbaarheid
- vorm waarin verkrijgbaar (pasta, draad, folie)
- prijs.

In samenhang met de basismaterialen zijn van belang de eigenschappen als:

- bevochtiging van de basismaterialen door het vloeibaar soldeer
- reactie met basismaterialen zoals legeringvorming en penetratie
- eventuele vorming van een electrochemisch koppel.

Een aantal van de genoemde eigenschappen zijn bekend en liggen vast in bijvoorbeeld F.M.E. publicaties "Hard en zachtsolderen" (V.M. 44-45) en verder in handboeken en in brochures van soldeerleveranciers (1,2).

In bijgaande tabel zijn van veel gebruikte soldeermaterialen met uiteenlopende toepassingsgebieden een aantal eigenschappen zoals samenstelling, smeltpunt of smelttraject, treksterkte en taaiheid evenals de gewenste spleetbreedte tussen de te solderen materialen bij soldeertemperatuur, en de soldeertemperatuur weergegeven. In de laatste kolom zijn van een aantal soldeermaterialen, de specifieke eigenschappen en toepassingsgebieden vermeld.

Invloed en keuze van het soldeerproces

Het toe te passen soldeerproces is af-

hankelijk van een aantal factoren o.a.

- soldeermateriaal
- basismateriaal en constructie
- eventuele nevenbehandelingen (harden, oplosgloeien)
- gewenste eigenschappen (magnetisme).

Soldeermateriaal:

Het te gebruiken soldeermateriaal is bepalend voor de temperatuur waarop de soldering moet plaats vinden en kan het procesverloop beïnvloeden in verband met ontmenging en verdamping.

Basismaterialen en constructie (in relatie tot het soldeerproces)

Het opwarm en afkoelverloop en de condities (o.a. atmosfeer) worden in hoge mate bepaald door de te solderen materialen en de constructie. Zo is het vaak wenselijk om de soldeerfase zo snel mogelijk te doorlopen terwijl in andere gevallen juist een langere tijd op soldeertemperatuur gewenst is. Enkele voorbeelden

- basismaterialen en/of soldeermaterialen met hoge dampspanningen moeten zo kort mogelijk op hoge temperatuur gehouden worden om verdamping te beperken. Wil men verdamping verminderen dan kan men onder een beschermgas solderen ofwel de basismaterialen bedekken met een galvanische laag met lage dampspanning.
- korte soldeertijd geldt eveneens voor producten met geringe wanddikte ter plaatse van de verbinding om te voorkomen dat door overmatige legeringvorming lekken optreden of de eigenschappen beïnvloed worden.

Samenstelling gew.%	smelttraject °C	soldeertemp. °C	spleetbreedte mm	treksterkte N/mm ²	taaiheid	bijzonderheden
<i>Nikkel-basis</i> Ni Cr Si Overige 89 P11	875	950	0,00-0,05	150	broos	hitte-vast, goed capillair vloeënd
83 7 4 B3Fe3 71 7 4 B3Fe3	970-1000 1080-1135	1040 1190	0,02-0,20 0,02-0,10	450 500	broos broos	hitte-vast, hoge sterkte hitte-vast, B-vrij, hoge sterkte
100 71 19 10	1450 1080-1135	1480 1190	0,02-0,05 0,02-0,10	500 500	goed broos	hitte-vast, hoge sterkte hittevast, B-vrij, lage sterkte
<i>Cobalt-basis</i> Co49 Ni17 Cr19 Si8 W4 B0,8	1110-1150	1200	0,02-0,10	500	broos	hitte-vast, Co-leg. hoge sterkte
<i>Palladium-basis</i> Pd 60 Ni 40 Pd 100	1238 1554	1250 1580	0,00-0,05 0,00-0,05	700 500	zeer goed goed	W, Mo, zeer sterk W, Mo, zeer sterk

Samenstelling gew. %	smelttraject °C	soldeer-temp.°C	spleet-breedte mm	trek-sterkte N/mm ²	taaiheid	bijzonderheden
Zilverbasis AG Cu Overige 63 27 In 10	685-730	770	0,02-0,05	200	broos	voor getrappt solderen Cu; Ni
72 28	780	810	0,02-0,10	250	goed	voor algemeen gebruik voor Cu, Ni, Vacuum-verbindingen. Met Pd ook voor Fe
56 42 Ni2	771-893	930	0,10-0,20	250	goed	
58 32 Pd 20	825-850	870	0,02-0,10	450	goed	
Goudbasis Au Ni Cu						
80 20	910	950	0,00-0,05	450	redelijk	oxidatie-vast corrosievast en hitte- vast staal Ni-legeringen
82 18	950	1000	0,00-0,05	500	zeer goed	
70 14 16	935	1000	0,02-0,05	550	matig	
Koper basis Cu Ni Mn overige						
85 - 15	880	950	0,00-0,05	300	goed	Voor Fe-leg O ₂ vrije atmosfeer
92 5m8	880-1020	1050	0,05-0,15	350	redelijk	Voor staal
63 Au 37	910-1000	1050	0,02-0,05	500	goed	Fe-leg.
100	1083	1120	0,00-0,05	150	zeer goed	Algemeen bruikbaar, goed koop
75 25	1180-1240	1300	0,05-0,10	500	zeer goed	Mo, W, Fe-leg.

Overzicht veel gebruikte soldeermaterialen voor uiteenlopende toepassingen

- solderen met een smelttraject bijvoorbeeld Ag-Cu-In vereisen als regel een snel doorlopen van dit traject om ontmenging mede veroorzaakt door de basismaterialen te voorkomen. Als gevolg hiervan kan ongewenste legeringvorming optreden waardoor verhoging van soldeer-temperatuur noodzakelijk is.
- ter voorkoming van ongewenste uitscheiding of om hardingseffecten in het basismateriaal te verkrijgen kan versnelt afkoelen noodzakelijk zijn. Niet gestabiliseerde corrosievaste staalsoorten lenen zich in dat opzicht slecht voor soldeerbehandelingen indien de corrosievastheid belangrijk is.
- wanddikte verschillen en verschil in warmteopname en/of warmtecapaciteit kunnen een langzame opwarming vereisen.
- om spanningsopbouw, zeker bij uitzettingsverschillen, te beperken is meestal langzame afkoeling gewenst. Bij de soldeertemperatuur wordt het materiaal veelal vrij van inwendige spanningen of zal zelfs volkomen rekristalliseren. Afhankelijk van het materiaal kunnen structuuromzettingen optreden en daarvoor uitzettingsveranderingen veroorzaken.
- de beïnvloeding van het materiaal door het soldeerproces kan het noodzakelijk maken dat het mate-

riaal nog een temperatuurbehandeling moet ondergaan bijvoorbeeld precipitatieharden of ontlaten om de gewenste materiaaltoestand te verkrijgen, galvanische bedekkingen om corrosie door elementvorming te voorkomen ofwel een nog uit te voeren volgende soldeerproces (getrappt solderen).

Beoordeling van soldeermaterialen

Om de bruikbaarheid van het gekozen soldeermateriaal vooraf na te gaan bestaan er een aantal beproevingsmethoden zoals:

- bevochtiging: diverse soldeermaterialen in diverse atmosferen.
- vloeibaarheid: capillaire werking (spleetbreedte, spleetlengte).
- reacties: penetratie, erosie, legeringvorming.

Om gemaakte verbindingen te controleren bestaan er een aantal beproevingsmethoden.

De meest gebruikelijke zijn:

- visuele controle: vaak kan een visuele controle, uitvloeien van het soldeer en vorm van de meniscus een indicatie geven voor de kwaliteit van de verbinding.
- lekttest door middel van een heliumlekzoeker.

- afstrooptest ("peeltest"). Hiermede kan men de vulgraad van een naad bepalen.

- niet destructief onderzoek, zoals ultrasoon en röntgenonderzoek. Deze laatste methoden worden toegepast op gesoldeerde producten ter vaststelling van eventuele fouten (holten) in de soldeernaad.

Conclusie

Het toepassen van een soldeerverbinding blijkt in de praktijk voor praktisch alle metalen uitvoerbaar te zijn. Het is echter van bijzonder belang dat bij het opzetten van een constructie rekening gehouden wordt met het specifieke gedrag van de toegepaste materialen. Om alle factoren die een rol spelen bij het tot stand komen van een verbinding te onderkennen is overleg tussen constructeur en verbindingsspecialist van bijzonder groot belang. De mogelijkheden die het solderen biedt kunnen op deze wijze optimaal benut worden.

1. F.M.E. uitgave VM 44/45 Nederlands instituut voor lastechniek(N.I.L.). Hard en zacht solderen 1 en 2.

2. Diverse brochures van soldeerleveranciers zoals: Degussa, Dewrance metals, Drijfhout, Johnson Matthey, Wall Colmanoy, Wesgo.