

# Lassen van ongelijksoortige metalen

vm 115

# VWM





# Lassen van ongelijksoortige metalen

vm 115



*Bond voor Materialenkennis*



een uitgave van de

*Vereniging FME-CWM*

vereniging van ondernemingen in de  
metaal-, kunststof-, elektronica- en elektrotechnische  
industrie en aanverwante sectoren

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

Telefoon: (079) 353 11 00

Telefax: (079) 353 13 65

E-mail: [alg@fme.nl](mailto:alg@fme.nl)

Internet: <http://www.fme-cwm.nl>

© Vereniging FME-CWM/september 2005

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd 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 Technische Bedrijfskunde  
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer  
telefoon 079 - 353 13 41  
telefax 079 - 353 13 65  
e-mail: [pbo@fme.nl](mailto:pbo@fme.nl)  
internet: <http://www.fme-cwm.nl>

# Lassen van ongelijksoortige metalen

## toelichting:

Deze publicatie is tot stand gekomen in het kader van het "Technologie-kennisproject voor de metaal- en kunststofverwerkende industrie" van het NIL in samenwerking met het ITC.

## auteurs:

A. Gales TNO Industrie & Techniek, Eindhoven  
M. de Wacht TNO Industrie & Techniek, Eindhoven

## begeleidingsgroep:

ABB Lummus-Crest BV, Voorburg	J. Baas
C.W.P., Bladel	W.G. Essers (coördinatie)
DSM-MPS, Geleen	H.C.G.M. Schrijen
Fluor Daniël BV, Haarlem	P.J. van Alphen
Lincoln Electric Europe BV, Nijmegen	L. van Nassau
Meijer, Driebergen	H.A. Meijer
Ministerie van Defensie-DMKM, Den Haag	C. van Sevenhoven
NIL, Voorschoten	W. Pors
Nijhof Consultancy, Heemstede	G.H. Nijhof
Raytheon Engineers & Constructors BV, Den Haag	R.C.A. van Rheeden
TNO Bouw, Delft	F. Soetens
TNO Industrie & Techniek, Eindhoven	A. Gales; M. de Wacht; J.C. van Wortel
Projectbureau PMP, Eindhoven	G.H.G. Vaessen
Vereniging FME-CWM, Zoetermeer	P. Boers

Al deze bedrijven/instellingen hebben een bijdrage geleverd aan dit project. Het Ministerie van Economische Zaken heeft in belangrijke mate bijgedragen aan de financiering hiervan.

## technische informatie:

### Nederlands Instituut voor Lastechniek

- correspondentie- en bezoekadres Krimkade 20, 2251 KA VOORSCHOTEN  
- telefoon 071 - 560 10 79  
- telefax 071 - 561 14 26  
- e-mail info@nil.nl  
- internet http://www.nil.nl

## informatie over en bestelling van VM-publicaties:

### Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

- bezoekadres Boerhaavelaan 40, 2713 HX Zoetermeer  
- correspondentie-adres Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER  
- telefoon 079 - 353 13 41/353 11 00  
- telefax 079 - 353 13 65  
- e-mail pbo@fme.nl  
- internet http://www.fme-cwm.nl

### Bond voor Materialenkennis

- bezoekadres Parallelweg 30, 5223 AL 's-Hertogenbosch  
- correspondentie-adres Postbus 218, 5201 AE 's-HERTOGENBOSCH  
- telefoon 073 - 622 18 33  
- telefax 073 - 623 89 89  
- e-mail bvm@worldonline.nl  
- internet http://www.materialenkennis.nl

### Nederlands Instituut voor Lastechniek

- correspondentie- en bezoekadres Krimkade 20, 2251 KA VOORSCHOTEN  
- telefoon 071 - 560 10 79  
- telefax 071 - 561 14 26  
- e-mail info@nil.nl  
- internet http://www.nil.nl

## Inhoud

1	Algemene inleiding	7	8	<b>Lassen van combinaties met <math>\leq 9\%</math> nikkel staalsoorten</b>	20
<b>Deel I Lassen van zwart-wit verbindingen</b>		8	8.1	Combinaties tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten met $R_e \leq 360$ N/mm <sup>2</sup> en staalsoorten met minder dan 9% nikkel	20
2	Inleiding	8	8.2	Combinaties tussen austenitische en ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten en staalsoorten met minder dan 9% nikkel	20
3	<b>Lastechnieken</b>	10	9	<b>Lassen van combinaties van ongelegeerde C-Mn en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten met ijzerbasis roestvaste staalsoorten</b>	21
3.1	Lasnaadvormen	10	9.1	Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en austenitische roestvaste staalsoorten met $\delta$ -ferriet	21
3.2	Bufferen	10	9.2	Lasverbindingen tussen verschillende austenitische roestvaste staalsoorten	22
3.3	Typen lastoevoegmateriaal	10	9.3	Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten en austenitische roestvaste staalsoorten met $\delta$ -ferriet	22
3.4	Invloed lasprocessen en lasparameters op opmenging	11	9.4	Lasverbindingen tussen austenitische roestvaste staalsoorten en ferritische roestvaste staalsoorten	22
4	<b>"Zwart-wit" lasverbindingen</b>	12	9.5	Lasverbindingen tussen austenitische roestvaste staalsoorten en martensitische roestvaste staalsoorten	22
4.1	Vorbereiding zwart-wit lasverbindingen	12	9.6	Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en volaustenitische roest- of hittevaste staalsoorten	22
4.2	Niet destructief onderzoek	12	9.7	Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische en volaustenitische of hittevaste roestvaste staalsoorten	23
4.3	Indeling verschillende gebruiksgroepen	12	9.8	Lasverbindingen tussen ferritische roestvaste staalsoorten en volaustenitische roest- of hittevaste staalsoorten	23
4.4	Mechanische belastingen	13	9.9	Lasverbindingen tussen martensitische roestvaste staalsoorten en volaustenitische roest- of hittevaste staalsoorten	24
4.5	Structuur van het lasmetaal	13	9.10	Lasverbindingen van ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten aan ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten	24
4.6	Opmengzones	14	9.11	Lasverbindingen tussen verschillende ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten	24
4.7	Warmsteuren	14	9.12	Lasverbindingen tussen ferritische roestvaste staalsoorten en ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten	24
4.8	Koolstofmigratie	14	9.13	Lasverbindingen tussen martensitische roestvaste staalsoorten en ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten	25
4.9	Warmtebehandelingen	14	9.14	Lasverbindingen van ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten aan ferritische roestvaste staalsoorten	25
5	<b>Lasverbindingen in geplateerd staal</b>	15	9.15	Lasverbindingen van ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten aan martensitische roestvaste staalsoorten	25
5.1	Materiaal is toegankelijk aan platerlaagzijde	15	9.16	Lasverbindingen tussen ferritische roestvaste staalsoorten en martensitische roestvaste staalsoorten	25
5.2	Materiaal is alleen toegankelijk aan de basismateriaalzijde	16	10	<b>Lassen van combinaties met nikkelbasislegeringen</b>	26
5.2.1	Vullen met overgelegeerd lastoevoegmateriaal	16	10.1	Lasverbindingen tussen zuiver nikkel en ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten	26
5.2.2	Vullen met een overeenkomend lastoevoegmateriaal	16			
5.3	Lassen van linings	16			
6	<b>Lasverbindingen tussen verschillende ongelegeerde C-Mn staalsoorten</b>	17			
7	<b>Lasverbindingen tussen C-Mn en Cr-Mo staalsoorten en verschillende kruipvaste Cr-Mo staalsoorten</b>	18			
7.1	Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten met $R_e \leq 360$ N/mm <sup>2</sup> en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 3%	18			
7.2	Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten met $R_e > 360$ N/mm <sup>2</sup> en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 3%	18			
7.3	Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten met $R_e \leq 360$ N/mm <sup>2</sup> en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 5%	18			
7.4	Lasverbindingen tussen kruipvaste chroomstaalsoorten met 3% of minder chroom en kruipvaste staalsoorten met 5% chroom	19			
7.5	Lasverbindingen tussen C-Mn staalsoorten en Cr-Mo staalsoorten met 9 of 12% chroom	19			
7.6	Lasverbindingen tussen kruipvaste staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 3% en kruipvaste staalsoorten met een chroomgehalte van 9 of 12% chroom	19			
7.7	Lasverbindingen tussen kruipvaste staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 5% en kruipvaste staalsoorten met een chroomgehalte van 9 of 12% chroom	19			

10.2	Lasverbindingen tussen austenitisch roestvast staal en zuiver nikkel	26	13	<b>Koper en koperlegeringen</b>	45
10.3	Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitisch roestvast staal en zuiver nikkel	26	13.1	Codering van koper en koperlegeringen	45
10.4	Lasverbindingen tussen ferritisch roestvast staal en zuiver nikkel	26	13.2	Het lassen van koper en koperlegeringen	46
10.5	Lasverbindingen tussen nikkel-chroom en nikkel-chroom-ijzerlegeringen en ongelegeerde C-Mn of Cr-Mo staalsoorten	26	13.2.1	Algemene aspecten bij het lassen van koper	46
10.6	Lasverbindingen tussen austenitisch roestvast staal en nikkel-chroom of nikkel-chroom-ijzerlegeringen	27	13.2.2	Het lassen van koper en koperlegeringen	49
10.7	Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitisch roestvast staal en nikkel-chroom of nikkel-chroom-ijzerlegeringen	27	13.2.3	Lasprocessen voor het lassen van koper en koperlegeringen	53
10.8	Lasverbindingen tussen ferritisch roestvast staal en nikkel-chroom of nikkel-chroom-ijzerlegeringen	27	13.3	Het lassen van ongelijksoortige koperlegeringen	55
10.9	Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en nikkel-molybdeenlegeringen	27	13.4	Het lassen van koper en koperlegeringen aan andere metalen	56
10.10	Lasverbindingen tussen austenitische roestvaste staalsoorten en nikkel-molybdeenlegeringen	27	13.4.1	Het lassen van koperlegeringen aan ferro-metalen	57
10.11	Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten en nikkel-molybdeenlegeringen	28	13.4.2	Het lassen van koper en koperlegeringen aan nikkellegeringen	58
10.12	Lasverbindingen tussen ferritisch roestvast staal en nikkel-molybdeenlegeringen	28	13.4.3	Het lassen van koper aan aluminiumlegeringen	58
10.13	Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en nikkel-koperlegeringen	28	13.4.4	Lastoevoegmaterialen voor het lassen van koper en koperlegeringen aan andere metalen	59
10.14	Lasverbindingen tussen austenitische roestvaste staalsoorten en nikkel-koperlegeringen	28	13.5	Het lassen van koper-geplateerd staal	60
10.15	Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten en nikkel-koperlegeringen	28			
			14	<b>Literatuur</b>	63
				<b>Bijlage A Plateerlagen</b>	64
				<b>Bijlage B Lasprocessen</b>	65
				<b>Bijlage C Korte beschrijving van de verschillende lasprocessen</b>	67
<b>Deel II Lassen van ongelijksoortige non-ferro metalen</b>		29			
11	<b>Inleiding lassen van ongelijksoortige non-ferro metalen</b>	29			
12	<b>Aluminium en aluminiumlegeringen</b>	30			
12.1	Codering van aluminium en aluminiumlegeringen	30			
12.2	Het gasbooglassen van ongelijksoortige aluminium-kneedlegeringen	30			
12.3	Het gasbooglassen van ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en van aluminium-giet/kneedlegeringen	33			
12.4	Het lassen van aluminiumlegeringen aan andere metalen	36			
12.4.1	Rechtstreeks lassen van ongelijksoortige metalen, directe methode	36			
12.4.2	Het lassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen door middel van een tussenmetaal, indirecte methode	41			





## ***Hoofdstuk 1***

### ***Algemene inleiding***

Het verbinden van ongelijksoortige metalen door middel van lassen is over het algemeen geen eenvoudige zaak en vereist op een aantal gebieden specialistische kennis. Kennis is nodig op het gebied van de lastechniek en met name ten aanzien van de mogelijkheden die de verschillende lasprocessen bieden. Dit is echter niet voldoende, ook kennis met betrekking tot de metallurgische eigenschappen van de te lassen metalen is een essentiële voorwaarde om met succes een lasverbinding in ongelijksoortige metalen tot stand te brengen. En zelfs al is deze kennis voorhanden, dan nog is succes niet altijd verzekerd, omdat onverwachte problemen ervoor kunnen zorgen dat de lasverbinding niet de vereiste kwaliteit heeft. Bij het lassen van ongelijksoortige metalen spelen zeer veel factoren een rol. Belangrijk zijn de fysische eigenschappen van het metaal, waaronder de chemische samenstelling, het smeltpunt, de warmte- en elektrische geleidbaarheid en de uitzettingscoëfficiënt. Metallurgische eigenschappen als structuur, textuur, opmenging, oplosbaarheid, enz. spelen eveneens een essentiële rol bij het vervaardigen van lasverbindingen in ongelijksoortige metalen.

Als we praten over het verbinden van ongelijksoortige metalen door middel van lassen, zal het duidelijk zijn dat we in het kader van deze voorlichtingspublicatie een keuze hebben moeten maken. Dit hebben we enerzijds gedaan door in deze publicatie een tweedeling aan te brengen in:

- ▶ Deel I het lassen van zwart-wit verbindingen (hoofdstuk 2 t/m 10);
- ▶ Deel II het lassen van ongelijksoortige non-ferro metalen (hoofdstuk 11 t/m 13),

en anderzijds door bij het non-ferro deel alleen maar aluminium en koper aan bod te laten komen.

Deze voorlichtingspublicatie is en kan niet volledig zijn, omdat in de praktijk zeer veel combinaties voor het lassen van onderling verschillende metalen mogelijk zijn. Van lang niet al deze materiaalcombinaties zijn gegevens beschikbaar. De verwachting is echter dat, met de kennis die is verzameld in deze publicatie, ook combinaties van metalen die niet direct beschreven zijn met een goed resultaat kunnen worden gelast.

De auteurs spreken hun dank uit aan de heer Essers, zonder wiens initiatief deze publicatie niet tot stand was gekomen en aan de begeleidingsgroep, die ervoor heeft gezorgd dat, met hun kritische maar altijd opbouwende commentaar, de publicatie voldoende inhoud heeft gekregen.

## Deel I Lassen van zwart-wit verbindingen

### Hoofdstuk 2

#### Inleiding

Ongelijksoortige lasverbindingen verbinden materialen met onderling verschillende fysische of mechanische eigenschappen of met verschillende chemische samenstellingen. Deze lasverbindingen vragen om die reden extra aandacht. In dit deel worden de ongelijksoortige lasverbindingen tussen ijzerbasis materialen behandeld.

Bij het schrijven is ervan uitgegaan dat de lezer ten minste bekend is met het lassen van de betreffende gelijksoortige lasverbindingen. Getracht is het verhaal zoveel mogelijk te beperken tot de specifieke problemen van ongelijksoortige lasverbindingen.

In de eerste helft van dit deel (hoofdstukken 3 t/m 5) wordt de problematiek in het algemeen besproken, zoals:

- ▶ speciale lastechnieken;
- ▶ zwart-wit lasverbindingen;
- ▶ lassen van geplateerd materiaal.

In de tweede helft (hoofdstukken 6 t/m 10) worden de specifieke materialen afzonderlijk besproken.

Een beperking is gemaakt in het aantal materialen. Overzichten van materiaalcombinaties voor verbindinglassen zijn weergegeven in tabel 2.1, voor het oplossen of geplateerde staalsoorten is die weergegeven in tabel 2.2. Uitgegaan is van een ijzerbasislegering als referentie, zoals verschillende ferritische of austenitische roestvaste staalsoorten (horizontaal weergegeven in tabel 2.1 en 2.2), waaraan een ander materiaal gelast wordt, zoals nikkel(-legeringen) of de soorten onderling. In tabel 2.2 zijn de basismaterialen horizontaal weergegeven, die van de platerlaag of opaslegering zijn verticaal weergegeven.

De materialen zijn zoveel mogelijk ingedeeld volgens de nieuwste inzichten in de groepsindeling van materialen ten behoeve van de lastechniek, zoals dit is vastgelegd door de commissie CEN/TC 121/SC 1 en is gepubliceerd als CR/ISO TR 15608 als onderdeel van de vernieuwde EN 288 serie. Voor de lastoevoegmaterialen is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de actuele Europese/internationale normalisatie.

In de tabellen 2.1 en 2.2 wordt verwezen naar het hoofdstuk (paragraaf)nummer waarin de betreffende combinatie uitvoerig wordt besproken.

De problematiek van het verbindinglassen, oplossen en verbindinglassen van geplateerd materiaal komen voor een groot deel met elkaar overeen. Zij worden daarom in dezelfde paragraaf naast elkaar behandeld.

tabel 2.1 Overzicht van de in deze voorlichtingspublicatie beschreven materiaalcombinaties voor verbindinglassen. Op de horizontale as zijn de ijzerbasislegeringen vermeld, op de verticale as de verschillende legeringen

omschrijving		ongelegeerd C-Mn staalsoorten		ijzerbasislegeringen					
				kruipvaste chroom-molybdeen staalsoorten			roestvaste staalsoorten		
				$R_e \leq 360$ N/mm <sup>2</sup>	$R_e > 360$ N/mm <sup>2</sup>	Cr≤3%	Cr≤5%	9% of 12% Cr	austenitisch
ongelegeerde C-Mn staalsoorten	$R_e \leq 360$ N/mm <sup>2</sup>		6	7.1	7.3	7.5	9.1/9.6	9.10	9.14
	$R_e > 360$ N/mm <sup>2</sup>	6		7.2			9.1/9.6	9.10	9.14
kruipvaste chroom-molybdeen staalsoorten	Cr≤3%	7.1	7.2		7.4	7.6	9.1/9.6	9.10	9.14
	Cr≤5%	7.3		7.4		7.7	9.1/9.6	9.10	9.14
	9% of 12% Cr	7.5		7.6	7.7		9.1/9.6	9.10	9.14
Staal met Ni ≤ 9%		8.1	8.1				8.2	8.2	
roestvaste staalsoorten	austenitisch	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.2	9.3	9.4
	vol-austenitisch en/of hitte bestendig staal	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.2	9.7	9.8
	ferritisch/austenitisch	9.10	9.10	9.10	9.10	9.10	9.3	9.11	9.12
	ferritisch	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.4	9.12	
	martensitisch	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.5/9.9	9.13	9.16
nikkelbasislegeringen	zuiver nikkel	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.2	10.3	10.4
	Ni-Cr	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.6	10.7	10.8
	Ni-Cr-Fe	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.6	10.7	10.8
	Ni-Mo	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.10	10.11	10.12
	Ni-Cu	10.13	10.13	10.13	10.13	10.13	10.14	10.15	

tabel 2.2 Overzicht van de in deze voorlichtingspublicatie beschreven opascombinaties en geplaatste staalsoorten. De basismaterialen zijn vermeld op de horizontale as, de opaslegeringen en plaatelaaglegeringen op de verticale as

omschrijving		onlegeerd C-Mn staalsoorten		ijzerbasislegeringen					
				kruipvaste chroom-molybdeen staalsoorten			roestvaste staalsoorten		
		$R_e \leq 360$ N/mm <sup>2</sup>	$R_e > 360$ N/mm <sup>2</sup>	Cr≤3%	Cr≤5%	9% of 12% Cr	austenitisch	ferritisch/ austenitisch	ferritisch
roestvaste staalsoorten	austenitisch	9.1	9.1	9.1	9.1	9.1	9.2	9.3	9.4
	vol-austenitisch en/of hitte bestendig staal	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.2	9.7	9.8
	ferritisch/ austenitisch	9.10	9.10	9.10	9.10	9.10	9.3	9.11	9.12
	ferritisch	9.14	9.14	9.14	9.14	9.14	9.4	9.12	
	martensitisch	9.15	9.15	9.15	9.15	9.15	9.5/9.9	9.13	9.16
nikkelbasis- legeringen	zuiver nikkel	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.2	10.3	10.4
	Ni-Cr	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.6	10.7	10.8
	Ni-Cr-Fe	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.6	10.7	10.8
	Ni-Mo	10.9	10.9	10.9	10.9	10.9	10.10	10.11	10.12
	Ni-Cu	10.13	10.13	10.13	10.13	10.13	10.14	10.15	

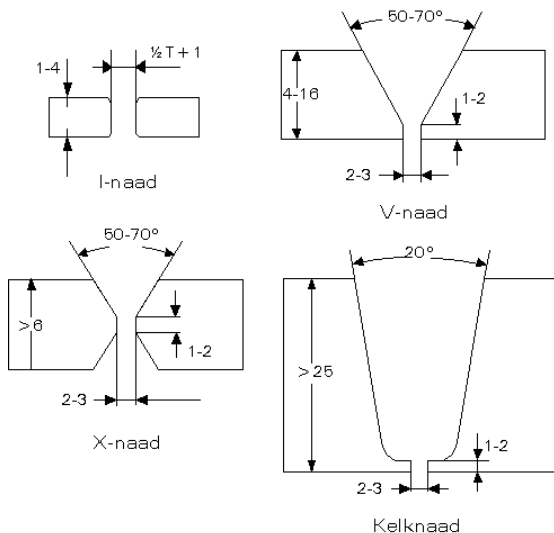
## Hoofdstuk 3

### Lastechnieken

Voor het maken van ongelijksoortige lasverbindingen worden vaak speciale lasmethoden gebruikt. Dit hoofdstuk geeft inzicht in veel gebruikte methoden voor het lassen van ongelijksoortige metalen.

#### 3.1 Lasnaadvormen

Voor stompe naden in pijpen en plaat worden de I, V, X en kelknaad toegepast (zie figuur 3.1).



figuur 3.1 Verscheidene lasnaadvormen voor stompe naden

De I-naad wordt toegepast tot een plaatdikte van 4 mm en een wanddikte in pijpen tot circa 2 mm. Wanneer er wordt gelast met een lastoevoegmateriaal is een vooropening van  $\frac{1}{2}t + 1$  (t is de wand- of plaatdikte) nodig om een goede doorlassing te verkrijgen. In plaat wordt na het hechten de lasnaad aan de keerzijde gelast. Als deze zijde geheel is afgelast, wordt de plaat gekeerd en de las zodanig uitgeslepen dat alle slakresten en hechtlassen volledig zijn verwijderd. Na controle op lasfouten wordt de tegenlas gelegd.

De V-naad wordt toegepast bij plaat- en wanddikten van 4 tot 16 mm. Om een goede doorlassing te maken, is - afhankelijk van de plaatdikte en materiaalcombinatie - een openingshoek van 50 tot 70° noodzakelijk. V-naden in gelegeerde materialen worden vrijwel alleen met een staand deel van 1 à 2 mm aangebracht. Na het hechten wordt de grondlaag gelegd. Als de tegenzijde toegankelijk is, kan de tegenlas worden gelegd nadat de las is uitgeslepen en gecontroleerd is op lasfouten.

De X-naad wordt gebruikt voor wanddikten groter dan 6 mm. De voordelen van de X-naad zijn, dat aan beide zijden gelijke krimp optreedt en dat de vulling kleiner is.

Kelknaden worden gebruikt bij grote wand- of plaatdikten. Ook worden deze gebruikt in pijpverbindingen waarbij de grondlaag wordt TIG-gelast.

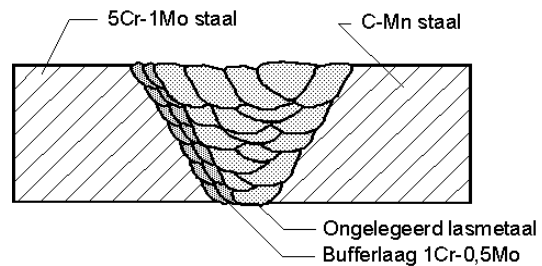
Behalve de stompe lassen komen ook hoeklassen veelvuldig voor bij zwart-wit lasverbindingen.

#### 3.2 Bufferen

Veel combinaties waarbij verschillende materialen aan elkaar worden gelast, kunnen niet direct worden gelast. Redenen hiervoor kunnen zijn:

- ▶ ongewenste koolstofdifusie in zwart-wit lasverbindingen met een austenitisch lastoevoegmateriaal;
- ▶ door opmenging van basismaterialen in het lasbad ontstaat bij stolling ongewenste structuren of uitscheidingen in het lasmetaal;
- ▶ één van de te verbinden materialen verdraagt de gloeibehandeling niet die nodig is voor het andere te verbinden materiaal.

In deze situaties kan de materiaalcombinatie vrijwel altijd via een geschikte tussenlaag aan elkaar gelast worden. Hiervoor dient op ten minste één van de, en soms op beide, te verbinden materialen een tussenlaag te worden gelast. Dit heet "bufferen". Door het bufferen wordt feitelijk een verbindingslas gemaakt tussen deze bufferlaag en het andere materiaal of tussen de twee bufferlagen. Een voorbeeld van een lasverbinding met een bufferlaag is weergegeven in figuur 3.2.



figuur 3.2 Voorbeeld van een lasverbinding met een bufferlaag

De dikte van de bufferlaag dient voldoende te zijn. Het lasbad van de verbindingslas mag nooit door de bufferlaag smelten. Als de bufferlaag aangebracht is om een gloeibehandeling na het verbindingslassen te voorkomen, dan dient deze na het slijpen nog ten minste 5 mm dik te zijn, zodat de warmtebehandeling ten gevolge van het verbindingslassen niet de ongewenste structuren in het basismateriaal oplevert die het zonder bufferlaag ook zou opleveren. In verbindingslassen bestaan bufferlagen altijd uit twee of meer gelaste lagen.

#### 3.3 Typen lastoevoegmateriaal

Bij ongelijksoortige lasverbindingen worden, afhankelijk van de te lassen combinaties, vele verschillende lastoevoegmaterialen gebruikt. In dit deel worden de volgende 5 groepen lastoevoegmaterialen onderscheiden:

##### 1. ferritische lastoevoegmaterialen

Verscheidene ferritische lastoevoegmaterialen zijn bekend:

- ▶ on- en laaggelegeerd (C-Mn);
- ▶ verschillende kruipvaste Cr-Mo;
- ▶ ferritisch en martensitisch roestvast staal.

Ferritisch roestvast staal wordt bij voorkeur gelast met austenitische overgangselektroden van het type 309.

## 2. austenitische lastoevoegmaterialen

Omdat een austenitische structuur slechts in zeer geringe mate verontreinigingen kan opnemen, is deze zeer gevoelig voor warmscheuren die direct na stolling ontstaan. De aanwezigheid van enige procenten  $\delta$ -ferriet in het lasmetaal vermindert de warmscheurgevoeligheid aanzienlijk.

In een goede las ontstaat door een juiste balans van austeniet- en ferriet-bevorderende legeringselementen, een ferrietpercentage van 3 tot 8%. Met het Schaeffler-diagram kan vooraf een goede indruk worden verkregen van de hoeveelheid  $\delta$ -ferriet.

Voorbeelden van lastoevoegmaterialen met  $\delta$ -ferriet die gebruikt worden voor ongelijksoortige lasverbindingen zijn E 309L (23Cr-12Ni), E 312 (30Cr - 9Ni) en E 329 (25Cr - 4Ni).

## 3. volaustenitische roestvaste lastoevoegmaterialen

Voor hitte- en enkele corrosievaste toepassingen van roestvast staal is  $\delta$ -ferriet in het lasmetaal niet toegestaan. In sommige corrosieve milieus kan  $\delta$ -ferriet de corrosieve aantasting van het lasmetaal bevorderen, in hittevaste austenitische staalsoorten bevordert het de vorming van de brosse  $\sigma$ -fase. Vanwege het ontbreken van  $\delta$ -ferriet, is dit lasmetaal zeer warmscheurgevoelig. Ook het bijleggen met koper verhoogt de warmscheurgevoeligheid. Dit kan worden verminderd wanneer het lasmetaal ten minste 4% mangaan bevat.

De viscositeit van het lasmetaal neemt toe met toenemend nikkelgehalte. Omdat deze volaustenitische staalsoorten over het algemeen meer nikkel bevatten dan austenitische staalsoorten die wel  $\delta$ -ferriet bevatten, is de viscositeit hiervan ook hoger.

Een voor het lassen van ongelijksoortige metalen gebruikt lastoevoegmateriaal zonder  $\delta$ -ferriet is bijvoorbeeld E 307 (18Cr-8Ni-6Mn).

## 4. ferritische-austenitische lastoevoegmaterialen (duplex)

Voor ongelijksoortige lasverbindingen tussen ferritisch-austenitisch roestvast staal en lager gelegeerde roestvaste of ongelegeerde staalsoorten kunnen ferritisch-austenitische lastoevoegmaterialen worden toegepast. Ook wordt het veel toegepast voor het oplassen. Voorbeelden van ferritisch-austenitische lastoevoegmaterialen zijn de typen 22Cr-9Ni-3Mo (duplex) en 25Cr-10Ni-4Mo (super-duplex).

## 5. nikkel en nikkelbasis lastoevoegmaterialen

Nikkel of nikkelbasis lastoevoegmaterialen worden toegepast voor hitte- en corrosievaste toepassingen. Voor ongelijksoortige lasverbindingen worden deze ook wel toegepast, omdat de uitzettingscoëfficiënt ligt tussen die van ferritisch en austenitisch staal en omdat het de koolstofdifusie vanuit on- of laaggelegeerde staalsoorten vertraagt.

Nikkel en nikkelbasis lastoevoegmaterialen zijn onder voorwaarden goed te verlassen. De lasbaarheid wordt door een aantal factoren beperkt:

- ▶ vloeibaar nikkel heeft een bijzonder groot vermogen om gasen als waterstof en zuurstof op te nemen. Tijdens stolling daalt deze oplosbaarheid, hetgeen tot porositeit kan leiden. Zuiver nikkel wordt hierom met enige procenten titaan bijgeleerd.

Nikkellegeringen zijn minder gevoelig voor porositeit dan zuiver nikkel;

- ▶ nikkel kan, net als austenitisch stollend roestvast staal, slechts geringe hoeveelheden verontreinigingen oplossen. Het is hierom bijzonder warmscheurgevoelig. Reinheid bij het lassen en schone

naadflanken zijn hierom noodzakelijk. De warmscheurgevoeligheid wordt verminderd door bijleggen met mangaan;

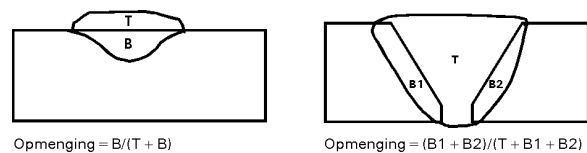
- ▶ vloeibaar nikkel en vloeibare nikkellegeringen zijn zeer viskeus.

Veel gebruikte typen nikkelbasis lastoevoegmaterialen voor ongelijksoortige lasverbindingen zijn:

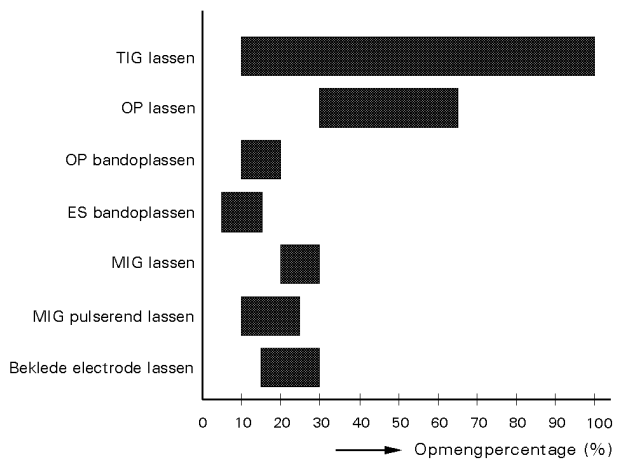
- ▶ E NiCrFe-2 (Ni - 15Cr - 2Nb);
- ▶ E NiCrFe-3 (ca.70Ni - 15Cr - 8Mn - 2Nb);
- ▶ E NiCrMo-3 (Ni - 22Cr - 9Mo - 3,5Nb);
- ▶ E NiCu-7 (Ni - 30Cu).

## 3.4 Invloed lasprocessen en lasparameters op opmenging

Het smeltbad wordt gevormd door het lastoevoegmateriaal waarin een deel van het omgesmolten basismateriaal oplost. De fractie van het omgesmolten basismateriaal in het totale smeltbad wordt opmenging genoemd (figuur 3.3). Vele combinaties van ongelijksoortige lasverbindingen verdragen slechts een beperkte opmenging van het basismateriaal in het lasbad. De opmenging verschilt sterk per lasproces. Een overzicht hiervan is weergegeven in figuur 3.4.



figuur 3.3 Bepaling van de opmenging



figuur 3.4 Overzicht van de opmengpercentages van diverse lasprocessen

Ook met de lasparameters kan de opmenging worden beïnvloed. Factoren die de opmenging beïnvloeden zijn:

- ▶ stroomtype;
- ▶ stroomsterkte;
- ▶ elektrode diameter;
- ▶ zwaai breedte;
- ▶ lassnelheid;
- ▶ plaatdikte;
- ▶ voorwarmtemperatuur;
- ▶ booglengte;
- ▶ type las (hoeklas of stompe las);
- ▶ slepend of stekend lassen;
- ▶ overlap.



## Hoofdstuk 4

### "Zwart-wit" lasverbindingen

Lasverbindingen tussen on- of laaggelegeerde staal-soorten en roestvaste staal-soorten of nikkelbasisle-geringen worden ook wel zwart-wit lasverbindingen ge-noemd. Deze verbinden materialen van verschillende chemische samenstelling, fysische en/of mechanische eigenschappen. Zij komen veel voor en worden daar-om uitvoeriger besproken.

#### 4.1 Voorbereiding zwart-wit lasverbindingen

Al in het ontwerpstadium moet rekening gehouden worden met deze zwart-wit lasverbindingen. Speciale aandacht moet worden besteed aan:

1. de plaats van een ongelijksoortige las. Deze moet zorgvuldig gekozen worden, zodat voorkomen wordt dat zwart-wit lasverbindingen samenvallen met thermisch of mechanisch hoog belaste zones;
2. de omgeving waar gelast wordt. Zwart-wit lasver-bindingen moeten bij voorkeur in de werkplaats worden gelast. In uitzonderingssituaties kan een montagelas worden gemaakt met geprefabriceerde tussenstukken.

Bij de uitvoering is het verstandig om slechts zeer ervaren lassers in te zetten voor het leggen van de zwart-wit lasverbinding.

#### 4.2 Niet destructief onderzoek

De mogelijkheden om achteraf met niet-destructief onderzoek de kwaliteit van de lasverbinding te contro-leren zijn beperkt. Penetrant en radiografisch scheur-onderzoek zijn mogelijk bij zwart-wit lasverbindingen.

Wanneer austenitische staalsoorten worden gelast, geeft magnetisch scheuronderzoek schijnaanteke-ningen door verschillen in magnetische permeabiliteit over de lasverbinding. Van de ultrasoon onderzoeks-technieken is alleen het semi-geautomatiseerd P-scan onderzoek geschikt. Standaard ultrasoon scheuronder-zoek geeft problemen in chroom-nikkel staalsoorten. Microscheuren zijn nauwelijks te detecteren en sten-gelkristallen zijn moeilijk te onderscheiden van scheu-ren. Macroscheuren in ferriet zijn wel te detecteren, waardoor het mogelijk is scheurdieptes van macro-scheuren af te schatten.

#### 4.3 Indeling verschillende gebruiksgroepen

De eisen die aan een zwart-wit lasverbinding gesteld moeten worden en de daarbij behorende keuzes die gemaakt moeten worden, zijn afhankelijk van de con-dities waarin deze worden gebruikt. In deze voorlich-tingspublicatie is onderscheid gemaakt tussen de con-dities volgens de Duitse indeling. De Duitse indeling is weergegeven in tabel 4.1

Zwart-wit lasverbindingen uit groep I bevinden zich buiten het corrosieve milieu. Ook hoeft het onge-legerde staal geen warmtebehandeling te ondergaan. Deze lasverbindingen kunnen zonder problemen wor-den gelast met een overgelegeerd austenitisch lastoe-voegmateriaal, bijvoorbeeld van het type E 309L (23Cr - 13Ni). Het overgelegeerde austenitische las-toevoegmateriaal moet zodanig worden gekozen dat geen harde martensitische fasen ontstaan in het las-metaal. Ook moet worden gewaakt voor warmscheu-ren door opmenging van verontreinigingen vanuit het ferritische staal.

Zwart-wit lasverbindingen uit groep II bevinden zich wel in het corrosieve milieu. Omdat het ongelegerde staal nauwelijks corrosieweerstand heeft, komt deze niet in aanraking met het corrosieve milieu. Een ty-

tabel 4.1 Duitse indeling van de verschillende gebruiksgroepen

groep	kenmerken/gevaar voor	typisch voorbeeld
I	kenmerken: - gebruikstemperatuur $< 300^{\circ}\text{C}$ en $> -20^{\circ}\text{C}$ - las wordt slechts mechanisch belast - geen warmtebehandeling  gevaar voor: - martensiet vorming - warmscheuren door primair austenitisch stollend lasmetaal - achteruitgang taaiheid	
II	kenmerken: - als I, en/of: - corrosief milieu - warmtebehandeling wordt uitgevoerd na het lassen  gevaar voor: - als I, maar ook: - achteruitgang corrosiebestendigheid - te lage rekgrens door warmtebehandeling	
III	kenmerken: - als I of II en/of - temperatuur van de las $> 300^{\circ}\text{C}$ of $< -20^{\circ}\text{C}$ - er vinden temperatuurwisselingen plaats $> 150^{\circ}\text{C}$ - er wordt een warmtebehandeling uitgevoerd  gevaar voor: - als I en II, maar ook: - koolstofdifusie - spanningen door verschillen in rekgrens, hoge-temperatuur sterkte of uitzettingscoëfficiënt	

pische uitvoeringsvorm hiervan zijn de lassen in geplaat of opgelast materiaal.

Zwart-wit lasverbindingen uit groep III worden aan zeer hoge of lage bedrijfstemperatuur blootgesteld en/of ondergaan na het lassen een warmtebehandeling. Ook wanneer de lasverbinding op temperatuurwisselingen wordt belast die groter zijn dan 150°C, valt deze lasverbinding onder groep III.

Deze lassen worden gelast met nikkelbasis lastoewegmateriaal, omdat:

- ▶ de uitzettingscoëfficiënt ligt tussen die van ongelegeerd staal en austenitisch roestvast staal;
- ▶ de diffusiecoëfficiënt van koolstof in nikkel zeer laag is, waardoor bij temperaturen boven 300°C minder ont- of opkoling optreedt;
- ▶ het bij warmtebehandelingen een goede weerstand heeft tegen het vormen van de brosse  $\sigma$ -fase;
- ▶ geen gevaar bestaat voor omzetten van metastabiel austeniet naar ferriet bij zeer lage temperaturen.

Voorbeelden van de belangrijkste corrosievormen zijn:

- ▶ **oxidatie**  
Tijdens een gloeibehandeling of tijdens langdurige expositie aan hoge temperatuur kunnen met name de on- of laaggelegeerde staalsoorten snel worden aangetast;
- ▶ **corrosie vermoeiing**  
Wanneer een materiaal in een corrosief milieu aan een vermoeiingsbelasting wordt onderworpen, kan deze combinatie versneld leiden tot breukschade;
- ▶ **galvanische corrosie**  
Indien een elektrolyt aanwezig is, kan het potentiaalverschil tussen de legeringen versnelde aantasting veroorzaken van de minst edele zijde. Vaak vormt zich een kerf op de overgang, waaruit scheuren kunnen initiëren;
- ▶ **spanningscorrosie**  
Spanningscorrosie ontstaat wanneer trekspanningen aanwezig zijn in een materiaal dat zich bevindt in een hiervoor gevoelige milieu/materiaal combinatie. Hierbij moet vooral gedacht worden aan chloride-houdende milieus bij austenitisch roestvast staal en nitraat-houdende milieus bij ongelegeerd staal;
- ▶ **waterstof geïnduceerde spanningscorrosie**  
In zwart-wit lasverbindingen moeten lokale harde martensietstructuren worden vermeden. Martensiet in de overgangzone van de las kan waterstof geïnduceerde spanningscorrosie veroorzaken. Bronnen van atomaire waterstof zijn zuren en zwavelwaterstof of koolmonoxide in combinatie met water. Beitsen kan eveneens de vorming van atomaire waterstof tot gevolg hebben en moet derhalve met grote omzichtigheid worden toegepast.

#### 4.4 Mechanische belastingen

Naast corrosie moet ook rekening worden gehouden met mechanische belastingen, met name bij hogetemperatuur belasting of temperatuur-wisselbelastingen. Doordat materialen met een verschillende uitzettingscoëfficiënt met elkaar worden verbonden, ontstaan dilatatiespanningen. In dit opzicht zijn nikkelbasis lastoewegmaterialen gunstig, omdat de uitzettingscoëfficiënt tussen die van ongelegeerd staal en austenitisch roestvast ligt.

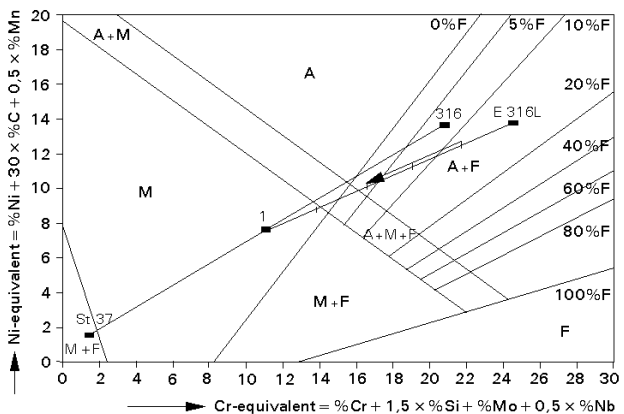
Als temperatuurwisselingen regelmatig voorkomen, zoals bij batchprocessen in de chemische industrie, dan kan bij een temperatuur royaal onder de 300°C al vroegtijdig schade ontstaan door thermische vermoei-

ing. Als algemeen aanvaarde grens geldt dat, indien temperatuurwisselingen groter dan 150°C frequent voorkomen, een zwart-wit lasverbinding moet worden voorkomen. Deze lasverbindingen moeten in ieder geval gelast worden met een nikkelbasis lastoewegmateriaal.

#### 4.5 Structuur van het lasmetaal

Indien austeniet-ferriet overgangslas worden gemaakt zonder of met eenzelfde lastoewegmateriaal als één van beide basismaterialen, dan ontstaan harde martensitische fasen in een lasmetaal. Deze hebben een zeer geringe taaiheid en zijn daarom niet toelaatbaar.

Het probleem bij het bepalen van de structuur van het gestolde smeltbad is, dat deze in grote mate wordt beïnvloed door de afkoelsnelheid. Hierdoor zijn de bekende evenwichtsdiagrammen niet toepasbaar. Op basis van lasexperimenten heeft Schaeffler een diagram opgesteld dat een bruikbare benadering geeft voor de te verwachten structuren van het gestolde smeltbad (figuur 4.1).



figuur 4.1 Het Schaeffler-diagram: F = ferriet; A = austeniet; M = martensiet

Uit het Schaeffler-diagram kan de structuur van het lasmetaal worden bepaald met een nikkel- en chroomequivalent. De austeniet vormende elementen zijn in het nikkelequivalent en de ferriet vormende elementen in het chroomequivalent verwerkt. Het nikkelequivalent  $Ni_{eq}$  en het  $Cr_{eq}$  kunnen worden berekend met de volgende formules:

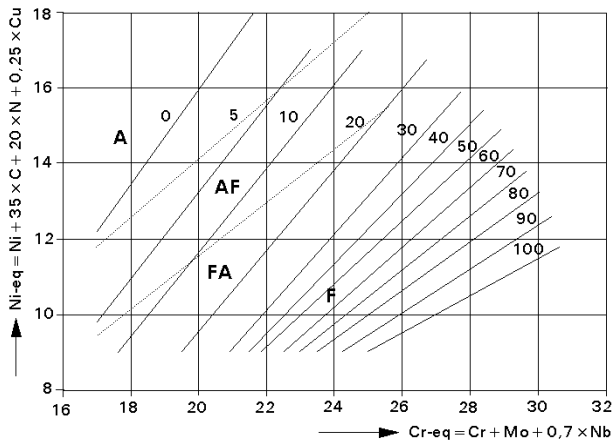
$$Ni_{eq} = Ni\% + 0,5 \times Mn\% + 30 \times C\%$$

$$Cr_{eq} = Cr\% + 1,5 \times Si\% + Mo\% + 0,5 \times Nb\%$$

Het Schaeffler-diagram is in de loop der tijd diverse keren lokaal aangepast, waardoor ook Schaeffler-De-Long, Sievert en WRC-diagrammen zijn ontstaan. De meest recente is het WRC-1992-diagram (figuur 4.2).

Het bepalen van de chroom- en nikkelequivalenten op basis van samenstelling is een benadering. Daarom moet bij de interpretatie van de resultaten rekening worden gehouden met een onnauwkeurigheid. De bepaalde structuur mag niet als vaststaand worden beschouwd en het is aan te bevelen enige marge in te bouwen, wanneer de samenstelling zich in het diagram in de buurt bevindt van brosse fasen.

Uit het diagram blijkt, dat wanneer een ferritisch materiaal (zoals de in de figuur aangegeven St 37 (S235) en St 52 (S355)) aan een austenitisch roestvast staal (zoals AISI 304, 316, 321 of 347) wordt gelast zon-



figuur 4.2 Het WRC-1992-diagram

der lastoefoegmateriaal, er een volledig martensitisch lasmetaal ontstaat (figuur 4.1, punt 1). Ook wanneer er wordt gelast met een lastoefoegmateriaal passend bij roestvast staal, dan zal er een lasmetaal met martensiet ontstaan, wanneer de opmenging groter is dan circa 25%. Pas wanneer lasverbindingen worden gelast met overgeleegerd of nikkelbasis lastoefoegmateriaal, ontstaan structuren zonder harde fasen. Als overgeleegerd lastoefoegmateriaal worden meestal E 309L (23Cr-13Ni), E 307 (18Cr-8Ni-6Mn), E 312 (29Cr-9Ni) of E 329 (25Cr-Ni) type lastoefoegmaterialen gebruikt. Er moet wel rekening mee worden gehouden dat, ook wanneer overgeleegerde austenitische of nikkelbasis lastoefoegmaterialen toegepast worden, de toelaatbare opmenging beperkt is.

#### 4.6 Opmengzones

Door opmenging van het on- of laaggeleegerde materiaal in het smeltbad ontstaat naast de smeltlijn een zone die martensiet vormt tijdens de afkoeling. Dit kan niet worden voorkomen. Wanneer met laag waterstof elektroden wordt gelast, dan veroorzaakt deze zone geen lasproblemen. Het in de WBZ (warmte beïnvloede zone) opgenomen waterstof lost goed op in het zachte austenitische lasmetaal. Problemen in deze zone ontstaan over het algemeen wanneer door opname van verontreinigingen te veel waterstof in het lasmetaal wordt opgenomen. Hoge spanningen worden ook opgevangen door vervorming van het zachte austenitische lasmetaal.

#### 4.7 Warmscheuren

Een tweede scheurfenomeen dat kan voorkomen in zwart-wit lasverbindingen zijn warmscheuren. Vaak worden deze veroorzaakt door verontreinigingen in het lasmetaal die afkomstig zijn van on- of laaggeleegerd basismateriaal. Vol-austenitische en nikkelbasis lastoefoegmaterialen zijn het meest gevoelig voor warmscheuren. De gevoeligheid in volledig austenitisch of nikkelbasis lasmetaal kan drastisch worden verminderd door verhoging van het mangaangehalte in het lastoefoegmateriaal. In austenitische lasmetalen met  $\delta$ -ferriet is de warmscheurgevoeligheid nauwelijks aanwezig. Om deze reden moeten zwart-wit lasverbindingen altijd worden gelast met lastoefoegmateriaal dat met voldoende mangaan gelegeerd is of met lastoefoegmateriaal dat bij stolling 3 tot 8%  $\delta$ -ferriet vormt. Overgeleegerd lastoefoegmateriaal van het type E 310 moet hierom sterk worden afgeraden.

De warmscheurgevoeligheid neemt toe wanneer de opmenging van ongeleegerd staal toeneemt, omdat het percentage  $\delta$ -ferriet afneemt bij toenemende opmenging.

#### 4.8 Koolstofmigratie

Wanneer zwart-wit lasverbindingen aan hoge temperatuur worden blootgesteld, ontstaat het risico van koolstofmigratie over de smeltlijn bij het laaggeleegde basismateriaal, hetgeen leidt tot opkoling van het lasmetaal en ontkoling van het basismateriaal. Met name austenitische lasmetalen zijn hiervoor gevoelig. De door de ontkoling veroorzaakte sterktereductie van het basismateriaal heeft meerdere malen tot schade geleid.

Vanwege de geringere diffundeerbaarheid van koolstof in nikkelbasis lasmetaal, treedt dit probleem bij nikkelbasis lastoefoegmaterialen nauwelijks op.

Als algemeen toegepaste grens waarboven een nikkelbasis lastoefoegmateriaal wordt voorgeschreven, is een gebruikstemperatuur boven 300°C, of wanneer na het lassen een warmtebehandeling moet worden uitgevoerd.

Het voordeel van een nikkelbasislegering is tevens dat deze een uitzettingscoëfficiënt heeft dat tussen die van ongeleegerd staal en roestvast staal in ligt, waardoor dilatatiespanningen lager zijn. Wanneer de lasverbinding door temperatuurverschillen op spanningswisselingen wordt belast, dan is de belasting veroorzaakt door 300°C te hoog. Als algemeen aanvaarde grens geldt dat, indien temperatuurwisselingen groter dan 150°C frequent voorkomen, een zwart-wit lasverbinding moet worden voorkomen.

Indien niet met een nikkelbasis las kan worden volstaan, zoals bijvoorbeeld onder hoge-druk waterstof, moet worden uitgeweken naar een flensverbinding.

#### 4.9 Warmtebehandelingen

Voor vele staalsoorten is na het lassen een gloeibehandeling (PWHT, Post Weld Heat Treatment) noodzakelijk. De temperaturen waarbij deze warmtebehandelingen bij ongeleegerde C-Mn en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten worden uitgevoerd, liggen tussen 580 en 760°C. In dit temperatuurtraject sensitiseert (gevoelig raken voor interkristallijne corrosie) austenitisch roestvast staal of het vormt  $\sigma$ -fase. Dit leidt tot verbrossing of teruggang in corrosieweerstand. Deze gloeibehandeling is daarom ongewenst voor veel roestvaste staalsoorten.

Indien het roestvaste staal niet mag worden gegloeid, dan dient het ongeleegerde C-Mn staal of kruipvast Cr-Mo staal eerst met een nikkelbasis lastoefoegmateriaal gebufferd en gegloeid te worden, waarna de verbinding las kan worden gemaakt zonder gloeibehandeling. Wanneer deze materialen worden opgelast, is het aan te bevelen de gloeibehandeling uit te voeren nadat de eerste laag is gelast.

Wanneer geplasteerde materialen na het lassen moeten worden gegloeid, ontkomt het roestvaste staal niet aan een PWHT. Hierbij moet worden geëvalueerd of de corrosiebestendigheid door de gloeibehandeling na het lassen (PWHT) niet onacceptabel wordt aangetaast. Dit kan bijvoorbeeld door een corrosieproef uit te voeren, waarmee wordt vastgesteld of er wel of geen ontoelaatbare sensitisering is opgetreden.

## Hoofdstuk 5

### Lasverbindingen in geplateerd staal

Door on- of laaggelegerd staal van een dunne laag roestvast staal of nikkelbasislegering te voorzien, kan deze aan de platerlaagzijde corrosievast worden gemaakt. De functie van sterkte en corrosievastheid wordt hierdoor gescheiden. Vooral bij dikwandige materialen kan dit prijstechnisch gunstig zijn. Een overzicht van veel voorkomende geplateerde materialen en platerlagen is weergegeven in bijlage A.

Als basismaterialen worden onder ander toegepast:

1. ongelegerd staal (zoals St 37 of St 52);
2. ketelplaat (zoals H II);
3. laaggelegerde kruipvaste staalsoorten (zoals 15Mo3 en 13CrMo44).

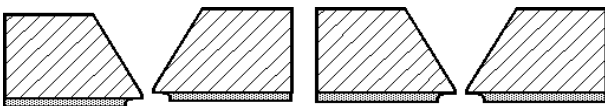
Er zijn vele platerlegeringen mogelijk, zoals:

1. ferritische roestvaste staalsoorten;
2. austenitische roestvaste staalsoorten;
3. ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten (duplex);
4. corrosievaste nikkelbasislegeringen;
5. koperbasislegeringen.

Met inachtname van enkele randvoorwaarden zijn geplateerde materialen goed lasbaar. Deze zijn:

1. Bij het lassen van het basismateriaal met een on- of laaggelegerde elektrode mag het lasmetaal niet met de platering in aanraking komen. Een hoogteverschil door een verschuiving van de platerlaag (zogenaamde "high-low", zie figuur 5.1) leidt zonder meer tot harde zones in het lasmetaal. Daarom moeten geplateerde staalsoorten exact tegen elkaar aanliggen.
2. Het lassen van de laag, die basismateriaal en platerlaag met elkaar verbinden, moet geschieden met een overgangselektrode.
3. Een las zoals weergegeven in figuur 5.1a zou dan gelast moeten worden met:
  - roestvast staal aan roestvast staal, roestvast staal lastoevoegmateriaal;
  - bufferlaag, zie punt 2;
  - ongelegerd aan ongelegerd staal met een ongelegerd lastoevoegmateriaal (indien gelast vanaf de platerlaagzijde).

De werkwijze voor het verbindlassen van geplateerde materialen wordt sterk bepaald door de toegankelijkheid van de platerlaagzijde. De platerlaag zou nog gelast kunnen worden na de gloeibehandeling.

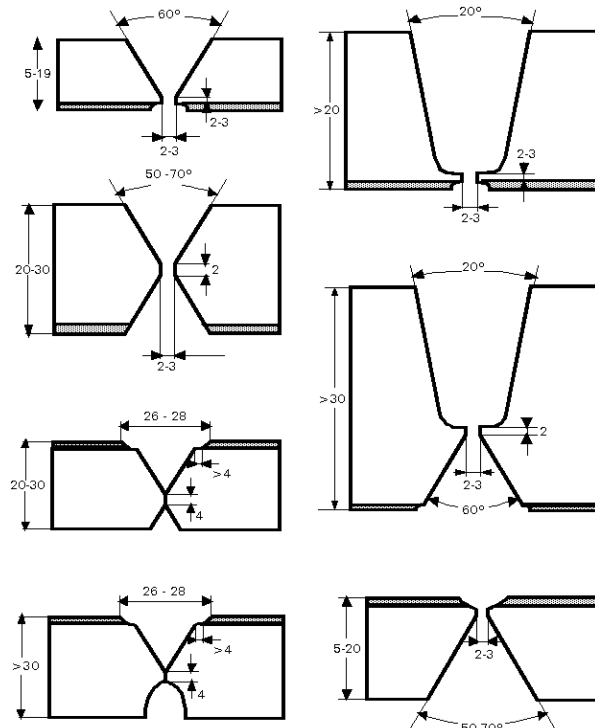


figuur 5.1 Las met high-low (a) en las met goed aanliggende platerlaag (b)

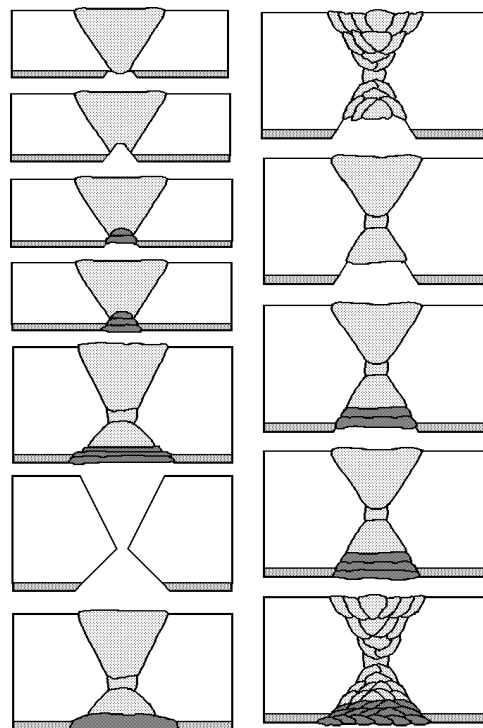
#### 5.1 Materiaal is toegankelijk aan platerlaagzijde

Als het geplateerde materiaal aan beide zijden toegankelijk is, dan dient het basismateriaal eerst te worden gelast. Voor het lassen moet de dikte van de platerlaag + ongeveer 1 mm van het basismateriaal worden verwijderd. De randen van de platerlaag dienen te worden afgerond om slakinsluitingen te voorkomen.

Verwijdering kan worden gecontroleerd met een keuzout- of kopersulfaatoplossing. Voorbeelden van lasnaadvoorbewerkingen zijn gegeven in figuur 5.2. De volgorde van handelingen is schematisch weergegeven in figuur 5.3. De eerste laag moet altijd worden



figuur 5.2 Voorbeelden van lasnaadvoorbewerkingen

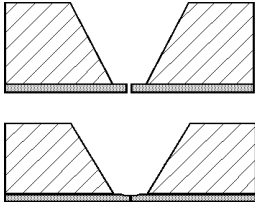


figuur 5.3 Volgorde van handelingen

uitgeslepen voordat met het lassen aan de platerlaagzijde wordt aangevangen. Als op het basismateriaal na het lassen een gloeibehandeling (PWHT) moet worden uitgevoerd, dan ontkomt de platerlaag niet aan een gloeibehandeling.

## 5.2 *Materiaal is alleen toegankelijk aan de basismateriaalzijde*

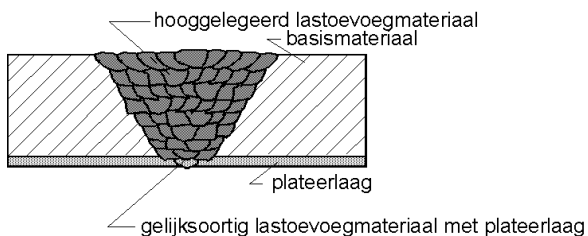
Als het lassen uitsluitend vanaf de zijde van het basismateriaal kan worden uitgevoerd, zoals bij het lassen van inwendig geplaatste pijpen, dan moet eerst de plaatelaag worden gelast. Meestal wordt deze TIG-gelast. Voorbeelden van lasnaadvoorbewerkingen zijn weergegeven in figuur 5.4.



figuur 5.4 Voorbeelden van lasnaadvoorbewerkingen

### 5.2.1 *Vullen met overgelegeerd lastoevoegmateriaal*

Als de plaatelaag gelast is met een overeenkomend lastoevoegmateriaal, kan, zonder speciale maatregelen, niet worden overgestapt naar een laag- of ongelegeerd lastoevoegmateriaal. Door de opmenging van het lasbad met een hooggelegeerd plaatelaagmateriaal ontstaat een harde martensitische structuur in het lasmetaal. Daarom moet de gehele las worden gevuld met een overgelegeerd (bijvoorbeeld type E 309L) of nikkelbasis (bijvoorbeeld E NiCrFe-3) lastoevoegmateriaal. Een voorbeeld van een las gevuld met een overgelegeerd lastoevoegmateriaal is weergegeven in figuur 5.5.



figuur 5.5 Las gevuld met een overgelegeerd toevoegmateriaal

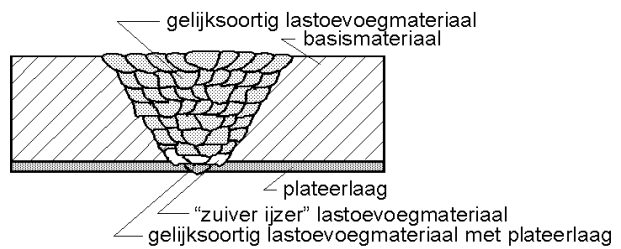
### 5.2.2 *Vullen met een overeenkomend lastoevoegmateriaal*

Overgang naar een on- of laaggelegeerd lastoevoegmateriaal is mogelijk door een lastoevoegmateriaal te kiezen dat een lasmetaal met een laag koolstofpercentage oplevert. Hierdoor blijft de hardheid van de gevormde martensiet beperkt. Er zijn voor dit doel zuiver ijzer elektroden van het basische type en een zeer laag koolstofgehalte ontwikkeld. Door het lage koolstofpercentage zal de eventueel gevormde martensiet relatief zacht en taai zijn. Een voorbeeld van een lasverbinding is weergegeven in figuur 5.6. Daar de sterkte van de zuiver ijzerelektrode laag is, zal de totale sterkte van de lasverbinding ook afnemen. De constructie zal hierop moeten worden geëvalueerd.

Tijdens het lassen dient de lasser erop te letten dat:

1. de opmenging van het basismateriaal in het lasbad gering is, omdat anders het koolstofgehalte van het lasmetaal toch aanzienlijk verhoogd wordt (denk bijvoorbeeld aan St. 52 van het klassieke type met  $C = 0,18\%$ );

2. er echter ook weer niet zo weinig inbranding plaatsvindt dat aanvloeiingsproblemen ontstaan.

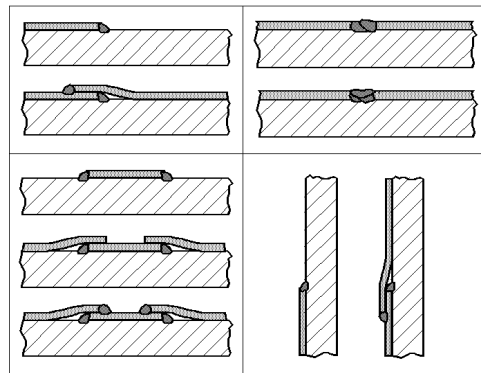


figuur 5.6 Voorbeeld van een lasverbinding waarbij is gebruikgemaakt van een zuiver ijzer elektrode

## 5.3 *Lassen van linings*

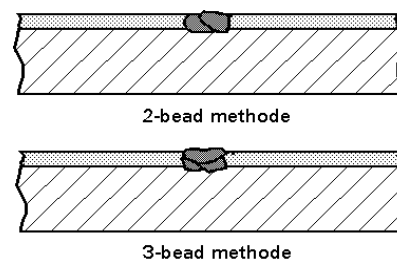
Linings bestaan uit loshangende of -liggende platen die aan de rand zijn vastgelast. In het midden worden deze dunwandige platen ondersteund door de tank- of pijpconstructie. Zo kan een tank of pijp inwendig van corrosiebestendig materiaal worden voorzien.

Er zijn verschillende technieken om linings vast te lassen. In principe kunnen alle lasprocessen worden toegepast. In Duitsland zijn grote oppervlakken in rookgasontzwevelingsinstallaties bij kolengestookte elektriciteitscentrales gelast met een geautomatiseerd TIG-lasproces met warme draadtoevoer. Er zijn vele uitvoeringen mogelijk (figuur 5.7). Een belangrijke factor die de lasgeometrie bepaald, is de corrosiviteit van het medium. In een sterk corrosief milieu mag het lasmetaal niet te veel opgemengd zijn met het onderliggende basismateriaal. Door te werken met overlappingsen kan opmenging geheel worden voorkomen.



figuur 5.7 Verschillende mogelijkheden om linings aan te brengen

Als dit niet gewenst is, kan worden gelast met de 3-bead methode, waardoor opmenging van het basismateriaal ook beperkt is (figuur 5.8).



figuur 5.8 Voorbeeld van de 2-bead en de 3-bead methode



## Hoofdstuk 6

### *Lasverbindingen tussen verschillende ongelegeerde C-Mn staalsoorten*

Lasverbindingen tussen verschillende on- of laaggelegeerde staalsoorten komen veel voor in de machine-industrie. Hier worden staalsoorten met verschillende sterkte veel aan elkaar verbonden.

De lasbaarheid van deze combinatie wordt in sterke mate bepaald door het materiaal met het hoogste koolstofequivalent  $C_{eq}$ . Het koolstofequivalent is een maat voor de mate van harding die optreedt in de WBZ bij het lassen en kan als volgt uit de samenstelling worden bepaald:

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Cr + \%Mo + \%V}{5} + \frac{\%Ni + \%Cu}{15}$$

Voor het lassen van ongelijksoortige metalen in on- of laaggelegeerd staal met verschillende  $C_{eq}$  gelden de volgende richtlijnen:

- ▶ de lasparameters, voorwarmtemperatuur en PWHT temperatuur, worden geselecteerd voor het staal met het hoogste  $C_{eq}$ ;
- ▶ het lastoevoegmateriaal wordt geselecteerd voor het staal met de laagste  $C_{eq}$ ;
- ▶ lastoevoegmateriaal met zeer laag waterstofgehalte toepassen;
- ▶ de sterkte van het lasmetaal dient minimaal overeen te komen met die van het minst sterke staal.

Wanneer de lasparameters en -toevoegmateriaal goed gekozen zijn, ontstaat een lasverbinding die een gemiddelde sterkte heeft van beide afzonderlijke materialen.

De materiaalcombinaties komen voornamelijk als verbindingslas voor, oplassen gebeurt minder.

In principe kan deze materiaalcombinatie met ieder lasproces voor verbindingslassen worden gemaakt (zie bijlage B).

## Hoofdstuk 7

### Lasverbindingen tussen C-Mn en Cr-Mo staalsoorten en verschillende kruipvaste Cr-Mo staalsoorten

De lasbaarheid van deze combinaties wordt voornamelijk bepaald door de verschillende gloeitemperaturen. Als deze teveel van elkaar verschillen, dan bestaat het risico dat de sterkte van de laagst gelegeerde staalsoort te ver daalt.

Als algemene richtlijnen voor het lassen van deze combinaties gelden:

1. het lastoevoegmateriaal wordt geselecteerd bij het laagst gelegeerde staal;
2. de voorwarmtemperatuur wordt bepaald door het hoogst gelegeerde staal (zie tabel 7.1);
3. de temperatuur van de gloeibehandeling na het lassen (PWHT) is het gemiddelde van de temperatuur van beide materialen afzonderlijk (zie tabel 7.1). De gloeitijd is 50% langer dan die van de gemiddelde van beide staalsoorten.
4. indien het verschil in geadviseerde gloeitemperatuur tussen beide afzonderlijke staalsoorten meer dan 80°C bedraagt, dan moet deze combinatie gelast worden met een bufferlaag (zie § 3.2). De volgorde van de werkzaamheden is dan als volgt:
  - de hooggelegeerde zijde wordt eerst gebufferd met een lastoevoegmateriaal voor een tussenliggende legering;
  - deze combinatie wordt gegloeid zoals hierboven beschreven;
  - deze gebufferde en gegloeide staalsoort lassen met het laagst gelegeerde staalsoort met een lastoevoegmateriaal dat geselecteerd is voor het laagst gelegeerde staalsoort;
  - tenslotte een gloeibehandeling uitvoeren zoals beschreven onder punt 3, waarbij de gloeitemperatuur het gemiddelde is van de laaggelegeerde staalsoort en het gebufferde materiaal.

Lassen tussen deze combinaties komen in de praktijk alleen voor als verbindinglassen. In principe komen alle lasprocessen in aanmerking voor deze materiaalcombinaties (bijlage B).

#### 7.1 Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten met $R_e \leq 360 \text{ N/mm}^2$ en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 3%

Het verschil tussen de gloeitemperaturen na het lassen (PWHT) is kleiner dan 80°C. Daarom kan worden volstaan met een PWHT temperatuur die het gemiddelde is van beide legeringen (dus tussen 600 en 640°C, zie tabel 7.1) afzonderlijk en een gloeitijd die 50% langer is dan het gemiddelde van beide legeringen. Lastoevoegmateriaal wordt geselecteerd passend bij het C-Mn staal.

#### 7.2 Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten met $R_e > 360 \text{ N/mm}^2$ en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 3%

In principe geldt voor deze combinatie dezelfde condities als beschreven in §7.1.

Als de sterkte van het hoge-rek grens staal door de PWHT warmtebehandeling te ver achteruitgaat, dan dient de Cr-Mo zijde eerst gebufferd en gegloeid te worden. Deze combinatie kan dan zonder warmtebehandeling achteraf aan elkaar worden gelast.

#### 7.3 Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten met $R_e \leq 360 \text{ N/mm}^2$ en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 5%

Het verschil in gloeitemperatuur na het lassen (PWHT) bedraagt 140°C (zie tabel 7.1). Hierdoor zal de sterkte van het C-Mn staal te ver dalen. Om deze reden dient het 5Cr-1Mo staal eerst gebufferd te worden met een tussenliggend lastoevoegmateriaal en hierna gegloeid te worden. De bufferlaag dient na het slijpen nog ten minste 5 mm dik te zijn. Als dit is gebeurd, kan de verbinding las worden gemaakt met een lastoevoegmateriaal van het C-Mn staaltype.

Dit proces laat zich het best illustreren met een voorbeeld:

Een tussenliggend lastoevoegmateriaal is een kruipvaste 1Cr-0,5Mo staalsoort (E 8018). Deze kan eerst op de 5Cr-1Mo laskant gebufferd worden met een dikte na slijpen van ten minste 5 mm. Deze combinatie kan dan worden gegloeid op een gemiddelde temperatuur (680-720°C). De gloeiduur is 50% langer is dan het gemiddelde van beide.

tabel 7.1 Voorwarm- en PWHT temperaturen voor verschillende ongelegeerde C-Mn en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten

	voorwarmtemperatuur	PWHT temperatuur
<i>C-Mn staalsoorten</i>	20°C	580-620°C
<i>Cr-Mo staalsoorten met Cr ≤ 3%</i>		
0,3% Mo staal	100-150°C <sup>1)</sup>	580-620°C
1Cr-0,5Mo staal	100-150°C <sup>1)</sup>	640-680°C
2,25Cr-1Mo (maximale sterkte)	200°C <sup>1)</sup>	630-670°C
2,25Cr-1Mo (waterstof condities)	200°C <sup>1)</sup>	680-720°C
<i>Cr-Mo staalsoorten met Cr ≤ 5%</i>		
5Cr-1Mo staal	200-250°C	720-760°C
<i>Cr-Mo staalsoorten met Cr = 9% of 12%</i>		
9Cr-1Mo staal	200-250°C	720-780°C
T91 / P91	200-250°C	720-760°C
X20	200-250°C	720-760°C
1) indien noodzakelijk		

Hierna kan de verbindingslas worden gemaakt tussen het C-Mn staal en het gebufferde 5Cr-1Mo staal met een lastoevoegmateriaal passend bij het C-Mn staal. De PWHT gloeibehandeling hierna kan met een gemiddelde temperatuur van C-Mn staal en die van 1Cr-0,5Mo staal uitgevoerd worden (610-650°C).

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### **7.4 *Lasverbindingen tussen kruipvaste chroomstaalsoorten met 3% of minder chroom en kruipvaste staalsoorten met 5% chroom***

Als de 1Cr-0,5Mo of 2,25Cr-1Mo kruipvaste staalsoorten verbonden moeten worden met een 5Cr-1Mo kruipvaste staalsoort, dan is het verschil in gemiddelde PWHT temperatuur minder dan 80°C. Deze combinaties mogen met een lastoevoegmateriaal passend bij de laagst gelegeerde staalsoort worden gelast (dus E 8018 voor 1Cr-0,5Mo en E 9018 voor 2,25Cr-1Mo staal). De gloeitemperatuur na het lassen (PWHT) is circa 700°C, de gloeiduur is 50% langer dan die van het gemiddelde van beide materialen afzonderlijk.

Het verschil in gloeitemperatuur tussen kruipvaste staalsoorten met 0,3% Mo (15Mo3) en 5Cr-1Mo staal is meer dan 80°C. Om deze reden dient gelast te worden met een bufferlaag van bijvoorbeeld 1Cr-0,5Mo (E 8018) op de laskant van het 5Cr-1Mo staal. De bufferlaag dient na het slijpen nog ten minste 5 mm dik te zijn. Deze werkwijze is uitvoering beschreven in § 7.3.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### **7.5 *Lasverbindingen tussen C-Mn staalsoorten en Cr-Mo staalsoorten met 9% of 12% chroom***

Het verschil in de gloeitemperatuur (PWHT) tussen beide staalsoorten is 150°C (zie tabel 7.1). Daarom dient deze combinatie te worden gelast met een bufferlaag op het 9Cr-1Mo staal.

Eén mogelijkheid is het bufferen van de lasflanken van het 9Cr-1Mo staal met bijvoorbeeld type 2,25Cr-1Mo lastoevoegmateriaal (type E 9018). De laagdikte hiervan dient na slijpen nog ten minste 5 mm te bedragen. Deze combinatie dient men een gloeibehandeling (PWHT) te geven op bijvoorbeeld 680-720°C gedurende een tijd die 50% langer is dan van beide componenten afzonderlijk. Deze combinatie kan dan vervolgens worden gelast met het C-Mn staal met een lastoevoegmateriaal passend bij het C-Mn staal. Vervolgens kan op de gehele lasverbinding een gloeibehandeling worden uitgevoerd van bijvoorbeeld 610-650°C gedurende een tijd die 50% langer is dan die van het gemiddelde van de beide staalsoorten.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### **7.6 *Lasverbindingen tussen kruipvaste staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 3% en kruipvaste staalsoorten met een chroomgehalte van 9 of 12%***

Het lassen van deze combinatie kan op exact dezelfde wijze worden uitgevoerd als beschreven in § 7.4.

#### **7.7 *Lasverbindingen tussen kruipvaste staalsoorten met een chroomgehalte kleiner dan 5% en kruipvaste staalsoorten met een chroomgehalte van 9 of 12%***

De voorwarm en gloeitemperaturen van deze staalsoorten zijn gelijk.

Om deze reden zijn de gloeibehandelingen hetzelfde als wanneer gelijksoortige lasverbindingen gemaakt zouden worden. Het lassen van deze combinatie kan worden uitgevoerd met een lastoevoegmateriaal passend bij het kruipvaste 5Cr-1Mo staal (type E 502).

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

## **Hoofdstuk 8**

### ***Lassen van combinaties met $\leq 9\%$ nikkel staalsoorten***

Met nikkel gelegeerde staalsoorten worden toegepast voor lage-temperatuur toepassingen. Tot en met circa 3,5% nikkel gelegeerde staalsoorten kunnen met een matching lastoevoegmateriaal worden gelast, hierboven worden deze gelast met nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) of E 309 L (23Cr-12Ni). Nikkelbasis lastoevoegmateriaal wordt geselecteerd wanneer een geringer verschil in uitzettingscoëfficiënt vereist is, bijvoorbeeld wanneer in een constructie temperatuurfluctuaties optreden. De sterkte van de lasverbinding is over het algemeen lager. Daarom moet de sterkte van de gehele lasverbinding geëvalueerd worden.

#### **8.1 *Combinaties tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten met $R_e \leq 360 \text{ N/mm}^2$ en staalsoorten met minder dan 9% nikkel***

Op plaatsen waar een ongelegeerd staal met een nikkel gelegeerd materiaal moet worden gelast, zal de gebruikstemperatuur stijgen tot minimaal  $-40^\circ\text{C}$ . De beide staalsoorten zijn niet corrosiebestendig. In principe kan met een ongelegeerd lastoevoegmateriaal worden gelast. Als het nikkelgehalte in het lasmetaal hoger dan 2,5% wordt, dan moet worden overgegaan op een nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCrFe-3.

Ook zijn deze staalsoorten met type E-309L lastoevoegmateriaal gelast. Dit heeft twee voordelen:

1. het is sterker dan E NiCrFe-3;
2. het laat zich veel beter lassen met wisselstroom, hetgeen een voordeel is, omdat het staal magnetisch is.

#### **8.2 *Combinaties tussen austenitische en ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten en staalsoorten met minder dan 9% nikkel***

Deze combinaties kunnen worden gelast met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal, bijvoorbeeld E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb).

Een kritisch punt is de verarming van stikstof in de WBZ van het ferritisch-austenitische roestvaste staal door niobium gelegeerd lastoevoegmateriaal. De meeste nikkelbasis lastoevoegmaterialen zijn met niobium gelegeerd. Door de verarming van stikstof neemt het percentage ferriet in de WBZ toe, waardoor de ductiliteit hiervan afneemt. Indien mogelijk wordt aanbevolen een niobiumvrij nikkelbasis lastoevoegmateriaal te selecteren.

## Hoofdstuk 9

### **Lassen van combinaties van ongelegeerde C-Mn en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten met ijzerbasis roestvaste staalsoorten**

#### **9.1 Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn staalsoorten of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en austenitische roestvaste staalsoorten met $\delta$ -ferriet**

De eisen die aan de las moeten worden gesteld, zijn sterk afhankelijk van het milieu waaraan het wordt geëxposeerd.

Als een las niet aan een corrosief milieu wordt blootgesteld en geen gloeibehandeling hoeft te ondergaan (groep I, zie § 4.3), dan kan de las worden gemaakt met een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal. Om harde martensitische fasen of warmstreeven in het lasmetaal te voorkomen, is het toegestane opmengpercentage beperkt. Om deze reden moet het OP lassen zonder bufferen worden afgeraden. Alle andere lasprocessen zijn in principe mogelijk voor verbindinglassen (bijlage B).

Als een austenitisch materiaal wordt opgelast (groep II), dan moet (met uitzondering van OP- en ES-bandoplassen, zie volgende alinea) eerst een laag met een overgangslaag worden gemaakt met een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal. Als opgelaste delen moeten worden gegloeid, dan wordt meestal eerst een tussenlaag gelast en vervolgens hierop een gloeibehandeling (PWHT) uitgevoerd. Hierna kan de corrosievaste laag worden opgelast zonder gloeibehandeling (PWHT). Er moet rekening worden gehouden met koolstofmigratie over de smeltlijn tijdens de gloeibehandeling (PWHT) en sensitisering en verbrossing van het lasmetaal.

Bij verbindinglassen in geplateerd materiaal wordt de platerlaag altijd gelast met een lastoevoegmateriaal dat overeenkomt met die van de platerlaag. Als vanaf de platerlaagzijde wordt gelast, moet via een overganglastoevoegmateriaal ervoor worden gezorgd dat dit mogelijk is (zie § 5.1).

Als een lasverbinding in geplateerd staal vanaf de niet-platerlaagzijde wordt gelast, moet eerst de platerlaag worden gelast met een overeenkomend lastoevoegmateriaal. Hierna kan op twee manieren de las worden gevuld:

1. met een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal (zie § 5.2.1). Als de bedrijfstemperatuur hoger is dan 300°C, dan moet worden gevuld met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb)
2. via een basische laag waterstof elektrode van zuiver ijzer met een zeer laag koolstofgehalte, kan worden overgegaan naar een overeenkomend lastoevoegmateriaal voor het basismateriaal (zie § 5.2.2).

De opmenging van OP-bandoplassen en zeker het ES-bandoplassen is zo gering, dat zonder een overgangsleding kan worden opgelast zonder dat martensitische fasen ontstaan in het lasmetaal. Voor het ES-bandoplassen zijn lastoevoegmaterialen beschikbaar die zodanig gecorrigeerd zijn, dat het in één laag de gewenste samenstelling oplost. Wel moet worden opgemerkt dat niet kan worden voorkomen dat door

het oplossen de legering wordt opgemengd met koolstof vanuit het onderliggende basismateriaal. Hierdoor sensitiseert de opgelaste corrosievaste legering tijdens een PWHT, met name daar waar lasrupsen elkaar raken. Om deze reden is het vaak noodzakelijk dat meerdere lagen worden opgelast wanneer een PWHT wordt uitgevoerd. Bij voorkeur wordt een PWHT uitgevoerd voordat de laatste laag wordt gelast. Niobium gelegeerde lastoevoegmaterialen van het type E 309Nb (24Cr-13Ni-0,8Nb) hebben dit probleem in mindere mate.

Als een niet gestabiliseerd lastoevoegmateriaal in 1 laag wordt opgelast, moet geëvalueerd worden of de corrosiebestendigheid door de gloeibehandeling na het lassen (PWHT) niet wordt aangetast. Dit kan bijvoorbeeld door een corrosieproef uit te voeren, waarmee wordt vastgesteld of er wel of geen ontoelaatbare sensitisering is opgetreden.

Lassen die een gloeibehandeling ondergaan of die aan temperaturen hoger dan 300°C of lager dan -20°C worden geëxposeerd (groep III), worden gelast met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal. Austenitische roestvaste staalsoorten met  $\delta$ -ferriet verbrossen bij verhoogde temperatuur, zoals tijdens hoge temperatuur toepassingen en PWHT. Bij lage temperaturen bestaat het gevaar voor omzetting van metastabiel austeniet in martensiet.

Lasverbindingen die aan een bedrijfstemperatuur van 300°C of meer worden blootgesteld, worden gelast met een type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) lastoevoegmateriaal. Een type E NiCrMo-3 (Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb) lastoevoegmateriaal wordt bij voorkeur niet toegepast bij temperaturen hoger dan 300°C. Vanwege de goede corrosiebestendigheid wordt type E NiCrMo-3 lastoevoegmateriaal wel toegepast bij temperaturen hoger dan 900°C.

Nikkelbasis lastoevoegmaterialen kunnen gloeibehandelingen in principe goed verdragen. Als een austenitisch type lastoevoegmateriaal wordt toegepast, moet rekening worden gehouden met koolstofdiffusie en teruggang in ductiliteit. Het ferrietpercentage in het lasmetaal moet in dit geval beperkt blijven (tussen 3 en 8%).

Als het austenitische roestvaste staal geen gloeibehandeling verdraagt, dan dient de niet-roestvaste staalzijde eerst te worden gebufferd met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E-NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) en vervolgens een gloeibehandeling te ondergaan. Hierna kan de lasverbinding worden afgelast met hetzelfde nikkelbasis lastoevoegmateriaal zonder PWHT.

Enkele ongelegeerde C-Mn en kruipvaste Cr-Mo staalsoorten moeten worden voorgewarmd. Door het voorwarmen zal het opmengpercentage vanuit het ongelegeerde staal in principe toenemen. Opgelet moet worden voor de vorming van harde martensitische fasen in het lasmetaal door te hoge opmenging.

Vanwege de lage hardheid van het austenitische roestvaste staal en het goede vermogen om waterstof uit de WBZ op te nemen, is het gevaar voor koude scheuren in de WBZ van het ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staal geringer dan wanneer gelijksoortige lassen gemaakt worden. Het voorwarmen kan om deze reden in principe bij een lagere temperatuur plaatsvinden.

Lasverbindingen die worden blootgesteld aan temperaturen lager dan -20°C worden met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) gelast.



### 9.2 *Lasverbindingen tussen verschillende austenitische roestvaste staalsoorten*

Deze combinatie is even goed lasbaar als die van gelijksoortige austenitische roestvaste staalsoorten.

Het lastoevoegmateriaal moet een voldoende corrosieweerstand hebben (ten minste gelijk aan één van beide). Als één van beide roestvaste staalsoorten van een gestabiliseerd type is, dan moet deze met een niobium gestabiliseerd lastoevoegmateriaal worden gelast. Als één van beide roestvaste staalsoorten van het laag-koolstof type is, dan moet het lastoevoegmateriaal ook van het laag-koolstof type of gestabiliseerd zijn.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.3 *Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten en austenitische roestvaste staalsoorten met $\delta$ -ferriet*

De combinatie is even goed lasbaar als die van gelijksoortige lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische (duplex) roestvaste staalsoorten.

Verbindingslassen tussen de lager gelegeerde austenitische roestvaste staalsoorten, waartoe roestvaste staalsoorten met  $\delta$ -ferriet behoren, worden gelast met een type E 309L (23Cr-12Ni) of een ferritisch-austenitisch (duplex) lastoevoegmateriaal, bijvoorbeeld de typen 22Cr-9Ni-3Mo en 25Cr-10Ni-4Mo.

De corrosieweerstand van het lastoevoegmateriaal moet ten minste gelijkwaardig zijn aan één van beide basismaterialen. Austenitische roestvaste staalsoorten met laag-koolstof moeten in principe worden gelast met een laag-koolstof lastoevoegmateriaal, titaan- of niobium-gestabiliseerde basismaterialen in principe met niobium-gestabiliseerd lastoevoegmateriaal. Molybdeen gelegeerde roestvaste staalsoorten moeten met molybdeen gelegeerde lastoevoegmaterialen worden gelast (dus E 309L-Mo of molybdeenhoudende ferritisch-austenitische lastoevoegmaterialen).

Lasverbindingen met een type E 309L (23Cr-12Ni), E 309L-Mo (22Cr-12Ni-3Mo) of ferritisch-austenitisch (22Cr-9Ni-3Mo en 25Cr-10Ni-4Mo) lastoevoegmateriaal zijn meestal sterker dan die van de basismaterialen.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.4 *Lasverbindingen tussen austenitische roestvaste staalsoorten en ferritische roestvaste staalsoorten*

De lasbaarheid van deze combinatie wordt bepaald door de slechte lasbaarheid van het ferritische roestvaste staal. Ferritisch roestvast staal (ook wel ferritisch chroom staal genoemd) blijft zijn ferritische structuur tot aan het smeltpunt houden. Doordat ten gevolge van het lassen het basismateriaal gedurende enige tijd op een temperatuur hoger dan 950°C wordt gegloeid, ontstaat korrelgroei. Hierdoor ontstaat een

zone met een grove structuur die erg bros is. Voorwarmen op 100 tot 200°C vermindert de scheur-gevoeligheid aanzienlijk, doch de mate van korrelgroei neemt toe. Het wordt daarom lang niet altijd toegepast. Lassen in gelijksoortige verbindingen van ferritisch roestvast staal worden in de regel gelegd met een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.5 *Lasverbindingen tussen austenitische roestvaste staalsoorten en martensitische roestvaste staalsoorten*

De lasbaarheid van deze combinatie wordt bepaald door de slechte lasbaarheid van het martensitische roestvaste staal.

Martensitische roestvaste staalsoorten worden meestal gebruikt daar waar naast corrosiebescherming slijtvestheid verlangd wordt. Ze worden bijvoorbeeld veel toegepast voor messen, pompen en kleppen. In gelaste constructies komen ze bijna niet voor.

De kritische afkoelsnelheid is gewoonlijk zo laag dat luchtharding optreedt. Hierdoor ontstaat na het lassen een relatief hard en weinig ductiel materiaal met als grootste probleem koudscheuren. Om deze reden is voorwarmen op 200 tot 300°C noodzakelijk en na het lassen moet langzaam worden afgekoeld. Er wordt meestal geen gloeibehandeling na het lassen (PWHT) uitgevoerd.

De lasbaarheid van martensitische roestvaste staalsoorten met een lager koolstofgehalte (zoals bijvoorbeeld 410S in plaats van 410) is beter dan die met een hoger koolstofgehalte.

In principe kan een lasverbinding tussen een austenitisch roestvast staal en een martensitisch roestvast staal rechtstreeks worden gelegd met een austenitisch lastoevoegmateriaal, bijvoorbeeld E 309L (23Cr-12Ni), E 308L (18Cr-10Ni) of E 316L (18Cr-10Ni-3Mo).

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.6 *Lasverbindingen tussen ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en volaustenitische roest- of hittevaste staalsoorten*

Volaustenitische roestvaste staalsoorten zijn alle hoger gelegeerd dan die met  $\delta$ -ferriet. In deze hooggelegeerde austenitische roestvaste staalsoorten is  $\delta$ -ferriet afwezig, omdat het een negatieve invloed heeft op de corrosieweerstand of, zoals in hittevaste staalsoorten, het de vorming van de brosse  $\sigma$ -fase bevordert. Door de afwezigheid van  $\delta$ -ferriet zijn deze materialen zeer warscheur gevoelig.

Voor lasverbindingen uit **groep I** geldt in principe hetzelfde als beschreven in § 9.1.

Voor lasverbindingen uit **groep II** moet worden aangenomen dat een volaustenitisch materiaal geselecteerd is vanwege de goede corrosieweerstand. De corrosieweerstand van volaustenitische roestvaste staalsoorten

ten is meestal beter dan die van het type E 309L (23Cr-12Ni) of E 309L-Mo (22Cr-12Ni-3Mo), die wel  $\delta$ -ferriet bevatten. Daarom moet de corrosiebestendige zijde worden afgelast met een overeenkomend volaustenitisch lastoefoegmateriaal.

Hooggelegerde volaustenitische lastoefoegmaterialen vormen in ongelijksoortige lasverbindingen meestal geen martensitische fasen. Dit kan met behulp van het Schaeffler diagram worden gecontroleerd. Wel zijn deze lastoefoegmaterialen warmstoevoegvoelig als het mangaangehalte kleiner is dan 4 á 5%. Daarom moet het opmengpercentage beperkt blijven. Enkele volaustenitische roestvaste staalsoorten met een hoog molybdeengehalte worden in gelijksoortige lasverbindingen gelast met een molybdeengelegerd nikkelbasis lastoefoegmateriaal type E NiCrMo-3 (Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb). In die materialen kunnen overganglassen en het oplossen van de corrosievaste zijde bij geplateerd materiaal met hetzelfde type lastoefoegmateriaal worden uitgevoerd.

### Groep III

Een typisch voorbeeld van een verbindinglas is die van een ongelijksoortige lasverbinding tussen kruipvast 2,25Cr-1Mo staal en 304H in oververhitterpijpen. Lasverbindingen kunnen worden gelast met een nikkelbasis lastoefoegmateriaal van het type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb). Op deze combinatie kan zonder problemen een gloeibehandeling worden uitgevoerd. Alle lasprocessen met een beperkte opmenging kunnen in principe worden gebruikt. Om deze reden moet het verbindinglassen met het OP lasproces worden vermeden.

De corrosieweerstand van met name de molybdeengelegerde volaustenitische roestvaste staalsoorten wordt negatief beïnvloed door een gloeibehandeling na het lassen (PWHT). Als een gloeibehandeling niet gewenst is voor het volaustenitische roestvaste staal, dan kan de tegenzijde eerst worden gebufferd met een molybdeen-vrij nikkelbasis lastoefoegmateriaal zoals E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) en een gloeibehandeling (PWHT) worden uitgevoerd. Vervolgens kan worden afgelast zonder gloeibehandeling (PWHT).

Volaustenitische roestvaste staalsoorten kunnen meestal direct worden opgelast zonder dat er een martensitisch lasmetaal ontstaat. Als dit niet kan, moet met een overgangslaag van bijvoorbeeld type E 309L (23Cr-12Ni) worden gelast. Als een niet gestabiliseerd lastoefoegmateriaal in 1 laag wordt opgelast, moet worden geëvalueerd of de corrosieweerstand door de gloeibehandeling na het lassen (PWHT) niet onacceptabel aangetast is. Dit kan bijvoorbeeld door een corrosieproef uit te voeren, waarmee wordt vastgesteld of er wel of geen ontoelaatbare sensitisering is opgetreden.

Als na het oplassen een gloeibehandeling (PWHT) niet toegestaan is vanwege de afname van de corrosieweerstand, dan moet eerst een tussenlaag worden opgelast. Nadat een PWHT is uitgevoerd, kan worden afgelast zonder PWHT. Indien koolstofdiffusie tijdens een PWHT niet is toegestaan, moet een tussenlaag met een nikkelbasislegering type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) worden uitgevoerd, anders kan met een austenitisch lastoefoegmateriaal van bijvoorbeeld het type E 309L (23Cr-12Ni) worden volstaan. Opgelaste volaustenitische roestvaste staalsoorten die worden gebruikt bij een temperatuur hoger dan 300°C, moeten met een nikkel tussenlaag worden opgelast. In principe kunnen alle lasprocessen worden toegepast die worden gebruikt voor het oplassen.

Lasverbindingen in geplateerd staal die vanaf de platerlaagzijde toegankelijk zijn, worden afgelast met een volaustenitisch lastoefoegmateriaal aan de platerlaagzijde. Voordat deze wordt afgelast, wordt meestal eerst een bufferlaag gelast. Als op het basismateriaal een PWHT moet worden uitgevoerd, ontkomt het austenitische roestvaste staal niet aan een ongunstige gloeibehandeling.

Lasverbindingen die vanaf de niet-platerlaagzijde worden gelast, kunnen worden gelast zoals beschreven in § 5.2.1 en 5.2.2.

Voor het gebruik van lasverbindingen bij temperaturen lager dan -20°C wordt nikkelbasis lastoefoegmateriaal toegepast.

Alle lasprocessen voor het verbindinglassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.7 *Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische en volaustenitische of hittevaste roestvaste staalsoorten*

De lasbaarheid van deze combinatie is vergelijkbaar met die van gelijksoortige lasverbindingen tussen één van beide materialen.

Deze lasverbindingen worden in principe niet gebruikt voor hoge-temperatuur toepassing, omdat ferritisch-austenitisch roestvast staal daar niet geschikt voor is. Voor deze ongelijksoortige lasverbinding tussen hooggelegerde austenitische roestvaste staalsoorten en ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten wordt een corrosievaste nikkelbasislegering geselecteerd, bijvoorbeeld een type E NiCrMo-3 (Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb). Een ferritisch-austenitisch lastoefoegmateriaal moet worden afgeraden, omdat het molybdeen- en chroomgehalte in het ferriet te hoog wordt.

Een kritisch punt is de verarming van stikstof van de WBZ van het ferritisch-austenitische roestvaste staal door niobium gelegerd lastoefoegmateriaal. De meeste nikkelbasis lastoefoegmaterialen zijn met niobium gelegerd. Door de verarming van stikstof neemt het percentage ferriet in de WBZ toe, waardoor de ductiliteit hiervan afneemt. Indien mogelijk wordt aanbevolen een niobiumvrij nikkelbasis lastoefoegmateriaal toe te passen.

Alle lasprocessen voor het verbindinglassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.8 *Lasverbindingen tussen ferritische roestvaste staalsoorten en volaustenitische roest- of hittevaste staalsoorten*

De lasbaarheid hiervan wordt beperkt door het ferritische roestvaste staal. Voor de lasbaarheid van ferritisch roestvast staal wordt verwezen naar § 9.4.

In principe kan deze lasverbinding zonder bufferlagen worden gelast met een austenitisch lastoefoegmateriaal type E 309L (23Cr-12Ni) of een nikkelbasislegering, bijvoorbeeld type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) of E NiCrFe-2 (Ni-15Cr-2Nb). Omdat de maximale interpass temperatuur van volaustenitisch roestvast staal vaak zeer laag is, moet voorwarmen worden afgeraden. Indien voorwarmen

noodzakelijk is, dan wordt geadviseerd eerst het ferritische roestvaste staal te bufferen met een austenitisch lastoevoegmateriaal (bijvoorbeeld E 309L) en daarna af te lassen zonder voorwarmen.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.9 *Lasverbindingen tussen martensitische roestvaste staalsoorten en volaustenitische roest- of hittevaste staalsoorten*

Martensitische roestvaste staalsoorten moeten bij het lassen worden voorgewarmd. De minimale voorwarmtemperatuur is meestal hoger dan de maximale interpass temperatuur voor het austenitische roestvaste staal.

Daarom wordt aanbevolen eerst het martensitische roestvaste staal te bufferen met een austenitisch roestvast lastoevoegmateriaal, bijvoorbeeld E 309L (23Cr-12Ni). Daarna kan de verbindingslas worden gelegd zonder voorwarmen.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.10 *Lasverbindingen van ongelegeerd C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten aan ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten*

Ferritische-austenitische (duplex en super-duplex) roestvaste staalsoorten verdragen geen hoge temperatuur expositie of PWHT.

Als op het ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staal geen PWHT uitgevoerd hoeft te worden en het niet aan een corrosief milieu wordt blootgesteld (groep I), dan kan deze lasverbinding zonder bufferlagen worden gelast. Type E 309L (23Cr-12Ni) of ferritisch-austenitische lastoevoegmaterialen (bijvoorbeeld 22Cr-9Ni-3Mo en 25Cr-10Ni-4Mo) kunnen worden gebruikt.

Als na het lassen op het on- of laaggelegeerde materiaal een gloeibehandeling moet worden uitgevoerd, dan moet deze zijde eerst worden gebufferd met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) en vervolgens de gloeibehandeling ondergaan. Hierna kan de lasverbinding worden gelegd zonder PWHT met bij voorkeur een niobiumvrij nikkelbasis lastoevoegmateriaal. Als dit niet mogelijk is, kan bijvoorbeeld type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) of E NiCrFe-2 (Ni-15Cr-2Nb) nikkelbasis lastoevoegmateriaal worden gebruikt. De ductiliteit van de WBZ van het ferritisch-austenitische roestvaste staal, met verhoogd ferrietgehalte, is dan de kritische factor.

De lassen komen ook veel voor als opgelaste of geplateerde combinaties (groep II). Als het on- of laaggelegeerde basismateriaal geen PWHT nodig heeft, kan het oplassen in principe zonder tussenlaag gebeuren. Een tussenlaag kan nodig zijn om de toplaag voldoende corrosieweerstand te geven. Als in één laag wordt opgelast, moet worden geëvalueerd of de corrosieweerstand door de gloeibehandeling na het lassen (PWHT) niet is aangetast. Dit kan bijvoorbeeld door een corrosieproef uit te voeren, waarmee wordt

vastgesteld of er wel of geen ontoelaatbare sensitiserings is opgetreden.

Als het on- of laaggelegeerde basismateriaal wel een gloeibehandeling na het lassen (PWHT) moet ondergaan, dan moet met een tussenlaag worden gelast van bijvoorbeeld het type E 309L (23Cr-12Ni). Nadat deze combinatie gegloeid is, kan het materiaal worden afgelast met een ferritisch-austenitisch lastoevoegmateriaal zonder dat een PWHT hoeft te worden uitgevoerd.

Het lassen van geplateerde staalsoorten wanneer de platerlaagzijde toegankelijk is, kan worden uitgevoerd zoals beschreven in § 5.1. Als lastoevoegmateriaal voor de bufferlaag kan ook een ferritisch-austenitisch lastoevoegmateriaal worden gebruikt. Als op het basismateriaal na het lassen een gloeibehandeling (PWHT) moet worden uitgevoerd, ontkomt de ferritisch-austenitische platerlaag hier niet aan. Omdat dit de corrosieweerstand negatief beïnvloedt, komt deze combinatie niet voor. Het lassen van geplateerd materiaal vanaf de niet-platerlaagzijde kan worden uitgevoerd zoals beschreven in § 5.2.

Alle lasprocessen met een beperkte opmenging kunnen in principe worden gebruikt (bijlage B). OP-verbindingen zonder bufferlagen moet om deze reden worden afgeraden.

### 9.11 *Lasverbindingen tussen verschillende ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten*

De lasbaarheid van deze combinatie is niet gecompliceerder dan het lassen van gelijksoortige verbindingen in ferritisch-austenitisch (duplex of super-duplex) roestvast staal. Gelast wordt met een ferritisch-austenitisch lastoevoegmateriaal, waarvan de corrosiebestendigheid ten minste even goed is als die van de minst corrosiebestendige van beide basismaterialen.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.12 *Lasverbindingen tussen ferritische roestvaste staalsoorten en ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten*

Ferritisch-austenitische (duplex en super-duplex) roestvaste staalsoorten verdragen geen hoge temperatuur expositie. Daarom komt deze combinatie niet voor in hoge-temperatuur toepassingen.

De lasbaarheid van deze combinatie wordt beperkt door de slechte lasbaarheid van het ferritische roestvaste staal. Voor de lasbaarheid van ferritisch roestvast staal wordt verwezen naar § 9.4. Deze combinatie kan goed worden gelast met een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal.

Als voorwarmen van het ferritische roestvaste staal noodzakelijk is, dan dient eerst het ferritische roestvaste staal te worden gebufferd met een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal. Hierna kan zonder voorwarmen de verbindingslas worden gemaakt.

### 9.13 ***Lasverbindingen tussen martensitische roestvaste staalsoorten en ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten***

Ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten verdragen geen hoge-temperatuurexpositie. Daarom komt deze combinatie niet voor in hoge-temperatuur toepassingen.

De lasbaarheid van deze combinatie wordt beperkt door het martensitische roestvaste staal (§ 9.5). Dit moet worden voorgewarmd tussen 200 en 300°C. Na het lassen moet deze langzaam worden afgekoeld. De minimale voorwarmtemperatuur is hoger dan de maximale interpass temperatuur voor het ferritisch-austenitische roestvaste staal. Om deze reden moet het martensitische roestvaste staal eerst worden gebufferd, voordat het kan worden gelast met ferritisch-austenitisch roestvast staal.

Het martensitische roestvaste staal moet worden gebufferd met een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal. Daarna kan zonder voorwarmen de verbinding las worden gemaakt met het ferritisch-austenitische (duplex type 22Cr-9Mi-3Mo of super-duplex type 25Cr-10Ni-4Mo) roestvaste staal.

Alle lasprocessen voor het verbindinglassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

### 9.14 ***Lasverbindingen van ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten aan ferritische roestvaste staalsoorten***

Verbindingslassen van deze combinatie kunnen in principe direct worden gelast. Gelast wordt met een type E 309L (23Cr-12Ni) of nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb). Indien moet worden voorgewarmd, zowel het ferritische roestvaste staal als de C-Mn of de kruipvaste Cr-Mo staalsoorten kunnen het voorwarmen goed verdragen of moeten zelfs worden voorgewarmd. Voor hogetemperatuur toepassingen is er een voorkeur voor het nikkelbasis lastoevoegmateriaal, omdat het uitzettingsverschil dan minder is. Er zijn voorbeelden waarbij met succes een lastoevoegmateriaal van het type E 8018 (komt overeen met 13CrMo44) is toegepast, nadat een lasverbinding met een type E 309L lastoevoegmateriaal (thermische) vermoeiingsschade had opgelopen. Hiervoor was het wel noodzakelijk het materiaal hoger voor te verwarmen.

Alle lasprocessen voor het verbindinglassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

In corrosieve (zwavelige) milieus komt deze combinatie als opgelast of geplaatd materiaal voor.

In geplaatd materiaal dat vanaf de plaatlaagzijde toegankelijk is, wordt de sluitlaag gemaakt nadat een overgang is gemaakt met bijvoorbeeld een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal (zie § 5.1). Vaak kan een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal worden gebruikt om de plaatlaagzijde af te lassen, maar in specifieke corrosieve milieus moet worden afgelast met een lastoevoegmateriaal van het ferritische of martensitische roestvaste staaltype. De bufferlaag wordt dan wel gelast met een lastoevoegmateriaal type E 309L.

Als vanaf de basismateriaalzijde moet worden gelast,

dan kan de plaatlaag worden gelast met lastoevoegmateriaal type E 309L (23Cr-12Ni).

### 9.15 ***Lasverbindingen van ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten aan martensitische roestvaste staalsoorten***

Verbindingslassen van deze combinaties kunnen in principe direct worden gelast. Gelast wordt met een type E 309L (23Cr-12Ni) of nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb). Martensitisch roestvast staal moet worden voorgewarmd tussen 200 en 300°C. De meeste ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten kunnen het voorwarmen goed verdragen of moeten zelfs voorgewarmd worden. Mocht voor het C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staal een gloeibehandeling na het lassen (PWHT) nodig zijn, een martensitisch roestvast staal kan dit goed verdragen.

Alle lasprocessen voor het verbindinglassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

In geplaatd staal dat vanaf de plaatlaagzijde toegankelijk is, wordt de sluitlaag gemaakt nadat een overgang is gemaakt met bijvoorbeeld een type E 309L lastoevoegmateriaal (zie § 5.1). Vaak kan een type E 309L (23Cr-12Ni) lastoevoegmateriaal worden gebruikt om de plaatlaagzijde af te lassen, maar in specifieke milieus moet worden afgelast met een matching lastoevoegmateriaal, bijvoorbeeld het type E410 (12Cr-0,3Cr). De bufferlaag wordt dan wel gelast met een lastoevoegmateriaal type E 309L. Als vanaf de basismateriaalzijde moet worden gelast, dan kan de plaatlaag worden gelast met lastoevoegmateriaal type E410 (12Cr-0,3Ni) of E 309L (23Cr-12Ni).

### 9.16 ***Lasverbindingen tussen ferritische roestvaste staalsoorten en martensitische roestvaste staalsoorten***

De lasbaarheid van deze combinatie is niet moeilijker dan die van gelijksoortige lasverbindingen tussen één van beide legeringen. Deze combinatie moet worden voorgewarmd op 200 tot 300°C. Na het lassen moet langzaam worden afgekoeld.

In principe wordt deze lasverbinding, net als een gelijksoortige lasverbinding tussen één van beide materialen, gelast met een austenitisch lastoevoegmateriaal van het type E 309L (23Cr-12Ni). Voor toepassingen met sterke temperatuurwisselingen is het beter een overeenkomend lastoevoegmateriaal te kiezen (bijvoorbeeld E410 (12Cr-0,3Ni)), waardoor dilatatiespanningen geringer zijn.

## Hoofdstuk 10

### Lassen van combinaties met nikkelbasislegeringen

Nikkelbasislegeringen worden voor vele hitte-, kruip- en corrosievaste toepassingen gebruikt. In deze voorlichtingspublicatie zijn de nikkelbasislegeringen opgedeeld in 5 soorten. Onderscheid wordt gemaakt in de volgende nikkelbasislegeringen:

1. zuiver nikkel;
2. nikkel-chroomlegeringen;
3. nikkel-chroom-ijzerlegeringen;
4. nikkel-molybdeenlegeringen;
5. nikkel-koperlegeringen.

Nikkelbasislegeringen worden alle gelast met nikkelbasis lastoefoegmaterialen. Deze zijn zeer gevoelig voor warmscheuren door opname van verontreinigingen. Daarom dienen voor het lassen de laskanten goed schoon te zijn.

Tijdens het lassen van zwart-wit verbindingen worden verontreinigingen in het lasbad geïntroduceerd door opmenging vanaf de on- of laaggelegeerde zijde. Daarom verdient het aanbeveling te lassen met een lastoefoegmateriaal met ten minste 4 á 5% mangaan en de lasparameters zo te kiezen, dat de opmenging laag is. De warmscheurvoeligheid wordt ook beïnvloed door het type lasproces waarmee wordt (op)gelast.

#### 10.1 Lassen tussen zuiver nikkel en ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten

Verbindingslassen kunnen goed worden gelast met een zuiver nikkel type E Ni-2 (Ni-2Ti) of nikkelbasis lastoefoegmateriaal type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb). Door opmenging van on- of laaggelegeerde staalsoorten in het lasbad neemt de warmscheurvoeligheid toe. Daarom is het belangrijk een lasproces te selecteren met een geringe opmenging en de lasparameters zodanig aan te passen, dat de opmenging gering is. Om deze reden moet het OP-lassen zonder bufferlaag worden afgeraden.

Nikkel kan in principe goed worden opgelast met alle beschikbare processen. Ook hier dient ervoor te worden gewaakt dat de opmenging beperkt blijft.

Met zuiver nikkel geplaatsteerd staal kan worden gelast zoals beschreven in hoofdstuk 5. Als een verbindingslas vanaf de plaatelaagzijde toegankelijk is, kan een bufferlaag worden gelast met een zuiver nikkel type E Ni-2 (Ni-2Ti) of nikkelbasis type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) lastoefoegmateriaal. Afgelast kan worden met een zuiver nikkel lastoefoegmateriaal type E Ni-2 (Ni-2Ti).

Molybdeenvrije nikkelbasis en zuiver nikkel lastoefoegmaterialen kunnen hoge-temperatuur expositie boven 300°C en gloeibehandelingen goed verdragen.

#### 10.2 Lasverbindingen tussen austenitisch roestvast staal en zuiver nikkel

Deze lasverbindingen kunnen goed gemaakt worden met een nikkelbasis lastoefoegmateriaal typen

E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb), type E NiCrFe-2 (Ni-15Cr-2Nb) of zuiver nikkel type E Ni-2 (Ni-2Ti).

Deze lasverbindingen hoeven in principe geen gloei-behandeling na het lassen (PWHT) te ondergaan.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### 10.3 Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitisch roestvast staal en zuiver nikkel

Deze lasverbindingen kunnen in principe worden gelast met een niobiumvrij nikkelbasis lastoefoegmateriaal, zoals die van zuiver nikkel type E Ni-2 (Ni-2Ti).

Een kritisch punt is de verarming van stikstof van de WBZ van het ferritisch-austenitische roestvaste staal door het niobium gelegeerde nikkelbasis lastoefoegmateriaal. De meeste nikkelbasis lastoefoegmaterialen zijn met niobium gelegeerd. Door de verarming aan stikstof neemt het percentage ferriet in de WBZ toe, waardoor de ductiliteit hiervan afneemt. Indien mogelijk wordt aanbevolen een niobiumvrij nikkelbasis lastoefoegmateriaal toe te passen.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### 10.4 Lasverbindingen tussen ferritisch roestvast staal en zuiver nikkel

De lasbaarheid van deze combinatie wordt beperkt door het ferritische roestvaste staal (§ 9.4). Indien voor het ferritische roestvaste staal noodzakelijk, vormt voorwarmen op 200 tot 300°C in principe geen bezwaar voor de lasverbinding. De verbinding kan worden gelast met een zuiver nikkel (type E Ni-2) of een nikkelbasis lastoefoegmateriaal, bijvoorbeeld E NiCrFe-2 (Ni-15Cr-2Nb) of E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb).

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### 10.5 Lassen tussen nikkel-chroom en nikkel-chroom-ijzerlegeringen en ongelegeerde C-Mn of Cr-Mo staalsoorten

Verbindingslassen kunnen goed worden gelast met een nikkelbasis lastoefoegmateriaal van het type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb). Omdat de nikkelbasis lastoefoegmaterialen warmscheurvoelig zijn, is de toegestane opmenging beperkt. Daarom moet het OP-lassen zonder bufferlagen worden afgeraden. Een gloeibehandeling of bedrijfstemperaturen hoger dan 300°C vormen geen probleem voor deze lasverbinding.

Het oplassen van een nikkel-chroom of een nikkel-chroom-ijzerlegering kan rechtstreeks worden uitgevoerd. Door het oplassen raakt het lastoefoegmateriaal opgemengd met ijzer en koolstof uit het basismateriaal. Hierdoor sensitiseert met name de eerste

laag van de opaslegering tijdens een gloeibehandeling na het lassen (PWHT). Als een niet gestabiliseerd lastoevoegmateriaal in één laag wordt opgelast, moet worden geëvalueerd of de corrosiebestendigheid door de gloeibehandeling na het lassen (PWHT) niet is aangetast. Dit kan bijvoorbeeld door een corrosieproef uit te voeren, waarmee wordt vastgesteld of er een ontoelaatbare sensitisering is opgetreden.

Als ontoelaatbare sensitisering is opgetreden, dan moeten er meerdere lagen worden opgelast. Ook wanneer het opgelaste materiaal aan bedrijfstemperaturen hoger dan 300°C wordt blootgesteld, is er gevaar voor sensitisering.

Alle processen voor het oplassen kunnen in principe worden toegepast (zie bijlage B).

Het lassen van het geplateerde staal kan worden uitgevoerd zoals beschreven in hoofdstuk 5. Als de platerlaagzijde toegankelijk is, dan kan een nikkelbasis lastoevoegmateriaal als buffer worden gebruikt, bijvoorbeeld van het type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb). Afgelast wordt met lastoevoegmateriaal dat overeenkomt met de platerlaag.

Als gelast wordt vanaf de niet-plateerlaag zijde, kan eventueel worden gevuld met een laag koolstof houdende ijzerbasis lastoevoegmateriaal (zie § 5.2.2) of met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal (bijvoorbeeld E NiCrFe-3, zie § 5.2.1).

#### 10.6 ***Lasverbindingen tussen austenitisch roestvast staal en nikkel-chroom of nikkel-chroom-ijzerlegeringen***

Verbindingen kunnen goed worden gelast met ieder nikkelbasis lastoevoegmateriaal. Alle lasprocessen kunnen in principe worden toegepast (bijlage B).

Het lastoevoegmateriaal moet zodanig worden gekozen dat de lasverbinding een sterkte en corrosieweerstand heeft die gelijk is of beter dan die van één van beide basismaterialen.

#### 10.7 ***Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitisch roestvast staal en nikkel-chroom of nikkel-chroom-ijzerlegeringen***

Verbindingen kunnen goed worden gelast met ieder nikkelbasis lastoevoegmateriaal. Alle lasprocessen kunnen in principe worden toegepast (bijlage B).

Het lastoevoegmateriaal moet zodanig worden gekozen dat de lasverbinding een sterkte en corrosieweerstand heeft die gelijk is of beter dan die van één van beide basismaterialen.

Een kritisch punt is de verarming van stikstof van de WBZ van het ferritisch-austenitische roestvast staal door het niobium gelegeerde nikkelbasis lastoevoegmateriaal. De meeste nikkelbasis lastoevoegmaterialen zijn met niobium gelegeerd. Door de verarming aan stikstof neemt het percentage ferriet in de WBZ toe, waardoor de ductiliteit hiervan afneemt. Indien mogelijk wordt aanbevolen een niobiumvrij nikkelbasis lastoevoegmateriaal toe te passen.

#### 10.8 ***Lasverbindingen tussen ferritisch roestvast staal en nikkel-chroom of nikkel-chroom-ijzerlegeringen***

De lasbaarheid van deze combinatie wordt beperkt door het ferritische roestvast staal. Het voorwarmen is in principe geen probleem voor deze nikkelbasislegeringen. Voor deze combinatie wordt meestal een nikkelbasis lastoevoegmateriaal gebruikt, bijvoorbeeld E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) of E NiCrFe-2 (Ni-15Cr-2Nb).

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### 10.9 ***Lassen tussen ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en nikkel-molybdeenlegeringen***

Het lassen van deze combinatie komt grotendeels overeen met hetgeen beschreven is in § 10.5. Deze lasverbinding wordt bij voorkeur gelast met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal van het type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb). Het kan een gloeibehandeling na het lassen (PWHT) goed doorstaan. Wanneer geen gloeibehandeling na het lassen (PWHT) wordt uitgevoerd of de lasverbinding niet aan temperaturen hoger dan 300°C wordt blootgesteld, dan kan ook worden gelast met een lastoevoegmateriaal van het type E NiCrMo-3 (Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb).

Het lassen van het geplateerde staal kan worden uitgevoerd zoals beschreven in hoofdstuk 5. Bij het lassen van geplateerd staal, waarbij de lasverbinding vanaf de platerlaagzijde toegankelijk is, kunnen verschillende nikkelbasis lastoevoegmaterialen worden toegepast voor de bufferlagen. Wanneer vanaf de basismateriaalzijde wordt gelast, kan via een laag-koolstof zuiver ijzer elektrode of geheel met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal (zie § 5.2.2) worden gevuld. Voor het vullen van de las kan hetzelfde nikkelbasis lastoevoegmateriaal worden toegepast als die gebruikt wordt voor het lassen van de platerlaag (E NiCrMo-3, Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb) of van het type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb). Als de lasverbinding aan hogere temperaturen wordt blootgesteld, zoals bij een gloeibehandeling na het lassen (PWHT) of bedrijfstemperaturen hoger dan 350°C, dan verdient een lastoevoegmateriaal dat minder verbrost de voorkeur, zoals het type E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb).

Alle lasprocessen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### 10.10 ***Lasverbindingen tussen austenitische roestvast staalsoorten en nikkel-molybdeenlegeringen***

Deze verbindingen kunnen rechtstreeks aan elkaar worden gelast met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal. De lasbaarheid ervan is niet moeilijker dan die van gelijksoortige nikkel-molybdeenlegeringen. Voor deze lasverbinding wordt meestal een nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCrMo-3 (Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb) gebruikt. Bij de selectie van het lastoevoegmateriaal is het van belang dat het lastoevoegmateriaal een corrosieweerstand en sterkte heeft

gelijk aan die van één van beide basismaterialen. Die van het type E NiCrMo-3 (Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb) voldoet hier meestal aan.

Alle lasprocessen voor het verbindingslassen komen in aanmerking voor het lassen van deze combinatie (bijlage B).

#### 10.11 ***Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten en nikkel-molybdeenlegeringen***

Voor deze combinatie geldt in grote lijnen hetzelfde als omschreven in § 10.10.

Een kritisch punt is de verarming van stikstof van de WBZ van het ferritisch-austenitische roestvaste staal door het niobium gelegerde nikkelbasis lastoevoegmateriaal. De meeste nikkelbasis lastoevoegmaterialen zijn met niobium gelegerd. Door de verarming aan stikstof neemt het percentage ferriet in de WBZ toe, waardoor de ductiliteit hiervan afneemt. Indien mogelijk wordt aanbevolen een niobiumvrij nikkelbasis lastoevoegmateriaal toe te passen.

#### 10.12 ***Lasverbindingen tussen ferritisch roestvast staal en nikkel-molybdeenlegeringen***

Voor deze lasverbinding geldt in grote lijnen hetzelfde als omschreven in § 10.8. Als vanwege de corrosieweerstand een molybdeen gelegerd lastoevoegmateriaal gewenst is, kan voor het bufferen van de ferritisch roestvaststalen zijde een nikkelbasis lastoevoegmateriaal van het type E NiCrMo-3 (Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb) of E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb) worden toegepast.

#### 10.13 ***Lassen tussen ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en nikkel-koperlegeringen***

De lasbaarheid van deze combinatie wordt bepaald door de beperkte oplosbaarheid van ijzer in het Ni-Cu lasmetaal. Hiervoor is het van belang dat lasproces en -parameters zodanig worden gekozen dat weinig opmenging met ijzer optreedt. De lastoevoegmaterialen op nikkel-koper basis zijn bijgelegerd met ten minste 3,5% mangaan (type E-NiCu-7). Hierdoor verbetert de weerstand tegen de vorming van laag smeltende ijzerrijke fasen zodanig, dat het kan worden toegepast voor verbindingslassen of voor bufferen.

Verbindingen tussen ongelegeerde C-Mn of kruipvaste Cr-Mo staalsoorten en nikkel-koperlegeringen kunnen direct worden gelast met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCu-7 (Ni-30Cu). De toelaatbare opmenging is hierbij beperkt. Om deze reden kan het OP-lassen zonder bufferlagen niet worden toegepast.

Het oplassen van Ni-Cu-legeringen is beperkt tot de nikkel-30% koperlegering. Het lastoevoegmateriaal E NiCu-7 (Ni-30Cu) kan hiervoor zonder problemen worden toegepast. Het aantal benodigde lagen is afhankelijk van de toepassing en het gebruikte oplasproces.

Verbindingslassen in geplateerd materiaal kunnen worden uitgevoerd zoals omschreven in hoofdstuk 5.

Als bufferlaag wordt gelast met nikkelbasis lastoevoegmateriaal E NiCu-7 (Ni-30Cu).

Als vanaf de basismateriaalzijde wordt gelast, wordt de plateerlaag gelast met nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCu-7 (Ni-30Cu). De lasverbinding kan dan worden gevuld met matching lastoevoegmateriaal via een laag koolstof houdende beklede elektrode (zie § 5.2.2). Als gevuld wordt met een hooggeleerd lastoevoegmateriaal, dan moet de gehele las worden gevuld met een nikkelbasis lastoevoegmateriaal, bijvoorbeeld de typen E NiCrFe-3 (ca. 70Ni-15Cr-8Mn-2Nb), E NiCrMo-3 (Ni-22Cr-9Mo-3,5Nb) of E NiCu-7 (Ni-30Cu).

Het uitvoeren van een gloeibehandeling na het lassen (PWHT) is geen probleem voor deze combinatie.

Met uitzondering van het OP-verbindingen kunnen alle lasprocessen worden toegepast (bijlage B). De lasparameters dienen zodanig ingesteld te worden dat een geringe opmenging ontstaat.

#### 10.14 ***Lasverbindingen tussen austenitische roestvaste staalsoorten en nikkel-koperlegeringen***

Verbindingen tussen deze combinatie kunnen worden gelast met nikkelbasis lastoevoegmateriaal van het type E NiCu-7 (Ni-30Cu). De toelaatbare opmenging van het austenitische roestvaste staal in het lasbad is beperkt. Om deze reden is het OP-lassen niet geschikt voor verbindingslassen van deze combinatie. Bij andere lasprocessen moeten de lasparameters zodanig worden ingesteld dat een lage opmenging ontstaat.

#### 10.15 ***Lasverbindingen tussen ferritisch-austenitische roestvaste staalsoorten en nikkel-koperlegeringen***

Verbindingen tussen deze combinatie kunnen worden gelast met nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCu-7 (Ni-30Cu). De toelaatbare opmenging van het austenitische roestvaste staal in het lasbad is beperkt. Om deze reden is het OP-lassen niet geschikt voor verbindingslassen van deze combinatie. Bij andere lasprocessen moeten de lasparameters zodanig worden ingesteld dat een lasbad met een lage opmenging ontstaat.

Het nikkelbasis lastoevoegmateriaal type E NiCu-7 (Ni-30Cu) is niet gelegerd met niobium, waardoor het gevaar van stikstof verarming in de WBZ van het ferritisch-austenitisch lastoevoegmateriaal niet optreedt.

## *Deel II      Lassen van ongelijksoortige non-ferro metalen*

### *Hoofdstuk 11*

#### *Inleiding lassen van ongelijksoortige non-ferro metalen*

In zijn algemeenheid kan gesteld worden dat het lassen van ongelijksoortige non-ferro metalen met veel processen (maar niet alle!) uitvoerbaar is. Naast de fysische eigenschappen van de metalen die moeten worden gelast, bepalen de kennis en kunde van alle betrokkenen of een (ongelijksoortige) lasverbinding uiteindelijk aan de gestelde kwaliteitseisen voldoet. Kennis is nodig om bijvoorbeeld het juiste lasproces, de juiste lasnaad en het goede lastoevoegmateriaal te kiezen, terwijl de kunde van de lasser nodig is om een kwalitatief goede verbinding tot stand te brengen. Dat er voorafgaande aan het lassen nogal wat keuzes moeten worden gemaakt en met aspecten rekening moet worden gehouden, blijkt uit de volgende opsomming van factoren:

- ▶ het lasproces;
- ▶ het basismateriaal;
- ▶ het lastoevoegmateriaal (soort, diameter);
- ▶ de lasparameters (spanning, stroom, lassnelheid, beschermgas, elektrodetype, enz.);
- ▶ keuze van het constructiedetail met betrekking tot de bereikbaarheid van de las;
- ▶ de lasnaadvorm;
- ▶ eenzijdig/tweezijdig lassen;
- ▶ hand of gemechaniseerd;
- ▶ de laspositie.

Al deze onderdelen staan vaak in nauw verband met elkaar en bepalen samen met het vakmanschap van de lasser de uiteindelijke kwaliteit van de lasverbinding. Ervan uitgaande dat de lasser zijn vak verstaat en in staat is met het gekozen lasproces een goede verbinding tot stand te brengen, wil dit nog niet zeggen dat de verbinding ook aan de vooraf gestelde kwaliteitseisen voldoet. De kennis van zowel de te lassen materialen als van het lasproces en zijn mogelijkheden c.q. beperkingen, is onontbeerlijk om tot een goed eindresultaat te komen, waarbij een goed eindresultaat synoniem staat voor de kwaliteit die de opdrachtgever (extern of intern) eist.

Dit deel van de voorlichtingspublicatie geeft aanbevelingen voor het lassen van ongelijksoortige metalen, waarbij minimaal een der metalen een **non-ferro** legering is. Er is naar gestreefd zoveel mogelijk informatie te verschaffen ten aanzien van het lassen van ongelijksoortige non-ferro legeringen (aluminium en koper), alsmede het lassen van deze non-ferro metalen aan andere metalen.

Het moge duidelijk zijn dat een voorlichtingspublicatie als deze geen oplossing biedt voor specifieke problemen, hiervoor is het echter altijd mogelijk deskundig advies in te winnen binnen Nederland (NIL, TNO, NIMR, Technische Universiteiten, enz.).



## Hoofdstuk 12

### Aluminium en aluminiumlegeringen

Het is noodzakelijk voor het lassen van 'ongelijksoortige' aluminiumlegeringen, een tweedeling te maken ten aanzien van het type te verbinden legeringen. Er kunnen lasverbindingen tot stand worden gebracht tussen aluminiumlegeringen en andere metalen en tussen verschillende aluminiumlegeringen onderling. Beide mogelijkheden zullen in dit hoofdstuk worden besproken. Voor een goed begrip is het echter noodzakelijk kort aandacht te besteden aan de aanduiding van de verschillende aluminiumlegeringen. Gebruikelijk is dit te doen op basis van de chemische samenstelling van de legeringen. In de lastechniek wordt echter, voor het uitvoeren van lassers- en laskwalificaties, een onderverdeling van de verschillende soorten aluminiumlegeringen gehanteerd op basis van hun *lasbaarheid*; ook hieraan wordt aandacht besteed.

#### 12.1 Codering van aluminium en aluminiumlegeringen

De codering van aluminium en aluminiumlegeringen is gedurende lange tijd niet erg overzichtelijk geweest, omdat veel landen gebruik maakten van hun eigen coderingssysteem. Dit veroorzaakte vaak problemen, zeker als werkzaamheden in internationaal verband moesten worden uitgevoerd. Hoewel tegenwoordig binnen de verschillende landen nog steeds gebruik wordt gemaakt van deze 'eigen' nationale aanduidingen, wordt in internationaal verkeer meestal de codering aangehouden die is gebaseerd op de aanduiding van de AA (Aluminium Association), de EAA (European Aluminium Association) of de IAA (International Aluminium Association). Deze aanduidingen maken allemaal gebruik van dezelfde viercijferige codering, waarvan het eerste cijfer het belangrijkste is en het overheersende legeringselement of legeringselementen aangeeft.

De belangrijkste norm op dit gebied is momenteel de NEN-EN 573-1. Deze maakt deel uit van een serie normen die lopen van 573-1 t/m 4.

Tabellen 12.1 en 12.2 geven zowel voor aluminium-kneedlegeringen als -gietlegeringen de belangrijkste codering weer die door de genoemde instellingen worden gehanteerd.

tabel 12.1 Codering aluminium-kneedlegeringen op basis van de AA, IAA en EAA aanduiding

groep	legeringselementen
1xxx	zuiver aluminium (minimaal 99,0 %)
2xxx	koper
3xxx	mangaan
4xxx	silicium
5xxx	magnesium
6xxx	magnesium en silicium
7xxx	zink
8xxx	andere elementen (o.a. lithium)

Voor de volledigheid zijn in tabel 12.3 de coderingen opgenomen die gangbaar zijn in de verschillende landen. Het zal duidelijk zijn, dat deze coderingen zijn

tabel 12.2 Codering aluminium-gietlegeringen op basis van de AA en EAA aanduiding, LET OP DE PUNT NA HET DERDE CIJFER!

groep	legeringselementen
1xx.x	zuiver aluminium (minimaal 99,0 %)
2xx.x	koper
3xx.x	silicium en koper en/of magnesium
4xx.x	silicium
5xx.x	magnesium
6xx.x	niet gebruikt
7xx.x	zink
8xx.x	tin
9xx.x	andere elementen

opgesteld op basis van de chemische samenstelling van de verschillende aluminiumlegeringen. De lastechniek heeft op basis van de lasbaarheid van de diverse aluminiumlegeringen een eigen, afwijkende, indeling gemaakt. Deze indeling is weergegeven in tabel 12.4.

Als er lasprocedures geschreven en lassers- en laskwalificaties uitgevoerd moeten worden, dan gebeurt dit op basis van de indeling van de metalen uit deze tabel. Tabel 12.4 is een onderdeel uit de internationale norm voor de indeling van materialen ten behoeve van thermische verbindingprocessen en wordt derhalve als referentie gebruikt bij het kwalificeren van lasprocessen.

#### 12.2 Het gasbooglassen van ongelijksoortige aluminium-kneedlegeringen

In veel gevallen blijken de meeste aluminiumlegeringen, afzonderlijk en onderling, goed lasbaar te zijn. Er zijn echter uitzonderingen. Bekend is dat met name koperhoudende aluminiumlegeringen over het algemeen niet, tot beperkt lasbaar zijn. De grote verscheidenheid aan aluminiumlegeringen zorgt ervoor dat er veel verschillende combinaties kunnen worden gemaakt tussen de diverse aluminiumlegeringen. De ervaring leert echter dat de verschillende combinaties in de praktijk beperkt blijven.

Het lassen van aluminium-kneedlegeringen aan -gietlegeringen komt veel minder voor. Er is betrekkelijk weinig bekend over het smelassen van, qua chemische samenstelling, verschillende aluminiumlegeringen uit de diverse groepen. Het meest recent is eigen nationaal onderzoek<sup>1</sup>, waaruit gegevens beschikbaar zijn gekomen ten aanzien van het gasbooglassen (TIG-AC, (Puls)-MIG) van aluminiumlegeringen uit de 5xxx serie aan de 6xxx serie. Hierna worden de belangrijkste resultaten uit dit onderzoek vermeld.

*De aanbevelingen die hierna worden gegeven voor het lassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen, zijn voornamelijk gebaseerd op het lassen van legeringen uit de 5xxx aan de 6xxx serie, maar gelden in veel gevallen ook voor het lassen van andere, ongelijksoortige aluminiumlegeringen.*

#### Operationele lasbaarheid van ongelijksoortige aluminiumlegeringen

Een belangrijk aspect waar rekening mee moet worden gehouden bij het gasbooglassen van aluminiumlegeringen met verschillende chemische samenstelling, is het feit dat de warmtegeleidingscoëfficiënt van de diverse legeringen aanzienlijk kan verschillen.

<sup>1</sup> Project van het Nederlands Instituut voor Lastechniek (NIL) en het Aluminium Centrum (AC) 'Verbinden van aluminium en zijn legeringen'

tabel 12.3 Overzicht van de codering van een aantal veel voorkomende aluminiumlegeringen in diverse landen

Frankrijk NF A 02-104	ISO	U.S.A. ASTM (1)	Duitsland		Engeland		Italië	Zwitserland VSM	Canada Alcan
			DIN (1712-1725)	Werkstoffno.	Oud	Nieuw			
1050 A	Al99,5	–	Al99,5	3.0255	1B	1050 A	1050 A	Al99.5	1S
1070 A	Al99,7	–	Al99,7	3.0275	–	–	1070 A	Al99.7	99,7
1080 A	Al99,8	–	Al99,8	3.0285	1A	1080 A	1080 A	Al99.8	99,8
1100	Al99,0Cu	1100	–	–	–	–	–	–	–
1199	Al99,0Cu	–	Al99,98R	3.0385	–	–	–	–	–
1200	Al99,0	–	Al99	3.0205	1C	1200	1200	Al99.0	2S
2011	AlCu6BiPb	2011	AlCuBiPb	3.1655	–	–	2011	AlCu6BiPb	28S
2014	AlCu4SiMg	2014	AlCuSiMn	3.1225	(H15)	(2014 A)	2014	AlCu4SiMn	(B28S) 26S
2017 A	AlCu4MgSi	(2017)	AlCuMg1	3.1325	–	–	2017 A	–	17S
2024	AlCu4Mg	2024	AlCuMg2	3.1355	–	–	2024	AlCu4Mg1,5	24S
2030	AlCu4PbMg	–	(AlCuMgPb)	(3.1645)	–	–	–	(AlCu4MgPb)	–
2117	–	2117	AlCu2,5Mg0,5	3.1305	–	–	2117	–	16S
2618 A	–	(2618 A)	–	–	H16	2618 A	–	–	(42S)
3003	AlMn1Cu	3003	AlMnCu	3.0517	(N3)	(3103)	3003	(AlMn)	3S
3004	–	3004	AlMn1Mg1	3.0526	–	–	3004	–	4S
3005	–	3005	AlMn1Mg0,5	3.0525	–	–	–	–	–
5005	(AlMg1)	5005	(AlMg1)	(3.3315)	–	–	5005	(AlMg1)	B57S
5050	–	5050	–	–	–	–	–	(AlMg1,5)	–
5052	(AlMg2,5)	5052	AlMg2,5	3.3523	–	–	5052	(AlMg2,5)	57S
5056 A	–	(5056)	AlMg5	3.3555	N6	5056 A	5056 A	–	(56S) A56S
5083	AlMg4,5Mn	5083	AlMg4,5Mn	3.3547	N8	5083	5083	AlMg4,5Mn	D54S
5086	AlMg4	5086	AlMg4Mn	3.3545	–	–	5086	AlMg4Mn	E54S
5251	(AlMg2,5)	–	AlMg2Mn0,3	3.3525	N4	5251	5251	–	(M57S)
5454	–	5454	AlMg2,7Mn	3.3537	–	–	5454	AlMg2,7Mn	(B53S)
5754	AlMg3	–	AlMg3	3.3535	–	–	–	AlMg3	(53S)
6005 A	–	–	–	–	–	–	–	AlMgSi0,7	(C51S)
6060	AlMgSi	(6063)	AlMgSi0,5	3.3206	(H9)	(6063)	6060	AlMgSi0,5	50S
6061	AlMgSi1Cu	6061	–	–	H20	6061	6061	–	61S
6081	–	–	–	–	–	–	–	AlMgSi1	(B51S)
6082	AlSiMgMn	–	AlMgSi1	3.2315	H30	6082	6082	AlMgSi1Mn	–
7020	AlZn4Mg	(7005)	AlZn4,5Mg1	3.4335	–	–	7020	AlZn4,5Mg1	–
7049 A	–	–	–	–	–	–	–	–	–
7051	–	–	–	–	–	–	–	–	–
7075	AlZn6MgCu	7075	AlZnMgCu1,5	3.4365	–	–	7075	AlZn6MgCu1,5	75S

De Franse AFNOR geldt als de meest uitgebreide norm en is bovendien wat codering betreft praktisch identiek aan de Amerikaanse ASTM.  
(1) UNS (United Numbering System): Plaats het cijfer 9 voor de ASTM-codering. Bijv. 1100 wordt 9 1100 in het UNS systeem.  
De tussen haakjes geplaatste legeringen komen overeen met de Franse codering, maar zijn niet volledig identiek.

tabel 12.4 Basismateriaalindeling van aluminium en aluminiumlegeringen volgens de CR/ISO TR 15608 ten behoeve van de lastechniek

groep	subgroep	type aluminium of aluminiumlegeringen
21		zuiver aluminium $\leq 1$ % verontreinigen of legeringselementen
22		niet veredelbare legeringen
	22.1	AlMn legeringen
	22.2	AlMg legeringen $\leq 1,5\%$ Mg
	22.3	AlMg legeringen $1,5\% < \text{Mg} \leq 3,5\%$
	22.4	AlMg legeringen $\text{Mg} > 3,5\%$
23		veredelbare legeringen
	23.1	AlMgSi legeringen
	23.2	AlZnMglegeringen
24		AlSi legeringen met $\text{Cu} \leq 1\%$
	24.1	AlSi legeringen met $\text{Cu} \leq 1\%$ en $5\% < \text{Si} \leq 15\%$
	24.2	AlSiMg legeringen met $\text{Cu} \leq 1\%$ ; $5\% < \text{Si} \leq 15\%$ en $0,1\% < \text{Mg} \leq 0,80\%$
25		AlSiCu legeringen met $5\% < \text{Si} \leq 14\%$ ; $1\% < \text{Cu} \leq 5\%$ en $\text{Mg} \leq 0,8\%$
26		AlCu legeringen met $2\% < \text{Cu} \leq 6\%$

De groepen 21 t/m 23 zijn over het algemeen voor kneedlegeringen en de groepen 24 t/m 26 voor gietlegeringen

Dit geldt met name voor legeringen uit de 5xxx ten opzichte van de 6xxx serie; deze laatste groep heeft een veel betere warmtegeleidbaarheid dan de eerste groep. Als legeringen met een verschil in warmtegeleidbaarheid moeten worden gelast, dan vertoont de lasboog en dus ook het smeltbad de neiging naar de

zijde van het metaal met de kleinste warmtegeleidbaarheid (5xxx) te trekken. Het lassen van dit soort combinaties van legeringen met de hand is meestal niet zo'n probleem, omdat de handlasser deze afwijking bijna automatisch corrigeert. Bij het gemechaniseerd lassen is dit echter niet mogelijk en moet de

lastoorts enigszins a-symmetrisch worden geplaatst in de richting van het deel met de grootste warmtegeleiding. Gebleken is dat de stroomsterkte en de lassnelheid waarmee de verschillende legeringen moeten worden gelast, over het algemeen kritischer zijn dan bij het lassen van gelijksoortige aluminiumlegeringen.

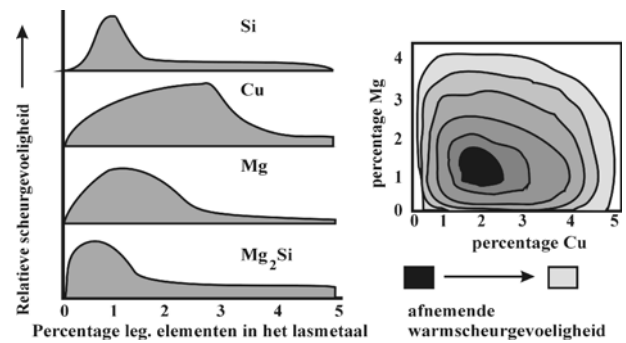
Opmerkelijk is dat de doorlassingszijde bij het maken van dit soort ongelijksoortige aluminiumverbindingen zich kenmerkt door een verschil in kleur; de 5xxx legeringen vertonen een goudkleurige doorlassing en de 6xxx legeringen een zilverkleurig uiterlijk. Waarschijnlijk heeft dit te maken met een verschil in chemische samenstelling van de oxidehuid die wordt gevormd op deze legeringen. Dit is overigens alleen zichtbaar aan de doorlassingszijde, op het lasoppervlak is dit kleurverschil niet waarneembaar, terwijl dit verder niet van invloed is op de kwaliteit van de lasverbinding. Het is goed mogelijk eenzijdige lasverbindingen te vervaardigen tussen legeringen uit de 5xxx en 6xxx serie, waarbij het smeltbad wel en niet ondersteund wordt. In het laatste geval moet men bij het MIG en Puls-MIG lassen doorlassen op de juiste - hard keramische - steentjes, dan wel op roestvaststalen backingmaterialen. Belangrijk hierbij is de juiste vorm van de groef (half rond) in deze backingmaterialen om een goede aanvloeiing te verkrijgen.

#### Metallurgische lasbaarheid van ongelijksoortige aluminiumlegeringen

Het lassen van legeringen uit de 5xxx aan de 6xxx serie hoeft geen extra problemen te geven ten aanzien van bijvoorbeeld het ontstaan van warmscheuren. Toch is het denkbaar dat, bij sommige combinaties, een chemische samenstelling van het lasmetaal wordt verkregen die warmscheur gevoelig is. Dit is vooral het geval bij combinaties waarin het magnesium- en siliciumgehalte in het lasmetaal in de buurt van de 0,25 respectievelijk 0,5 komen te liggen, hetgeen goed te zien is in het warmscheur gevoeligheidsdiagram zoals dit is weergegeven in figuur 12.1. Als dit het geval is, moeten de oplossingen in dezelfde richtingen worden gezocht als bij het lassen van warmscheur gevoelige aluminiumlegeringen van gelijke samenstelling (keuze van het juiste lastoefogmateriaal). Elke keer moet worden nagegaan, aan de hand van opmengdiagrammen, wat globaal de chemische samenstelling van het lasmetaal zal zijn. Met behulp van scheur gevoeligheidsdiagrammen kan dan worden bepaald of een chemische samenstelling van het lasmetaal wordt verkregen die warmscheur gevoelig is.

#### Constructieve lasbaarheid van lasverbindingen in ongelijksoortige aluminiumlegeringen

Bij het mechanisch belasten van ongelijksoortige verbindingen zal nagenoeg altijd breuk optreden in de warmtebeïnvloede zone van het minst sterke (zachtste) materiaal. Als het zachtste materiaal echter aanzienlijk verstevigd tijdens het mechanisch belasten, dan kan de breukplaats ergens anders komen te liggen. De grootte en aard van de warmtebeïnvloede zone wordt bepaald door de leverings toestand van de metalen, de plaatdikte en de warmte-inbreng tijdens het lassen. Vooral bij de precipitatiehardende legeringen uit de 6xxx serie wordt, door de grote warmtegeleidingscoëfficiënt van deze legeringen, een relatief grote warmtebeïnvloede zone verkregen. De breedte van de WBZ kan, afhankelijk van eerder genoemde factoren, uiteenlopen van 10 tot wel 50 mm! Met behulp van hardheidsmetingen (traject over het basismateriaal, de



figuur 12.1 Warm scheur gevoeligheid van een aantal legeringselementen in aluminium alsmede een warm scheur gevoeligheidsdiagram van een combinatie van Mg en Si. In dit diagram is de warm scheur gevoeligheid weergegeven als functie van het silicium- en magnesiumgehalte in het lasmetaal. Het diagram geeft weer dat legeringen met een Si en Mg gehalte van ca. 0,5 % het meest warm scheur gevoelig zijn. Door een juiste keuze van het lastoefogmateriaal (AlMg5 of AlSi5) kan een gunstiger samenstelling (minder warm scheur gevoelig) van het lasmetaal worden verkregen

WBZ en het lasmetaal) kan vaak direct worden voorspeld in welk deel van de lasverbinding het eerst plastische vervorming op zal treden. Als na het lassen geen nabehandeling volgt, zal dat in de meeste gevallen ook de plaats zijn waar bij verdere belasting breuk optreedt. Wel moet rekening worden gehouden met het optreden van een mogelijke versterking van het basismateriaal. Het is wenselijk om, als deze keuze bestaat, te lassen aan legeringen uit de 6xxx serie (en alle precipitatiehardende aluminiumlegeringen) in de T4 toestand (zie kader 12.1) en niet in de T6 toestand. Oververoudering, als aan deze legeringen in de T6 toestand wordt gelast, is er de oorzaak van dat de mechanische eigenschappen in de WBZ aanzienlijk terug kunnen lopen. Als het mogelijk is, verdient het de voorkeur om, na het lassen van het materiaal in de T4 toestand, het materiaal een aanvullende warmtebehandeling te geven tot de T6 toestand. Als er aan koudvervormde aluminiumlegeringen moet worden gelast, geldt meestal de vuistregel dat de legering niet harder mag zijn dan de half harde toestand, tenzij expliciet rekening is gehouden met het verlies van sterkte bij het lassen aan deze legeringen in hardere toestand.

T1	=	Gedeeltelijk oplosgloeien + natuurlijk verouderen
T2	=	Zachtgloeien (veelal gietlegeringen)
T3	=	Oplosgloeien + koudvervormen
T4	=	Oplosgloeien + natuurlijk verouderen
T5	=	Kunstmatig verouderen
T6	=	Oplosgloeien + kunstmatig verouderen
T7	=	Oplosgloeien + stabiliseren
T8	=	Oplosgloeien + koudvervormen + kunstmatig verouderen
T9	=	Oplosgloeien + kunstmatig verouderen + koudvervormen.

Opm.: voor verouderen kan ook uitharden gelezen worden.

kader 12.1 Verklaring van de meest voorkomende aanvullende aanduidingen bij precipitatiehardende legeringen

**Lastoevoegmateriaal voor lasverbindingen in ongelijksoortige aluminiumlegeringen**

Het gasbooglassen van aluminiumlegeringen uit de 5xxx aan legeringen uit de 6xxx serie kan het best plaatsvinden met een lastoevoegmateriaal uit de 5xxx serie. Het 5xxx lastoevoegmateriaal geeft een sterker lasmetaal dan bijvoorbeeld het 4xxx lasmetaal. Bij het lassen van legeringen uit de 5xxx aan de 6xxx serie met lastoevoegmateriaal uit de 4xxx serie, is de opmenging met het 6xxx basismateriaal minder dan bij het gebruik van een lastoevoegmateriaal uit de 5xxx serie. Bij het lassen van dit soort ongelijksoortige legeringen met een geringe dikte (< 5 mm) blijkt, dat de keuze van het lastoevoegmateriaal (4xxx dan wel 5xxx) *niet* relevant is voor de (trek)sterkte van de verbinding, omdat het 6xxx basismateriaal de zwakste component is. In tabel 12.5 wordt een overzicht gegeven voor de keuze van het lastoevoegmateriaal bij het lassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen in relatie tot een aantal criteria (VM 83).

Kader 12.2 geeft een samenvatting van de aanbevelingen voor het lassen van ongelijksoortige aluminium-

legeringen uit de 5xxx aan de 6xxx serie. Veel van deze aanbevelingen zijn echter ook van toepassing voor het lassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen uit andere series.

**12.3 Het gasbooglassen van ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en van aluminium-giet/kneedlegeringen**

Bij het lassen van de verschillende ongelijksoortige aluminium-kneedlegeringen zijn vele combinaties mogelijk. Het aantal combinaties en mogelijkheden neemt nog toe als hierbij ook de aluminium-gietlegeringen worden betrokken. Het is duidelijk dat niet al deze combinaties kunnen worden behandeld, ook al omdat slechts beperkt gegevens beschikbaar zijn ten aanzien van het lassen van de verschillende combinaties. Hiernavolgend worden enige richtlijnen gegeven ten aanzien van het lassen van ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en giet- aan kneedlegeringen. Voor een belangrijk deel zijn deze gegevens ontleend aan het

tabel 12.5 Selectietabel voor de keuze van lastoevoegmaterialen bij het verbinden van ongelijksoortige aluminiumlegeringen (VM 83)

werkstukmateriaal	7020		6005A 6060 6063 6061 6082		5083		5086		5454		5052 5251		1050A 1200 3103	
1050A, 1200, 3103	4043	4043	5356	4043	5356	5356	5356	5356	5183	4043	5183	4043	4043	4043
	4043	5183	4043	5356	5356	5356	5356	5356	5654	5654	5654	5654	1100	1100
5052/5251	5183	5183	5183	4043	5183	5183	5183	5183	5183	5183	5183	5183		
	5556	5356	5556		5556	5356	5556	5356	5556	5356	5556	5356		
	5183	5183	4043	5183	5183	5183	5183	5183	5654	5654	5654	5654		
5454	5183	5183	5183	4043	5183	5183	5183	5183	5183	5183				
	5556	5356	5556		5556	5356	5556	5356	5556	5356				
	5183	5183	5183	5183	5654	5183	5654	5183	5654	5183				
5086	5183	5183	5183	4043	5183	5183	5183	5183						
	5556	5356	5356	5183	5356	5356	5556	5356						
	5183	5183	5183	5183	5356	5183	5183	5183						
5083	5183	5183	5183	4043	5183	5183								
	5556	5356	5556	5183	5556	5356								
	5183	5183	5183	5356	5183	5556								
6005A, 6060, 6063, 6061, 6082	5183	4043	5183	4043										
	5556	5183	5356	5183										
	5183	5183	4043	5183										
7020	5183	5183												
	5556	5356												
	5183	5183												

Keuze van lastoevoegmaterialen in afhankelijkheid van de eisen:

optimale sterkte	goede lasbaarheid
goede corrosie-eigen-schappen	geschikt voor anodiseren

Opmerking 1: De keuze voor het type lastoevoegmateriaal uit het oogpunt van sterkte wordt in de 5XXX-serie bepaald door een voorkeur voor een draadtype met een hoger Mg-percentagte dan het te lassen basismateriaal. Het type 5356 is voor de 5XXX-serie een goed compromis in verband met sterkte, ductiliteit en lasbaarheid (scheurvoeligheid).

Opmerking 2: Voor het verbinden van de verschillende typen in de 5XXX-serie aan elkaar, kunnen uit het oogpunt van corrosie en kleurgelijkheid bij het anodiseren ook de aanbevolen AlMg-typen genoemd bij sterkte en lasbaarheid in plaats van het veelal genoemde type 5183 worden gebruikt.

- De instellingen van de juiste lasparameters zijn bij het lassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen kritisch.
- Er moet rekening worden gehouden met afwijkingen van de lasboog en dus de ligging van het smeltbad in de richting van het materiaal met de grootste warmtegeleiding.
- Veredelbaar materiaal moet het liefst in de T4 toestand worden gelast.
- Koudvervormd materiaal niet lassen als de toestand harder is dan half hard.
- Lastoevoegmateriaal bij voorkeur uit de 5xxx serie gebruiken.
- Het zwakste (minst harde) materiaal is veelal bepalend voor de uiteindelijke sterkte van de verbinding.
- Het eenzijdig doorlassen is kritisch maar goed mogelijk op harde, keramische steentjes of roestvast-stalen backingmateriaal.
- Bij geringe materiaaldikten (< 5 mm) heeft de keuze van het lastoevoegmateriaal *geen* significante invloed op de sterkte van de verbinding.

kader 12.2 Aanbevelingen voor het gasbooglassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen; met name voor het lassen van de 5xxx aan de 6xxx serie

eerder genoemde onderzoek van het NIL en het Aluminium Centrum. Bij het lassen van aluminium-gietlegeringen doet zich, buiten de chemische samenstelling van de legering, nog een extra complicerende factor voor, namelijk de methode van gieten. Bekend is dat, qua chemische samenstelling, goed lasbare aluminium-gietlegeringen soms problemen kunnen geven bij het lassen, doordat ze volgens een bepaalde gietmethode vervaardigd zijn. Een gietmethode waarvan bekend is dat de producten niet tot slecht lasbaar zijn, is het spuitgieten. De snelle vulling van de matrizen (hoge stromen) in combinatie met de hoge druk en afkoelsnelheden zorgen ervoor dat in aluminium-spuitgietlegeringen veel opgelost gas aanwezig is. Als er aan gespuitsgiete aluminiumlegeringen wordt gelast,

komen deze gassen weer vrij en ontstaat er een aanzienlijke poreusheid in het lasmetaal.

Onderzoek wordt uitgevoerd (o.a. in Duitsland) naar het vervaardigen van gespuitsgiete aluminiumlegeringen die wel goed kunnen worden gelast. Het lassen van verschillende, goed lasbare, aluminium-gietlegeringen die met behulp van de diverse andere gietmethoden vervaardigd zijn (zandgieten, coquille gieten, vacuüm proces folie (VPF) en schuimgieten), geeft nauwelijks problemen. Het blijkt dat de genoemde gietmethoden slechts een beperkte invloed hebben op de lasbaarheid van gietlegeringen. De chemische samenstelling van de te lassen legeringen heeft een veel grotere invloed op de lasbaarheid.

Evenals bij het lassen van ongelijksoortige aluminium-kneedlegeringen geldt ook hier, dat de combinatie van te lassen gietlegeringen een samenstelling van het lasmetaal moet geven, waarbij de kans op warm-scheuren zo klein mogelijk is.

### Operationele lasbaarheid van lasverbindingen in ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en giet-aan kneedlegeringen

De operationele lasbaarheid van ongelijksoortige, als goed lasbaar aangegeven, aluminium-gietlegeringen levert met de gangbare boogglasprocessen geen problemen op. Dit geldt eveneens voor het lassen van in principe, goed lasbare, aluminium-gietlegeringen aan aluminium-kneedlegeringen uit de 5xxx en 6xxx serie. In DIN 1725 wordt voor een aantal veel gebruikte aluminium-gietlegeringen aangegeven hoe de lasbaarheid is (zie tabel 12.6). Het is belangrijk om bij het lassen aan (ongelijksoortige) aluminium-gietlegeringen een zorgvuldige lasnaadvoorbereiding uit te voeren. De juiste lasnaadvorm (grote openingshoeken) in combinatie met een goede reiniging van de lasnaadkanten kunnen de doorslag geven of er met succes een lasverbinding tot stand kan worden gebracht. Reparaties aan ongelijksoortige aluminium-

tabel 12.6 Lasbaarheid van een aantal aluminium-gietlegeringen volgens DIN 1725

Kurzzeichen	Bewertung weiterer Werkstoffeigenschaften <sup>1)</sup>						
	Gießbarkeit	Oberflächenbehandlung		Beständigkeit gegen		Zerspanbarkeit	Schweißbarkeit
		mechanische Polierbarkeit	dekoratieve anodische Oxydation	Witterungseinflüsse	Seewasser		
G-AlSi12 G-AlSi12(Cu) G-AlSi10Mg G-AlSi10Mg(Cu) G-AlSi5Mg G-AlSi5Cu1 G-AlSi9(Cu)	ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet sehr gut sehr gut ausgezeichnet	ausreichend ausreichend gut sehr gut sehr gut sehr gut gut	nicht angewandt nicht angewandt nicht angewandt nicht angewandt ausreichend bedingt nicht angewandt	sehr gut ausreichend sehr gut ausreichend ausgezeichnet bedingt bedingt	gut nicht angewandt gut nicht angewandt sehr gut nicht angewandt nicht angewandt	gut gut gut gut sehr gut sehr gut gut	ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet gut sehr gut sehr gut
G-AlMg3 G-AlMg3(Cu) G-AlMg5 G-AlMg10 h	gut gut gut ausreichend	ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet	ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet	ausgezeichnet gut ausgezeichnet ausgezeichnet	ausgezeichnet bedingt ausgezeichnet ausgezeichnet	ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet ausgezeichnet	ausreichend ausreichend gut bedingt
G-AlSi6Cu4 G-AlSi7Cu3	sehr gut ausgezeichnet	gut gut	nicht angewandt nicht angewandt	bedingt bedingt	nicht angewandt nicht angewandt	sehr gut sehr gut	gut sehr gut
G-AlCu5Si3	gut	gut	bedingt	bedingt	nicht angewandt	ausgezeichnet	ausreichend
G-AlCu4Ti G-AlCu4TiMg	ausreichend ausreichend	sehr gut sehr gut	nicht angewandt nicht angewandt	bedingt bedingt	nicht angewandt nicht angewandt	ausgezeichnet sehr gut	bedingt bedingt
GD-AlSi12 GD-AlSi10(Cu) GD-AlSi6Cu3 GD-AlMg9 GD-AlMg8(Cu)	ausgezeichnet sehr gut sehr gut gut gut	ausreichend gut gut ausgezeichnet ausgezeichnet	nicht angewandt nicht angewandt bedingt ausreichend ausreichend	sehr gut ausreichend bedingt ausgezeichnet ausreichend	gut nicht angewandt nicht angewandt ausgezeichnet nicht angewandt	gut sehr gut sehr gut ausgezeichnet ausgezeichnet	ausreichend bedingt bedingt nicht angewandt nicht angewandt

1) Die Bewertung der Eigenschaften in der Tabelle gibt lediglich Anhaltspunkte. Die Eigenschaften können sich je nach Werkstoffzustand, Anwendungsgebiet oder Behandlungsart ändern.  
Die Einstufungen gelten auch für Kokillenguß. Handelt es sich um aushärtbare Legierungen, so ist der ausgehärtete Zustand berücksichtigt.

gietlegeringen en het maken van kleine lassen kunnen het best worden uitgevoerd door middel van het TIG wisselstroomlasproces.

Gebleken is dat het gescheiden toevoegen van warmte en lastoevoegmateriaal bij dit proces een grote flexibiliteit oplevert, waardoor de kans op het succesvol lassen van dit soort legeringen aanzienlijk wordt vergroot. Natuurlijk moet bij het lassen van de verschillende legeringen eveneens rekening worden gehouden met een verschil in uitzettingscoëfficiënt.

### Metallurgische lasbaarheid van verbindingen in ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en giet-aan kneedlegeringen

Het verbinden van goed lasbare, ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen of giet-aan kneedlegeringen hoeft, afhankelijk van de chemische samenstelling van het smeltbad, geen extra problemen ten aanzien van het ontstaan van warmscheuren te geven. Mocht de chemische samenstelling van het lasmetaal zodanig zijn dat er een kans op warmscheuren aanwezig is, dan moet dit worden gecorrigeerd door een optimale keuze van het lastoevoegmateriaal. Problemen ten aanzien van warmscheuren kunnen ook ontstaan door de uitvoering (vormgeving) van het gietproduct; met name dikwandige, starre gietproducten zijn in dit verband ongunstig. Het belangrijkste probleem in deze gevallen is het ontstaan van scheuren en/of poreusheid, waardoor in beide gevallen de mechanische eigenschappen of lekdichtheid ontoelaatbaar kunnen afnemen.

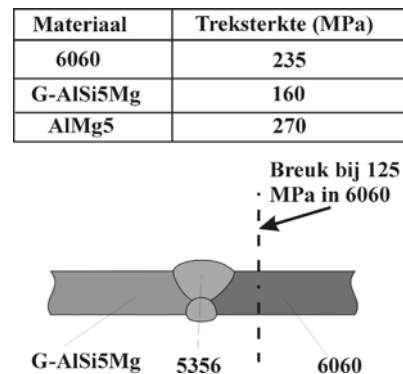
### Mechanische eigenschappen van lasverbindingen in ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en giet-aan kneedlegeringen

Bij het mechanisch belasten van ongelijksoortige giet/gietlegeringen en giet/kneedlegeringen treedt nagenoeg altijd breuk op in de warmtebeïnvloede zone van de minst sterke (zachtste) legering. Bij het lassen van, niet-veredeldbare, ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen blijkt dat de las in de meeste gevallen niet de zwakste zone vormt, mits het juiste lastoevoegmateriaal wordt gekozen.

Wel kan lokaal de hardheid aanzienlijk verschillen bij dit type verbindingen. De hoeveelheid ingebrachte warmte speelt bij het lassen van ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen uit oogpunt van sterkte *geen* significante rol.

Bij gelaste, niet-veredeldbare, verbindingen van aluminium-gietlegeringen aan aluminium-kneedlegeringen (5xxx, 6xxx serie) geldt eveneens dat, bij het mechanisch belasten, breuk in het zwakste metaal zal optreden. De ingebrachte laswarmte heeft, bij dit soort verbindingen, een grote invloed op de (teruggang in) sterkte van de kneedlegering. Dit is met name het geval als het gaat om koudverstevigde en/of precipitatiehardende aluminium-kneedlegeringen. Een ver-

gelijking op basis van de sterkte van de uitgangsmaterialen is dan onvoldoende om te kunnen voorspellen in welk materiaal breuk op zal treden of wat de uiteindelijke sterkte van de verbinding zal worden, zoals het volgende voorbeeld aangeeft. Een aluminium-gietlegering G- $\text{AlSi5Mg}$  (235) met een treksterkte van ca. 160 MPa wordt gelast (MIG) aan een kneedlegering van  $\text{AlMgSi}_{0,5}$  (6060) met een treksterkte van ca. 235 MPa. Als toevoegmateriaal  $\text{AlMg5}$  (5356) met een treksterkte van ca. 270 MPa wordt gebruikt, dan blijkt breuk op te treden in het  $\text{AlMgSi}_{0,5}$  basismateriaal bij een treksterkte van ca. 125 MPa. De, op papier, veel sterkere  $\text{AlMgSi}_{0,5}$  kneedlegering verliest dus zoveel van zijn sterkte dat deze de zwakste schakel vormt, zie figuur 12.2.



figuur 12.2 Lasverbinding van 6060 ( $\text{AlMgSi}_{0,5}$ ) aan G- $\text{AlSi5Mg}$  met 5356 ( $\text{AlMg5}$ ) lastoevoegmateriaal. Breukplaats bij trekproef

### Lastoevoegmateriaal voor lasverbindingen in ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en giet-aan kneedlegeringen

Bij het lassen van ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen of het lassen van aluminium-gietlegeringen aan -kneedlegeringen kan op basis van sterkte het best worden gekozen voor een lastoevoegmateriaal uit de 5xxx serie. Dit geldt alleen als er geen problemen worden verwacht ten aanzien van de operationele lasbaarheid. Is dit wel het geval (warme scheuren), dan wordt meestal gekozen voor een lastoevoegmateriaal uit de 4xxx serie. Als eerste wordt dan gekozen voor het lastoevoegmateriaal 4043 ( $\text{AlSi5}$ ). Zijn er dan nog problemen, dan kan eventueel het lastoevoegmateriaal 4047 ( $\text{AlSi12}$ ) uitkomst bieden. Het gebruik van lastoevoegmateriaal uit de 4xxx serie houdt wel in dat er aanzienlijke concessies worden gedaan ten aanzien van de sterkte van de lasverbinding. Tabel 12.7 geeft van een aantal veelgebruikte lastoevoegmaterialen de sterkte weer.

tabel 12.7 Enkele mechanische eigenschappen van de verschillende lastoevoegmaterialen. Het gaat hier om GEMIDDELDE waarden. De sterkte van het lasmetaal wordt bepaald door de beide basismaterialen, het lastoevoegmateriaal en de opmenging tussen beiden

lastoevoegmateriaal		0,2 % rekgrens (max) MPa	treksterkte (max) MPa	rek %
type	codering (IR)			
(Al99,5)	1050	70	90	15
( $\text{AlMg5}$ )	5356	150	270	10
( $\text{AlSi5}$ )	4043	80	150	13
( $\text{AlSi12}$ )	4047	100	180	11

De mechanische eigenschappen van de verschillende lastoevoegmaterialen geven slechts een globaal beeld van de onderlinge verhoudingen in sterkte. Bij het lassen is er nagenoeg altijd sprake van opmenging van basismateriaal en lastoevoegmateriaal, waardoor de sterkte van de verbinding afwijkt van de sterkte van de afzonderlijke materialen. Bij koud vervormde aluminiumlegeringen en soms bij precipitatiegeharde legeringen is het vaak de warmtebeïnvloede zone die het zwakste is, afhankelijk van de hoeveelheid ingebrachte warmte tijdens het lassen.

In kader 12.3 wordt een samenvatting gegeven voor het lassen van ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en het lassen van aluminium-gietlegeringen aan -kneedlegeringen.

- Het TIG-AC en het (Puls)-MIG lassen zijn uitstekende lasprocessen voor het verbinden van ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en van giet- aan kneedlegeringen. Bij het maken van korte en reparatielekken verdient het TIG-AC lassen de voorkeur.
- De productiewijze van het gegoten product is minstens zo belangrijk voor het goed kunnen lassen van ongelijksoortige aluminium gietlegeringen, als de chemische samenstelling van de uitgangsmaterialen.
- Bij het lassen van ongelijksoortige, *niet-veredeldbare*, aluminium-gietlegeringen is de minst sterke legering bepalend voor de sterkte van de verbinding, mits de sterkte van het lastoevoegmateriaal niet de zwakste schakel vormt.
- Gebruik, uit oogpunt van sterkte, bij voorkeur een lastoevoegmateriaal uit de 5xxx serie.
- Indien er problemen ten aanzien van warmscheuren ontstaan, dan kiezen voor het lastoevoegmateriaal AlSi5 of in uitzonderlijke gevallen voor AlSi12.
- Bij het lassen van aluminium-giet- aan veredeldbare kneedlegeringen dient rekening te worden gehouden met een aanzienlijke teruggang in sterkte van de kneedlegering. De ingebrachte laswarmte speelt in dit geval *wel* een belangrijke rol; deze dient zo laag mogelijk te worden gehouden zonder het risico te lopen van het ontstaan van bindingsfouten ten gevolge van een *te lage* warmte-inbreng.

kader 12.3 Aanbevelingen voor het gasbooglassen van ongelijksoortige aluminium-gietlegeringen en aluminium-giet- aan -kneedlegeringen

## 12.4 *Het lassen van aluminiumlegeringen aan andere metalen*

Aluminium kan in principe worden gelast aan zeer veel andere metalen. Het is in dit verband noodzakelijk een aantal zaken te onderkennen. In de eerste plaats is de keuze van het lasproces een zeer belangrijke factor; deze bepaalt of een verbinding tussen verschillende metalen mogelijk is (operationele lasbaarheid). Hiernaast spelen de mechanische eigenschappen van de verkregen verbinding een belangrijke rol (metallurgische lasbaarheid). Ten aanzien van dit laatste kan worden opgemerkt dat de kristalroosters en de grootte van de metaalatomen hierbij een belangrijke rol spelen. In het algemeen is het mogelijk een lasverbinding tussen verschillende metalen te maken als de kristalroosters gelijk zijn en de atoombdiameters niet meer dan 10 à 15% van elkaar verschillen.

De lasbaarheid hangt af van het verschil in smeltpunten en de soortelijke massa's van de te lassen metalen. Een ander aspect, bij het lassen van aluminiumlegeringen aan andere metalen, is het feit dat dit op twee verschillende manieren mogelijk is. Bij de eerste

methode wordt gebruikgemaakt van z.g. 'buffer- of overgangsmaterialen'. Dit zijn metalen die uit twee of meerdere metalen bestaan en die d.m.v. speciale (las)technieken zijn vervaardigd, dit wordt de 'indirecte' methode genoemd.

De andere methode die 'directe' methode wordt genoemd, is de methode waarbij verschillende metalen rechtstreeks aan elkaar worden gelast.

De keuze voor de directe dan wel indirecte methode bepaalt in belangrijke mate welke lasprocessen in aanmerking komen voor het maken van dit type verbindingen. Beide methoden worden voor zowel het smeltlassen als het druklassen hierna in de paragrafen 12.4.1 en 12.4.2 toegelicht.

### 12.4.1 *Rechtstreeks lassen van ongelijksoortige metalen, directe methode*

#### **Het smeltlassen van aluminium en zijn legeringen aan andere metalen**

De meeste smeltlasprocessen zijn niet geschikt om rechtstreeks verbindingen tot stand te brengen tussen aluminiumlegeringen en andere metalen. De belangrijkste, praktische, reden is dat de smeltpunten van aluminium en andere metalen meestal te ver uit elkaar liggen. Als er wel een (smelt)lasverbinding kan worden gemaakt (veelal met speciale lasprocessen, bijvoorbeeld het EB lassen), ontstaan er problemen in de overgangzone tussen het basismateriaal en het lasmetaal. Vaak worden er in de las en de overgangzone harde, brosse verbindingen gevormd die ervoor zorgen dat er warmscheuren ontstaan en de verbinding hierdoor voortijdig bezwijkt. Uit onderzoek is gebleken dat het niet mogelijk is smeltlasverbindingen te realiseren tussen aluminium en andere metalen zonder dat er intermetallische fasen worden gevormd. Hiernaast zorgen de verschillen in uitzettingscoëfficiënt, warmtegeleidingsvermogen en elasticiteitsmoduli ervoor dat er complexe spanningspatronen in en rond de verbinding kunnen ontstaan. Er zijn dan ook weinig toepassingen bekend waarbij succesvol, door middel van het *smeltlassen*, acceptabele verbindingen gemaakt zijn tussen *aluminium en andere metalen*. Dit is de reden dat, als dit soort verbindingen door middel van het smeltlassen moeten worden gemaakt, er meestal wordt gebruikgemaakt van de 'indirecte methode', waarbij overgangsmetalen worden gebruikt of een bufferlaag wordt aangebracht. De enige smeltlasmethode waarmee, met een redelijke kwaliteit, 'directe' lasverbindingen te realiseren zijn tussen aluminium en andere metalen, is het elektronenbundellassen. Doordat hierbij met een zeer lokale verhitting en dus een klein smeltbad wordt gewerkt onder vacuüm, zijn de omstandigheden gunstiger om tot een acceptabele verbinding te komen.

#### **Het druklassen van aluminium en zijn legeringen aan andere metalen**

Het druklassen omvat, zoals bekend, zeer veel lasprocessen, waarvan het meest bekende en toegepaste het puntlassen is. Het blijkt met een aantal druklasprocessen uitstekend mogelijk te zijn verbindingen tussen aluminium en andere metalen te maken. De processen die hiervoor in aanmerking komen zijn weergegeven in tabel 12.8.

Met veel van deze druklasprocessen is het mogelijk om kwalitatief goede ongelijksoortige verbindingen tot stand te brengen. In bijlage C vindt u een korte omschrijving van de belangrijkste (druk)lasprocessen.

tabel 12.8 De belangrijkste druklasprocessen voor het lassen van aluminium en zijn legeringen aan andere metalen

DRUKLASPROCESSEN
Puntlassen
Wrijvingslassen
Diffusielassen
Ultrasoonlassen
Explosieflassen
Stiftlassen
Kouddruklassen

### Puntlassen

In het Aluminium-Merkblatt V3 en Merkblatt 1604 wordt aangegeven welke aluminiumlegeringen goed en minder goed te puntlassen zijn, de puntlasbaarheid van ongelijksoortige aluminiumlegeringen wordt echter niet vermeld. Te verwachten is dat als een aluminiumlegering minder goed door middel van puntlassen kan worden verbonden, dit bij het verbinden van ongelijksoortige legeringen niet zal verbeteren. De toestand waarin de legering zich bevindt is eveneens een belangrijke factor die de puntlasbaarheid bepaald; waarbij geldt dat hoe harder het materiaal, des te beter is het materiaal te puntlassen. Het puntlassen van aluminium aan andere metalen wordt beperkt toegepast en hiervoor is specialistische apparatuur en vakmanschap noodzakelijk. Algemene regels zijn hiervoor niet te geven. Het grootste probleem is de mate van opmenging van de beide metalen in de laslens die, om dezelfde redenen als bij het smeltlassen, voor een slechte verbinding kan zorgen.

In het algemeen kan worden gesteld dat alle procedures bij het puntlassen, die ervoor zorgen dat er zo weinig mogelijk opmenging plaatsvindt, gunstig zijn voor de kwaliteit van de uiteindelijke lasverbinding. Dit kan bijvoorbeeld worden bereikt door het toepassen van hoge lasstromen in combinatie met korte lastijden, waarbij het gebruik van bijzondere elektroden (samenstelling, afmetingen) soms wordt aanbevolen. Als de elektrische weerstand en het smeltpunt van de te lassen metalen (te) ver uit elkaar liggen, kan de laslens soms volledig in het metaal met de hoogste weerstand terechtkomen, waardoor er geen lasverbinding tot stand komt.

Elektroden met een hoge elektrische weerstand aan de kant van het materiaal met de laagste weerstand of elektroden met een grote diameter aan de kant van het metaal met de hoogste weerstand, of een combinatie van beide, kunnen soms uitkomst bieden om een goede verbinding tot stand te brengen.

Tabel 12.9 geeft een overzicht van combinaties die bij het puntlassen van aluminium aan andere metalen in principe mogelijk zijn en een beoordeling van de kwaliteit van de te verwachten verbinding. Deze tabel geeft alleen maar een globale indicatie van de mogelijkheden; per materiaalgroep kunnen er grote individuele verschillen aanwezig zijn.

Het puntlassen van staal aan aluminium gaat altijd gepaard met brossen intermetallische verbindingen in de laslens. Redelijke verbindingen tussen staal en aluminium kunnen worden gemaakt als het staal is voorzien van een deklaag (vertind of verzinkt staal). Ook hier geldt echter dat als dit soort verbindingen wordt belast, de mechanische eigenschappen een beperkte sterkte hebben (veel lager dan een aluminium/aluminiumverbinding); met name buigbelastingen moeten worden vermeden.

De beste resultaten worden bereikt bij het puntlassen van staal aan aluminium door middel van speciale tussenmetalen, zie hiervoor 'Rechtstreeks lassen van ongelijksoortige metalen, indirecte methode'.

### Wrijvingslassen

Bij het wrijvingslassen komt de verbinding tot stand door een combinatie van druk en temperatuurverhoging ten gevolge van het tegen elkaar bewegen van de ronddraaiende werkstukdelen.

Deze verbinding ontstaat onder invloed van atomaire bindingskrachten in combinatie met diffusie van de metaalatomen. Een belangrijke voorwaarde die aan metalen wordt gesteld die door wrijvingslassen moeten worden verbonden, is dat ze geen zelfsmerende eigenschappen mogen bezitten. Aluminium glijlagermaterialen waarin lood als zelfsmerende component is opgenomen, komen dus bijvoorbeeld niet in aanmerking. Zowel gelijksoortige als ongelijksoortige metaal/metaal-verbindingen kunnen uitstekend worden gemaakt met behulp van het wrijvingslassen. Bij het wrijvingslassen kunnen verbindingen worden gemaakt die niet met behulp van de gangbare (smelt)lasprocessen kunnen worden gerealiseerd. Bekende verbindingen in dit verband zijn verbindingen van aluminium aan staal of koper. Verbin-

tabel 12.9 Mogelijkheden om aluminium en zijn legeringen aan andere metalen te verbinden door middel van het puntlassen en de te verwachten kwaliteit van de verbinding

aluminium en aluminiumlegeringen verbonden d.m.v. het puntlassen aan:	kwaliteit van de verbinding
aluminium en aluminiumlegeringen	goed
onlegeerd staal	slecht
roestvast staal	slecht
nikkel en zijn legeringen	niet optimaal
brons	redelijk met speciale apparatuur
koper	redelijk met speciale apparatuur
fosforbrons	redelijk met speciale apparatuur
messing	tot max. 25% Zn goede verbinding mogelijk met speciale apparatuur
magnesium en zijn legeringen	goed
titaan	niet mogelijk

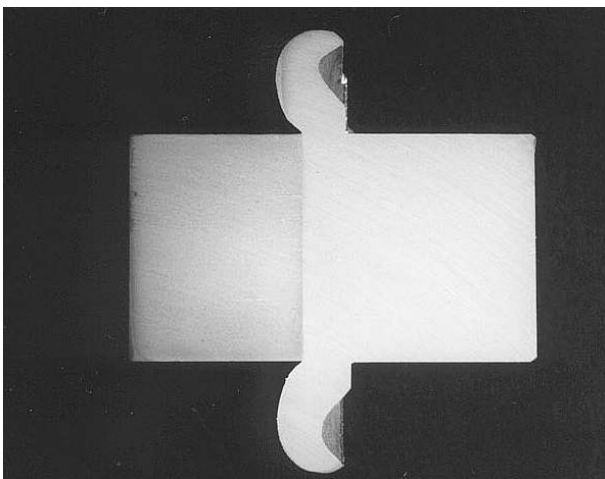


dingen zijn gerealiseerd tussen aluminium (6061) en koper waarbij een sterkte van de verbinding werd verkregen die in de buurt van de sterkte van het koper lag. Verbindingen tussen staal en aluminium hebben over het algemeen een sterkte die overeenkomt met de sterkte van de aluminiumlegering. Figuur 12.3 laat een verbinding zien van staal aan aluminium die door middel van het wrijvingslassen is vervaardigd. De foto laat eveneens zien dat een kwalitatief goede verbinding wordt verkregen. Bij het buigen van de materialen blijkt de verbinding bij een buighoek van  $120^\circ$  nog steeds stand te houden.



figuur 12.3 Verbinding van aluminium aan staal vervaardigd door middel van het wrijvingslassen

De foto in figuur 12.4 toont de kwaliteit van de gemaakte verbinding tussen staal en aluminium (aluminium braam niet verwijderd). Ook het wrijvingslassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen en kneedlegeringen aan gietlegeringen behoort tot de mogelijkheden. Het wrijvingslassen heeft bij het verbinden van aluminiumlegeringen als voordeel dat er nauwelijks poreusheid in de las ontstaat, iets dat bij het smeltlassen van aluminium-gietlegeringen vaak



figuur 12.4 Doorsnede van de verbinding uit figuur 12.3 (staal/aluminium nog met de braam van het aluminium)

niet te vermijden is. Dit wil echter niet zeggen dat bij het wrijvingslassen van ongelijksoortige metalen geen problemen kunnen ontstaan. Deze problemen liggen vooral op het vlak van structuurveranderingen op micro-schaal waarbij te denken valt aan:

- ▶ het vormen van intermetallische fasen;
- ▶ vorming van laagsmeltende eutectica;
- ▶ martensiettransformatie in het staal;
- ▶ rekristallisatie en korrelgroei.

Dit soort veranderingen in de microstructuur kunnen een negatief effect hebben op de mechanische eigenschappen van de verbinding. Intermetallische fasen zijn hard en bros en kunnen, met name als ze voorkomen in een ononderbroken lijn, voor een aanzienlijke verzwakking van de verbinding zorgen. Laagsmeltende eutectica kunnen scheurtjes veroorzaken (smeltscheuren) die meestal zijn terug te vinden in de las en de warmtebeïnvloede zone. In gebieden waar zich martensiet heeft gevormd, is een brosse structuur aanwezig die, afhankelijk van de grootte van deze gebieden, tot een falen van de verbinding kan leiden, terwijl korrelgroei ook een ongewenst effect is, omdat dit zorgt voor een vermindering van de taaiheid. Verbindingen tussen (ongelijksoortige) aluminiumlegeringen door middel van het wrijvingslassen worden altijd gekenmerkt door de volgende aspecten:

- ▶ de vorming van een duidelijk herkenbare las die voornamelijk veroorzaakt wordt door de materiaalstroming ter plaatse van de te verbinden delen en structuurveranderingen;
- ▶ bij het mechanisch belasten van de verbinding treedt over het algemeen breuk op in deze overgangszone, m.a.w. de lasverbinding is meestal de zwakste schakel. Indien het, uit oogpunt van sterkte of corrosie, wenselijk is optimale eigenschappen te verkrijgen, dan kan na het lassen aan de verbinding een warmtebehandeling worden gegeven;
- ▶ de overgangszone (las) wordt groter naarmate de lastijd langer is.

Aluminium en zijn legeringen kunnen aan zeer veel andere metalen worden verbonden door middel van het wrijvingslassen. Tabel 12.10 laat mogelijke combinaties van metalen zien die door middel van het wrijvingslassen kunnen worden verbonden. Het lassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen is over het algemeen geen probleem, waarbij een uitstekende kwaliteit kan worden verkregen. Het lassen van aluminium aan andere metalen (koper en staal bijvoorbeeld) is eveneens goed mogelijk, zij het dat er soms problemen kunnen ontstaan in de vorm van brosse uitscheidingen in de overgangszone. Een ander probleem dat zich voor kan doen bij het lassen van aluminium aan andere metalen, is het verschil in smelttemperaturen en warmtegeleidbaarheid. Bij veredelbare aluminiumlegeringen kan bij het wrijvingslassen een zone aanwezig zijn, waar oververoudering is opgetreden. Dit heeft tot gevolg dat de wrijvingslas bij veredelbare legeringen over het algemeen een sterkte heeft van 70 tot 80% van het basismateriaal. Dit houdt in dat een wrijvingslas in veredelbare aluminiumlegeringen meestal een sterkere verbinding geeft dan een smeltlas. De 7xxx (AlZnMg) serie heeft hierbij, net als bij het smeltlassen, het voordeel dat de verbinding door natuurlijke uitharding nog aanzienlijk in sterkte toeneemt.

tabel 12.10 Materiaalcombinaties die verbonden kunnen worden door middel van het wrijvingslassen

	ZIRCONIUM ALLOYS	VALVE MATERIAL (AUTOMOTIV)	VANADIUM	URANIUM	TUNGSTEN CARBIDE, CEMENTED	TUNGSTEN	TITANIUM ALLOYS	TITANIUM	THORIUM	TANTALUM	STEELS, TOOL	STEELS, STAINLESS	STEELS, SINTERED	STEELS, MARAGING	STEELS, FREE MACHINING	STEELS, CARBON	STEELS, LOW ALLOY	SILVER ALLOYS	SILVER	NIObIUM ALLOYS	NIObIUM	NIMONIC	NICKEL ALLOYS	NICKEL	MONEL	MOLYBDENUM	MAGNESIUM ALLOYS	MAGNESIUM	LEAD	IRON SINTERED	COPPER NICKEL	COPPER	COLUMBIUM	COBALT	CERAMIC	CAST IRON	CARBIDES, CEMENTED	BRONZE	BRASS	ALUMINIUM ALLOYS	ALUMINIUM							
ALUMINIUM	■																																															
ALUMINIUM ALLOYS																																																
BRASS																																																
BRONZE																																																
CARBIDES, CEMENTED																																																
CAST IRON																																																
CERAMIC																																																
COBALT																																																
COLUMBIUM																																																
COPPER																																																
COPPER NICKEL																																																
IRON SINTERED																																																
LEAD																																																
MAGNESIUM																																																
MAGNESIUM ALLOYS																																																
MOLYBDENUM																																																
MONEL																																																
NICKEL																																																
NICKEL ALLOYS																																																
NIMONIC																																																
NIObIUM																																																
NIObIUM ALLOYS																																																
SILVER																																																
SILVER ALLOYS																																																
STEELS, LOW ALLOY																																																
STEELS, CARBON																																																
STEELS, FREE MACHINING																																																
STEELS, MARAGING																																																
STEELS, SINTERED																																																
STEELS, STAINLESS																																																
STEELS, TOOL																																																
TANTALUM																																																
THORIUM																																																
TITANIUM																																																
TITANIUM ALLOYS																																																
TUNGSTEN																																																
TUNGSTEN CARBIDE, CEMENTED																																																
URANIUM																																																
VANADIUM																																																
VALVE MATERIAL (AUTOMOTIV)																																																
ZIRCONIUM ALLOYS																																																

■ VOORKEUR  
 ■ MOGELIJK  
 MAAR MINDER STERKE VERBINDING

De sterkte van een verbinding tussen aluminiumlegeringen die door middel van het wrijvingslassen zijn gemaakt, kunnen op een aantal manieren worden verbeterd:

- ▶ opnieuw precipitatieharden na het lassen;
- ▶ het opstuiken van het materiaal (tijdens of direct na het wrijvingslassen).

Voor het wrijvingslassen van aluminium en zijn legeringen is geen speciale voorbereiding van de te lassen delen noodzakelijk. Parallele kanten van de te verbinden delen zijn over het algemeen voldoende om een goede verbinding tot stand te kunnen brengen. Het wrijvingslassen wordt vrijwel niet in Nederland toegepast; wel in Engeland en Duitsland. Het Welding Institute (TWI) heeft een nieuwe variant van het wrijvingslassen ontwikkeld (1991); het zogenaamde friction stir welding<sup>2</sup>. Bij dit proces wordt een ronddraaiende pen tussen de te verbin-

den materialen voortbewogen en komt ten gevolge van de ontwikkelde wrijvingswarmte een verbinding tot stand. De toepassingsmogelijkheden van deze procesvariant worden nog verder onderzocht.

### Ultrasoonlassen

Bij het ultrasoonlassen komt een verbinding tot stand zonder dat de metalen tot smelten worden gebracht. De energie hiervoor wordt verkregen door het plaatselijk aanbrengen van hoogfrequenttrillingen, waarbij de werkstukdelen onder druk tegen elkaar worden gehouden. Het proces kan worden gezien als het micro-wrijvingslassen. Het nut van dit lasproces komt vooral tot uiting bij het lassen van dunne tot zeer dunne materialen, waarbij nagenoeg alle ongelijksoortige materialen met dit proces kunnen worden gelast. Het ultrasoon lassen kenmerkt zich, evenals het puntlassen, doordat het bijna altijd gaat om het vervaardigen van overlapverbindingen.

<sup>2</sup> Hoewel er nog geen Nederlandse benaming beschikbaar is, zou het wrijvingsroerlassen geen slechte keuze zijn.

Ten aanzien van het lassen van aluminium met andere metalen geeft tabel 12.11 een overzicht van de mogelijkheden. Zoals in de tabel te zien is kan aluminium aan nagenoeg alle metalen worden verbonden. Het lassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen is uitstekend mogelijk met veelal een sterkte van de verbinding gelijk aan de uitgangsmaterialen. Aluminium en zijn legeringen kunnen worden gelast vanaf een dikte van enkele micrometers tot wel 10 mm (speciale apparatuur noodzakelijk). Bij grotere materiaaldikten (>0,5 mm) kan de (scherpe) indrukking van de sonotrodes, bij met name het belasten op vermoeiing, minder goede eigenschappen van de verbinding geven. Het belangrijkste toepassingsgebied van het ultrasoonlassen van aluminiumlegeringen ligt echter over het algemeen bij het lassen van dunne metalen. Een voorbeeld hiervan is het maken van langsnaden in kachelpijpen.

tabel 12.11 Materiaalcombinaties die kunnen worden verbonden door middel van het ultrasoonlassen

	Al	Be	Cu	Ge	Au	Fe	M	M	Ni	Pd	Pt	Si	Ag	Ta	Sn	Ti	W	Zr
Al ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Be ALLOYS	●	●			●											●		
Cu ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ge	●											●						
Au	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Fe ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Mg ALLOYS	●												●			●		
Mo ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ni ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Pd	●											●						
Pt ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Si	●											●	●	●	●	●	●	●
Ag ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Ta ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Sn	●																	
Ti ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
W ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Zr ALLOYS	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

**Explosief lassen**

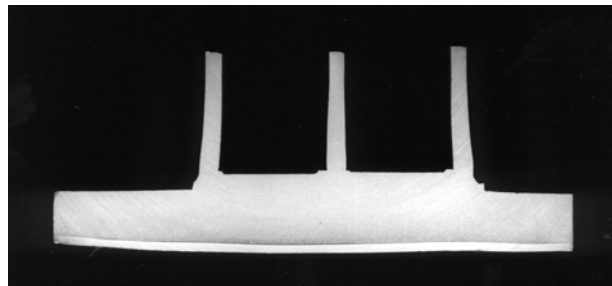
Een belangrijk maar specialistisch lasproces, voor met name het vervaardigen van ongelijksoortige verbindingen, is het explosief lassen. Hoewel het proces in Nederland op slechts beperkte schaal wordt toegepast, worden de materialen die door middel van explosief lassen zijn verkregen wel veel gebruikt binnen de Nederlandse industrie. In de las-techniek worden vooral tussenmetalen die explosief gelast zijn gebruikt. Met het explosief lassen kunnen nagenoeg alle metalen worden verbonden, zoals is te zien in tabel 12.12.

Het grootste toepassingsgebied van het explosief lassen is het lassen van plaatvelden. Het proces kan echter ook uitstekend worden ingezet voor het lassen van pijp/plaat- en pijp/pijp-verbindingen van gelijksoortige of ongelijksoortige metalen. Kenmerkend voor een explosief gelaste verbinding is het golfvormige patroon van de overgangslaag.

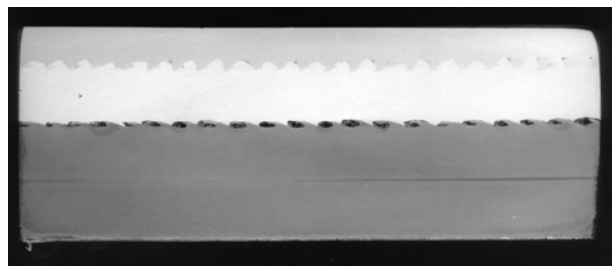
Dit is een belangrijk verschil met bijvoorbeeld een door walsen of extruderen aangebrachte cladlaag, waarbij dit kenmerk ontbreekt. Deze verschillen zijn goed te zien op de foto's in figuur 12.5 en 12.6.

tabel 12.12 Materiaalcombinaties die verbonden kunnen worden door middel van het explosief lassen

	ZIRCONIUM	MAGNESIUM	COBALT ALLOYS	PLATINUM	GOLD	SILVER	COLUMBIUM	TANTALUM	TITANIUM	NICKEL ALLOYS	COPPER ALLOYS	ALUMINIUM	STAINLESS	ALLOY STEELS	CARBON STEELS
CARBON STEELS	●	●			●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ALLOY STEELS	●	●	●					●	●	●	●	●	●	●	●
STAINLESS STEELS			●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
ALUMINIUM ALLOYS		●				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
COPPER ALLOYS					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
NICKEL ALLOYS		●		●	●			●	●	●	●	●	●	●	●
TITANIUM	●	●				●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
TANTALUM					●		●	●	●	●	●	●	●	●	●
COLUMBIUM				●			●	●	●	●	●	●	●	●	●
SILVER						●		●	●	●	●	●	●	●	●
GOLD								●	●	●	●	●	●	●	●
PLATINUM				●					●	●	●	●	●	●	●
COBALT ALLOYS										●	●	●	●	●	●
MAGNESIUM		●													
ZIRCONIUM	●														



figuur 12.5 Aluminiumprofiel met een meegeëxtrudeerde koperlaag



figuur 12.6 TriClad verbinding van staal/Al/AlMg4,5Mn

Figuur 12.5 is een aluminiumprofiel voorzien van een koperen laag die is aangebracht door extruderen. Dit is een speciale manier van extruderen (co-extrusie), waarbij het mogelijk is onder specifieke voorwaarden dergelijke materialen te vervaardigen. Cladlagen worden natuurlijk ook veel aangebracht door middel van walsen.

Bekende voorbeelden zijn de aluminium ALCLAD<sup>3</sup> legeringen die in de vliegtuigindustrie veel worden gebruikt. Een andere toepassing van het plateren van aluminiumlegeringen met zuiver aluminium is het maken van soldeerbare platen voor het maken van warmtewisselaars d.m.v. hardsolderen (ovens, vloeimiddelbaden vacuumsolderen). In figuur 12.5 is

3 ALCLAD bestaat uit een sterke maar niet erg corrosievaste AlCu legering. Om de corrosievastheid te waarborgen is hierop zowel aan de bovenkant als aan de onderkant van de AlCu plaat een dun laagje zuiver aluminium gewalst.

een explosief gelaste verbinding tussen staal en aluminium (Al/Al/Fe) met de kenmerkende golfvormige overgang te zien. Explosief gelaste aluminium/staal-verbindingen worden vooral toegepast in de maritieme sector (o.a. voor kathodische bescherming), aluminium/koper-verbindingen waar het gaat om het overbrengen van elektrische stromen en aluminium/roestvast staal-verbindingen vinden hun toepassingen voornamelijk in de petrochemische industrie. Kader 12.4 geeft een samenvatting van het lassen van aluminium aan andere metalen door middel van het 'direct' lassen.

- Het is moeilijk algemeen geldende richtlijnen te geven voor het verbinden van aluminiumlegeringen aan andere metalen.
- Het maken van 'directe' smeltlasverbindingen tussen aluminiumlegeringen en andere metalen dient in veel gevallen te worden afgeraden.
- Het maken van 'directe' druklasverbindingen is met een aantal druklasprocessen mogelijk.
- Veel verbindingen van aluminiumlegeringen met andere metalen kenmerken zich meestal door een beperkte mechanische sterkte.
- Zeer goede verbindingen van aluminium met andere metalen zijn te realiseren door middel van het explosief lassen.

kader 12.4 Aanbevelingen voor het lassen van aluminium aan andere metalen door middel van het 'direct' lassen

12.4.2 **Het lassen van ongelijksoortige metalen door middel van een tussenmetaal, indirecte methode**

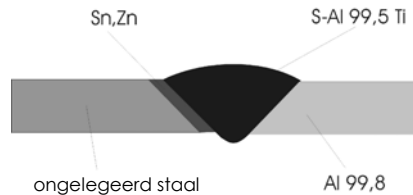
Het verbinden van aluminium en zijn legeringen met andere metalen door middel van het smeltlassen kan bij de indirecte methode op twee manieren plaatsvinden. De eerste manier betreft het aanbrengen van een bufferlaag op het niet-aluminium, terwijl bij de tweede methode wordt gewerkt met een tussenmetaal dat bestaat uit minimaal twee metalen (aluminium en het andere metaal).

**Het gebruik van een bufferlaag voor het lassen van aluminium en zijn legeringen aan andere metalen**

Het aanbrengen van een bufferlaag wordt over het algemeen uitgevoerd met behulp van het TIG lassen, het metaalspuiten, het solderen of het dompelen. Deze laag wordt nooit op het aluminium aangebracht maar altijd op het andere metaal. De laagdikte is niet vast omschreven en begint, afhankelijk van de toepassing en het lasproces, bij ongeveer 0,05 mm.

Bufferlagen hebben als belangrijkste functie de vorming van intermetallische fasen te onderdrukken.

Dit wordt bereikt doordat een betere bevochtiging wordt verkregen en doordat de verbinding sneller kan worden gemaakt en dus een kortere tijd op een verhoogde temperatuur is. Bij het lassen van aluminium en zijn legeringen aan koper wordt vaak brons of messing als buffer gebruikt. In aanmerking komende buffermetalen voor het lassen van aluminium en zijn legeringen aan staal zijn: nikkel, koper, zilver, tin en zink. Zink als tussenlaag is in principe bruikbaar, maar kan resulteren in een zwakke hechtlaag bestaande uit  $\theta$ -fase. Bij het lassen kunnen problemen optreden ten gevolge van het verdampen van zink (poreusheid). Tin en nikkel geven betere resultaten. Wel is er bij het gebruik van nikkel kans op warscheuren, met name als zich in het aluminium magnesium bevindt. Acceptabele resultaten zijn bekend van zilver als bufferlaag, dit is echter een vrij kostbare oplossing. Zilver-soldeer als buffermetaal kan een acceptabele verbinding opleveren tussen staal en aluminium. Goede resultaten zijn gemeld bij het TIG lassen van staal en koper aan aluminiumlegeringen waarbij bufferlagen van tin en zink zijn gebruikt met als toevoegmateriaal aluminium. In dit geval wordt eerst de bufferlaag aangebracht door autogeenlassen, vlamspuiten of onderdompelen van het staal, zie figuur 12.7. Hierna wordt de verbinding TIG gelast. Tabel 12.13 geeft een overzicht van verbindingen die op deze manier gemaakt zijn met hun mechanische eigenschappen.

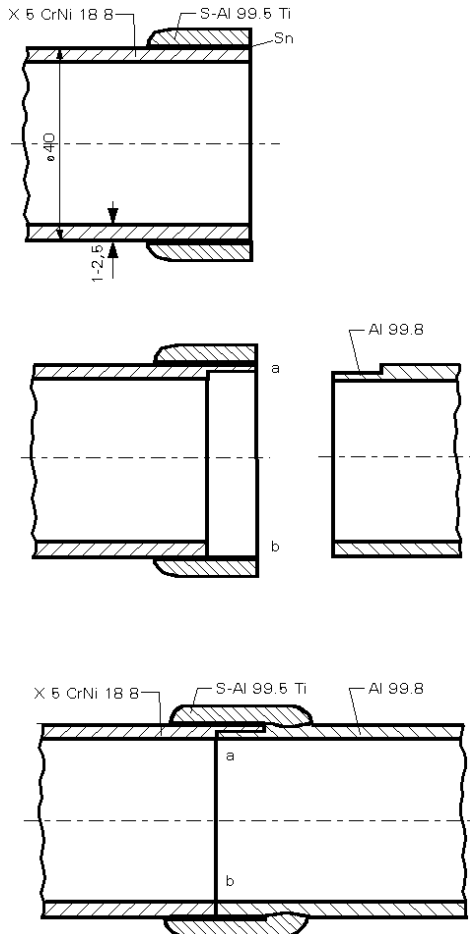


figuur 12.7 Lasverbinding van aluminium aan staal, waarbij het staal wordt voorzien van een deklaag van zink of tin

Al deze verbindingen zijn bij het mechanisch beproeven gebroken in de bufferlaag. Een voorbeeld waarbij wordt gebruikgemaakt van een bufferlaag van tin, toont figuur 12.8. Hierbij gaat het om een verbinding van buizen van X5 Cr Ni 18 8 aan ongelegeerd aluminium. Hierbij wordt eerst een tinlaag d.m.v. solderen op de roestvaststalen buis aangebracht, hierna worden d.m.v. het TIG lassen lasrupsen aangebracht van Al99,5. Vervolgens wordt de aluminium buis in de roestvaststalen buis gebracht en aan het opgelaste aluminium gedeelte gelast. Het is ook mogelijk om, in plaats van het oplassen van rupsen lasmetaal, gebruik te maken van een aluminium lasmof. Het gebruik van bufferlagen beperkt zich in veel gevallen tot die soort verbindingen waaraan geen hoge mechanische eisen worden gesteld.

tabel 12.13 Buffermetaal, lastoevoegmateriaal en sterkte van de verbinding bij het lassen van enige aluminiumlegeringen aan staal

combinatie	buffermetaal	lasdraad	treksterkte [MPa]
Al99,5 - staal	Tin	S - Al99,5	80
AlMn1,5 - staal	Zink	S - AlSi5	100
AlMg3 - staal	Tin	S - AlMg5	160
AlMg3 - staal	Zink	S - AlMg5	120
AlMgMnSi - staal	Tin	S - AlSi5	130
AlMgMnSi - staal	Tin	S - AlMg5	140



figuur 12.8 Schematische voorstelling van het TIG lassen van een buis van X 5 Cr Ni 18 8 aan aluminium waarbij gebruikgemaakt wordt van het oplassen van rupsen

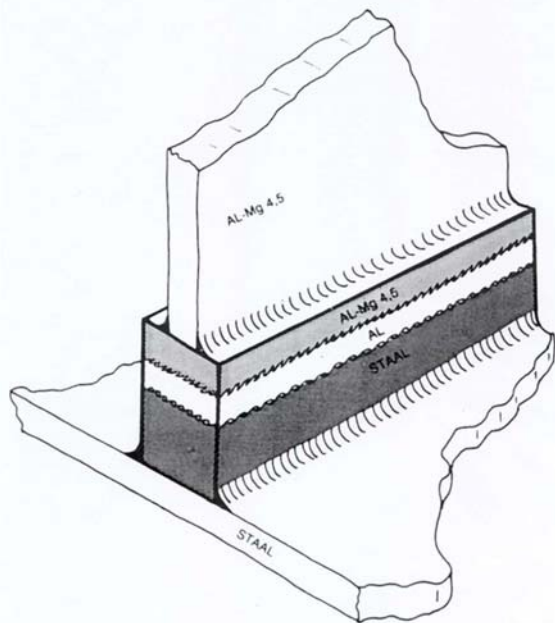
**Het gebruik van een tussenmetaal voor het lassen van aluminium en zijn legeringen aan andere metalen**

Een tussenmetaal bestaat uit twee of meerdere afzonderlijke metalen die veelal door middel van het explosief lassen zijn verbonden. Het *smeltlassen* van aluminium en zijn legeringen met behulp van een tussenmetaal is zeer goed mogelijk en is in feite de enige betrouwbare manier om, in dit soort gevallen, een kwalitatief goede lasverbinding tot stand te brengen. Omdat bij het gebruik van tussenmetalen er meestal sprake is van twee afzonderlijke, gelijksoortige verbindingen die moeten worden gemaakt, is het in dit geval dus eigenlijk niet juist om over het lassen van ongelijksoortige metalen te spreken. De chemische samenstelling van de afzonderlijke metalen die als tussenmetaal (laminaat) dienst doen is zodanig, dat deze grotendeels overeenkomt met de samenstelling van de te lassen metalen. In de loop der jaren zijn voor de

verschillende toepassingen speciale tussenmetalen ontwikkeld. Zo worden in de chemische apparatenbouw soms verbindingen gemaakt tussen bijvoorbeeld aluminium- en roestvaststalen buizen met als eis dat de verbinding vacuümdicht moet zijn. Hiervoor zijn speciale overgangsstukken (transition couplings) ontwikkeld. Deze overgangsstukken bestaan voor een deel uit aluminium en voor een deel uit roestvast staal en worden met de overeenkomstige delen aan de te verbinden buisdelen gelast. Dit zijn vrij dure overgangsstukken die voor elke pijpdiameter apart moeten worden besteld. Tussenmetalen zijn in vele uitvoeringen en vormen verkrijgbaar. Het meest gebruikt worden plaat- en ringvormige tussenmetalen. Hierbij bestaat het tussenmetaal in zijn simpelste vorm uit twee lagen (bilayer of biclad) en in een meer gecompliceerde vorm uit drie lagen (trilayer of triclad). De chemische samenstelling van de afzonderlijke lagen wordt bepaald door de materialen die verbonden moeten worden. Hierbij zijn zeer veel combinaties van metalen mogelijk, afhankelijk van het toepassingsgebied (zie tabel 12.14).

Een tussenmetaal dat in de scheepsbouw veel wordt gebruikt voor het lassen van aluminiumlegeringen op staal is het zogenaamde TriClad. Dit wordt toegepast als er een aluminium opbouw op een stalen schip moet worden gemaakt.

TriClad materiaal bestaat zoals de naam al doet vermoeden uit een drietal afzonderlijke metalen die, d.m.v. het explosief lassen verbonden zijn, zie figuur 12.9. De AlMg4,5Mn legering wordt op conventionele manier (MIG of TIG) aan de aluminium



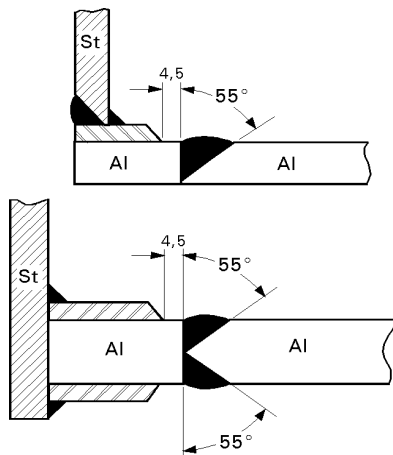
figuur 12.9 Schematische weergave van een TriClad verbinding

tabel 12.14 Overzicht van diverse combinaties die gebruikt worden voor verschillende toepassingen

industrie	toepassing	combinaties
aluminiumsmelterijen petrochemie industriële gassen water ontziltingsinstallaties voedsel en medische sector scheepsbouw	elektrische contacten bereiding zuurwater cryogene zout water voedselverwerking, implantaten opbouw aluminium dekken	Cu/Al/Cu Ti/Ti/staal Al/Ta/RVS CuNi/Fe, Ti/Staal Ni/Fe, Ni/Ti AlMg/Al/staal

opbouw gelast terwijl het stalen deel aan het (stalen) dek wordt gelast (MIG of Bmbe = booglassen met beklede elektrode). Het gebruik van dit soort verbindingen is niet beperkt tot het maken van plaat/plaat-verbindingen in het horizontale vlak. Ook hoeklassen en pijp/pijp-verbindingen kunnen met deze tussenlagen worden gerealiseerd.

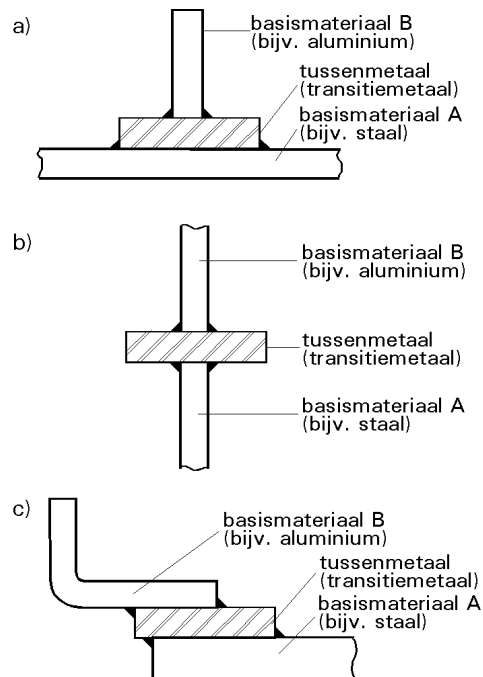
Figuur 12.10 geeft, schematisch, een aantal voorbeelden van het gebruik van dit soort tussenmetalen. De ervaring leert dat, ondanks dat we bij deze toepassing te maken hebben met verschillende metalen en een corrosief milieu (zeewater), het gevaar voor galvanische corrosie op de overgangslaag bij dit soort verbindingen beperkt is. Indien dit type verbindingen ongecoat wordt gebruikt, treedt er na verloop van tijd door het elektrolyt een beperkte penetratie van de tussenlaag op. Na enige tijd vult het gepenetreerde deel zich met een laagje hard, inert aluminiumhydroxide dat fungeert als afdichting en ervoor zorgt dat het geheel passief wordt. Als de betreffende verbindingen van een deklaag (bijvoorbeeld verf) worden voorzien, treedt er uiteraard geen corrosie meer op.



figuur 12.10 Schematische weergave van een aantal mogelijkheden bij het gebruik van tussenmetalen

Ten aanzien van het optreden van galvanische corrosie bij het verbinden van twee metalen met een potentiaalverschil, geldt dat de standaard veiligheidsvoorzieningen voor het voorkomen van corrosie moeten worden getroffen. Toepassingen zijn eveneens bekend waarbij aluminium/staal-verbindingen (pijp/pijp) zijn gemaakt met als tussenmetaal een explosief gelast aluminium/stalen ring. Een belangrijk aspect waar, bij het smeltlassen van deze tussenmetalen, op moet worden gelet, is het effect van de temperatuur op de overgang van de twee of meer, veelal explosief verbonden, lagen. Dit aspect bepaalt tevens de minimum afmetingen waar deze tussenmetalen bij het smeltlassen uit opgebouwd moeten zijn. Over het algemeen wordt er van uitgegaan dat de tussenlaagtemperatuur bij een aluminium/staal-verbinding niet boven de  $450^{\circ}\text{C}$  uit mag komen. Hierboven bestaat het risico dat, ten gevolge van een verschil in uitzettingscoëfficiënt, de beide metalen loskomen van elkaar. Speciale aandacht moet om deze redenen worden geschonken aan de uiteinden van de lasverbinding waar, ten gevolge van de warmtestuwing, de temperatuur snel en hoog op kan lopen. Het is dus zaak de warmte-inbreng tijdens het smeltlassen in de gaten te hou-

den om beschadiging van het tussenmetaal te voorkomen. Uit constructief oogpunt moet bij het gebruik van dit soort tussenmetalen rekening worden gehouden met het feit dat het gunstiger is de verbinding op trek of druk te belasten dan op afschuiving. Ten aanzien van het aanbrengen van lasnaadvormen aan de tussenmetalen moet rekening worden gehouden met de warmte-afvoer tijdens het lassen. Figuur 12.11 toont dit voor een aantal uitvoeringsvormen van tussenmetalen. Bij dit type tussenmetalen is het gebruikelijk minimaal een staand deel van het aluminium vanaf de stalen plaat aan te houden van 5 mm. De openingshoek aan de kant van het aluminium moet bij halve V-naden tussen de  $45^{\circ}$  en  $55^{\circ}$  liggen. Indien mogelijk is het altijd raadzaam om eerst de aluminium/aluminium-verbinding tot stand te brengen en pas daarna de staal/staal-verbinding. In dit geval kan het aluminium bijdragen om de warmte tijdens het lassen van het staal zo snel mogelijk af te voeren.



figuur 12.11 Een aantal uitvoeringsvormen van tussenmetalen.

- a = Hoeklas. Dit soort verbindingen komen we regelmatig tegen in de ketel en apparatenbouw en de scheepsbouw. In de scheepsbouw bijvoorbeeld voor het bevestigen van een aluminium-opbouw op een stalen schip.
- b = Kruisstuk voor het lassen van bijvoorbeeld koper aan aluminium ten behoeve van elektrische aansluitingen.
- c = Overlapverbinding

### Het gebruik van een tussenmetaal bij het lassen van aluminium en zijn legeringen aan andere metalen bij het druklassen

Tussenmetalen bij druklasprocessen van ongelijksoortige metalen worden eveneens toegepast. Het principe van het gebruik van deze tussenmetalen is gelijk aan het gebruik van tussenmetalen bij het smeltlassen. De tussenmetalen worden veelal vervaardigd door middel van het koudwalsen (walsplateren), waarbij de afmetingen meestal veel kleiner zijn dan de tussenmetalen die worden gebruikt voor het smeltlassen. Voor het verbinden van staal aan

aluminium worden bij het puntlassen tussenmetalen gebruikt met een dikte van 1 tot 1,5 mm, meestal opgebouwd uit drie lagen (bijv. Fe/AlSi/AlMg). De praktische uitvoering van het maken van deze verbindingen door middel van het puntlassen kenmerkt zich over het algemeen door het instellen van lange lastijden dan voor de afzonderlijke materialen nodig is. De verbinding wordt in één procesgang gemaakt. Er is een interessante, in 1985 gepatenteerde, manier voor het vervaardigen van ongelijksoortige verbindingen door middel van rolnaadlassen van bijvoorbeeld roestvast staal en nikkel en zijn legeringen aan aluminium en zijn legeringen. Bij deze methode wordt gebruikgemaakt van een tussenmetaal in de vorm van een gevlochten metalen matje. De combinatie van rolnaadlassen met tussenmetaal zorgt ervoor dat kwalitatief hoogwaardige verbindingen kunnen worden gemaakt. De dikte van het basismateriaal mag hierbij liggen tussen de 2 en 150 mm terwijl de dikte van de cladlaag kan variëren tussen de 0,5 en 2 mm. Dit materiaal kan ook als tussenmateriaal worden gebruikt voor het vervaardigen van smeltlasverbindingen aan ongelijksoortige metalen als vervanger van bijvoorbeeld explosief gelaste tussenmaterialen. Deze metalen worden onder andere gebruikt in de petrochemische industrie voor het aanbrengen van liners in vaten, het bekleden van warmtewisselaars en het maken van stroomvoerende overgangen. Ook bij het ultrasoonlassen en diffusielassen kunnen tussenmetalen worden gebruikt om verbindingen tot stand te brengen tussen ongelijksoortige metalen. Met name bij het diffusielassen worden soms zeer dunne tussenmetalen gebruikt in de vorm van folie of een coating op een van de te verbinden metalen. Coatings worden vaak aangebracht door middel van elektrolyse of het zogenaamde opdampen (CDV = Chemical Vapor Deposition).

Bij een toepassing waarbij succesvol onderling verschillende aluminiumgietlegeringen diffusie gelast zijn, werd gebruikgemaakt van zilver als tussenmetaal. Tussenmetalen kunnen bij het diffusielassen om verschillende redenen worden gebruikt, tabel 12.15 geeft hiervan een overzicht.

Bij het verbinden van twee verschillende metalen door middel van het diffusielassen kan het tussenmetaal de wederzijdse diffusie vertragen. Van deze vertraging wordt soms gebruikgemaakt om de vorming van intermetallische verbindingen te voorkomen of vanwege het opvangen van verschillende uitzettingscoëfficiënten van de te verbinden metalen, waardoor bindingsfouten worden voorkomen. Het gebruik van een laagsmeltend tussenmetaal is belangrijk voor het diffusielassen in vloeibare toestand. Dit laagsmeltende materiaal moet samen met de te lassen metalen een legering vormen, om zodoende een samenstelling te krijgen met een beduidend lager smeltpunt dan dat van de te verbinden metalen. Bovendien verlopen de diffusieprocessen in

de vloeibare tussenlaag aanzienlijk sneller, zodat onder andere de lastemperatuur kan worden verlaagd. Het tussenmetaal kan ook dienen als desoxidant of absorbeerder van vuil, indien een of beide te lassen metalen niet in staat zijn de eigen oxidelaag of ieder ander 'vreemd' materiaal van het oppervlak te verwijderen. Bij het functioneren als breker van oxidefilms wordt het metaal/metaal contact bevorderd. Het vergroten van het contact kan gebeuren door de 'vullende' functie waardoor de contactvlakken gelijkvormig worden. Voor het lassen van ongelijksoortige aluminiumlegeringen kan gebruikgemaakt worden van aluminium-, nikkel- en zilverfolies als tussenmetaal. Zilver als tussenmetaal heeft als voordeel dat het met aluminium een vloeibare fase vormt en door middel van diffusie, door de oxidelaag heen met aluminium kan reageren.

Uit het bovenstaande mag duidelijk zijn dat het, bij het maken van dit soort verbindingen door middel van het druklassen, vaak om specialistische toepassingen gaat waarvoor specialistische kennis en apparatuur onontbeerlijk zijn. In kader 12.5 vindt u een samenvatting van het lassen van aluminiumlegeringen aan andere metalen door middel van het 'indirect' lassen.

- Het lassen van aluminiumlegeringen aan andere metalen door middel van een tussenmetaal verdient in bijna alle gevallen de voorkeur boven de 'directe' methode. Dit geldt zeker voor het smeltlassen.
- Bij het smeltlassen van aluminium aan andere metalen met behulp van tussenmetaal dient het tussenmetaal niet warmer te worden dan ca. 450°C.
- Het is verstandig zoveel mogelijk gebruik te maken van standaard, in de handel verkrijgbare, tussenmetalen voor het lassen van aluminium aan andere metalen.
- Corrosie op het grensvlak van de tussenmetalen valt bij het verbinden van aluminium aan andere metalen bij niet al te agressieve milieus mee. Ten aanzien van het 'normale' corrosiemechanisme (galvanische corrosie) bij het contact tussen twee verschillende metalen dienen de standaard veiligheidsmaatregelen in acht te worden genomen.
- Er is veelal specialistische kennis en apparatuur nodig voor het vervaardigen van dit type ongelijksoortige verbindingen.

kader 12.6 Aanbevelingen voor het lassen van aluminium aan andere metalen door middel van het 'indirect' lassen

tabel 12.15 Invloed van een tussenmetaal op de lasverbinding bij het diffusielassen

gebied	passief	actief
metallurgisch	diffusiebarrière	vormen van een vloeistof met een laag smeltpunt of diffusiebevorderaar
chemisch	oppervlaktedichtend middel	desoxidatiemiddel of absorptiemiddel voor verontreinigingen
mechanisch	zacht vulmiddel	oxidehuidbreker

## Hoofdstuk 13

### Koper en koperlegeringen

Het lassen van koper en koperlegeringen stelt de uitvoerder vaak voor problemen. Dit geldt voor het lassen van gelijksoortige en zeker voor het lassen van ongelijksoortige metalen, waarvan één of beide metalen koper of een koperlegering is. In veel gevallen zijn de problemen die bij het lassen van ongelijksoortige koperlegeringen kunnen optreden terug te voeren op de fysische en metallurgische eigenschappen van de afzonderlijke metalen. Hierdoor is het mogelijk, op basis van het lassen van gelijksoortige koperlegeringen en de specifieke problemen die zich hierbij kunnen voordoen, iets te zeggen over de problemen die kunnen worden verwacht bij het lassen van ongelijksoortige koperlegeringen. De veelheid van koperlegeringen en combinaties maken het onmogelijk alle varianten te bespreken. Dit is ook niet nodig, omdat enerzijds veel

combinaties in de praktijk niet voorkomen en anderzijds omdat aan sommige koperlegeringen beter helemaal niet gelast kan worden. Van de combinaties die in de praktijk voorkomen, zullen in dit hoofdstuk de belangrijkste problemen worden besproken. Allereerst zullen de meest gebruikte koperlegeringen, hun coderingen en hun lasbaarheid worden besproken. Zoals gebruikelijk worden in de diverse landen verschillende normen gehanteerd, die elk weer verschillende coderingen aanhouden. Evenals bij aluminium wordt echter in internationaal verkeer meestal gebruikgemaakt van één codering. Was dit bij aluminium de codering volgens het IR (Internationaal Register), koper en koperlegeringen worden meestal aangegeven volgens de aanduiding van de UNS<sup>4</sup>.

#### 13.1 Codering van koper en koperlegeringen

Tabel 13.1 [1] geeft een overzicht van de UNS coderingen van koper en zijn legeringen. Omdat, per norm,

tabel 13.1 Overzicht van de door UNS gehanteerde coderingen, hun globale chemische samenstelling en een aantal coderingen die in andere landen worden gehanteerd

UNS	BS	ISO	DIN	Am. naam	samenstelling			
<b>Koper</b>								
C10200	Cu-Of	Cu-OF	OF-Cu	OFC	99,95%Cu			
C11000	Cu-ETP-2	Cu-ETP	E-Cu <sub>57/58</sub>	ETP	99,90%Cu		0,04%O <sub>2</sub>	
C12000	Cu-DLP	Cu-DLP	SW-Cu	DLP	99,90%Cu		0,008%P	
C12200	Cu-DHP	Cu-DHP	SF-Cu	DHP	99,90%Cu		0,02%P	
<b>Berylliumkoper</b>								
C17500	C 112	CuCo <sub>2</sub> Be	CuCo <sub>2</sub> Be	High conductivity	96,90%Cu	0,6%Be	2,5%Co	
C17000	CB 101	CuBe <sub>1,7</sub>	CuBe <sub>1,7</sub>	High strenght	98,30%Cu		1,7%Be	
C17200		CuBe <sub>2</sub>	CuBe <sub>2</sub>	Super high strenght	98,10%Cu		1,9%Be	
<b>Koper-Zink</b>								
C21000	CZ 125	CuZn <sub>5</sub>	CuZn <sub>5</sub>	Gilding	95%Cu	5%Zn		
C22000	CZ 101	CuZn <sub>10</sub>	CuZn <sub>10</sub>	Commercial bronze	90%Cu	10%Zn		
C23000	CZ 102	CuZn <sub>15</sub>	CuZn <sub>15</sub>	Red brass	85%Cu	15%Zn		0,1%Mn
C24000	CZ 103	CuZn <sub>20</sub>	CuZn <sub>20</sub>	Low brass	80%Cu	20%Zn		
C26000	CZ 106	CuZn <sub>30</sub>	CuZn <sub>30</sub>	Cartridge brass	70%Cu	30%Zn		
C26800		CuZn <sub>33</sub>	CuZn <sub>33</sub>	Yellow brass	65%Cu	35%Zn		
C28000	CZ 109	CuZn <sub>40</sub>	CuZn <sub>40</sub>	Muntz metal	60%Cu	40%Zn		
C44300	CZ 111	CuZn <sub>28</sub> Sn <sub>1</sub>	CuZn <sub>28</sub> Sn <sub>1</sub>	Admiralty brass	71%Cu	28%Zn	1%Sn	
C46400	CZ 112	CuZn <sub>38</sub> Sn <sub>1</sub>	CuZn <sub>38</sub> Sn <sub>1</sub>	Naval brass	60%Cu	39,25%Zn	0,75%Sn	
C67500				Manganese bronze	58,5%Cu	39%Zn	1,4%Fe	
C68700	CZ 110	CuZn <sub>20</sub> Al <sub>2</sub>	CuZn <sub>20</sub> Al <sub>2</sub>	Aluminium brass	77,5%Cu	20,5%Zn	2%Al	0,06%As
<b>Koper-Zink-Nikkel</b>								
C74500	NS 103	CuNi <sub>10</sub> Zn <sub>27</sub>		Nickelsilver 65/10	65%Cu	25%Zn	10%Ni	
C75200	NS 106	CuNi <sub>18</sub> Zn <sub>20</sub>	CuNi <sub>18</sub> Zn <sub>20</sub>	Nickelsilver 65/18	65%Cu	17%Zn	18%Ni	
C75400	NS 105	CuNi <sub>15</sub> Zn <sub>21</sub>		Nickelsilver 65/15	65%Cu	20%Zn	15%Ni	
C75700	NS 104	CuNi <sub>12</sub> Zn <sub>24</sub>	CuNi <sub>12</sub> Zn <sub>24</sub>	Nickelsilver 55/18	65%Cu	23%Zn	12%Ni	
C77000	NS 107	CuNi <sub>18</sub> Zn <sub>27</sub>	CuNi <sub>18</sub> Zn <sub>27</sub>	Nickelsilver	55%Cu	27%Zn	18%Ni	
<b>Koper-Tin-Fosfor</b>								
C50500				Phosporbronze E	98,7%Cu	1,3%Sn	0,2%P	
C51000	PB 102	CuSn <sub>5</sub>		Phosporbronze A	95%Cu	5%Sn	0,2%P	
C52100	PB 104	CuSn <sub>8</sub>	CuSn <sub>8</sub>	Phosporbronze B	92%Cu	8%Sn	0,2%P	
C52400				Phosporbronze C	90%Cu	10%Sn	0,2%P	
<b>Koper-Aluminium-IJzer</b>								
C61300		CuAl <sub>7</sub> Fe <sub>3</sub> Sn		Aluminium bronze D	89%Cu	7%Al	3,5%Fe	0,35%Sn
C61400	CA 160	CuAl <sub>8</sub> Fe <sub>3</sub>	CuAl <sub>8</sub> Fe <sub>3</sub>	Aluminium bronze D	91%Cu	6-8%Al	1,5-3,5%Fe	
<b>Koper-Aluminium-Nikkel-IJzer</b>								
C63000	CA 104	CuAl <sub>9</sub> Fe <sub>4</sub> Ni <sub>4</sub>		Aluminium bronze E	82%Cu	10%Al	5%Ni	3%Fe
<b>Koper-Silicium</b>								
C65100		CuSi <sub>21</sub>		Low Si bronze B	98,5%Cu	1,5%Si		
C65500				High Si bronze A	97%Cu	3%Si		
<b>Koper-Nikkel</b>								
C70400	CN 101		CuNi <sub>5</sub> Fe		92%Cu	5-6%Ni	1-1,5%Fe	0,3-0,8%Mn
C70600	CN 102	CuNi <sub>10</sub> Fe, Mn	CuNi <sub>10</sub> Fe, Mn	Cupronickel 10	88,6%Cu	9-11%Ni	1,4%Fe	1,0%Mn
C71300	CN 105	CuNi <sub>25</sub>	CuNi <sub>25</sub>		bal. Cu	24-26%Ni	<0,3%Fe	<0,5%Mn
C71630	CN 107	CuNi <sub>30</sub> Mn <sub>1</sub> Fe	CuNi <sub>30</sub> Mn <sub>1</sub> Fe	Cupronickel 30	bal. Cu	29-32%Ni	0,4-1,0%Fe	
C71500		CuNi <sub>44</sub> Mn <sub>1</sub>	CuNi <sub>44</sub> Mn <sub>1</sub>		70%Cu	30%Ni	0,5-1,5%Mn	
					bal. Cu	43-45%Ni	<0,5%Fe	



de coderingen nogal uiteenlopen, zijn de verschillende coderingen die in de diverse normen worden gehanteerd eveneens opgenomen in deze tabel. De indeling die gemaakt is binnen deze tabel, is op basis van de chemische samenstelling van de verschillende koperlegeringen. De globale chemische samenstelling van de verschillende legeringen is eveneens opgenomen in deze tabel. Evenals bij aluminium komt er een Europese norm (EN) die een indeling geeft van de verschillende koperlegeringen op basis van hun lasbaarheid. Deze indeling is opgenomen in de internationale norm CR/ISO TR 15608 (in Nederland als NPR 15608 uitgegeven). Deze indeling is weergegeven in tabel 13.2.

Hoewel deze voorlichtingspublicatie specifiek gaat over het lassen van *ongelijksoortige* koperlegeringen lijkt het nuttig, vooral door de veelheid van koperlegeringen, iets te zeggen over de specifieke problemen die deze legeringen met zich meebrengen bij het lassen.

### 13.2 *Het lassen van koper en koperlegeringen*

De lasbaarheid van koper en koperlegeringen is, zoals bij alle andere metalen, afhankelijk van de chemische samenstelling van de te lassen metalen. De algemene regels die hierop van toepassing zijn, gelden ook voor het lassen van gelijksoortige koperlegeringen. Daarnaast spelen, vooral bij het lassen van koper en koperlegeringen, de fysische eigenschappen van de metalen een belangrijke rol bij het tot stand brengen van de lasverbinding. Tabel 13.3 geeft een overzicht van koperlegeringen en hun lasbaarheid in relatie tot een aantal verschillende lasprocessen.

#### 13.2.1 *Algemene aspecten bij het lassen van koper*

Met het toevoegen van legeringselementen wordt over het algemeen een verandering van de eigenschappen van het materiaal beoogd. Meestal heeft men, helaas, hierbij niet als eerste de lasbaarheid op het oog. De toevoeging van sommige legeringselementen aan koper kan een aanzienlijke verslechtering van de lasbaarheid geven. Berucht zijn in dit verband legeringselementen die de verspaanbaarheid verbeteren, waaronder: lood, bismuth en tellurium. Het gaat hierbij meestal om toevoegingen met een relatief laag smeltpunt. Kleine hoeveelheden (max 0,01%) zijn vaak al voldoende om de lasbaarheid aanzienlijk te verslechteren, doordat de

genoemde toevoegingen ervoor zorgen dat de kans op warmscheuren toeneemt.

Toevoegingen van lood zijn het meest gevaarlijk, waardoor als regel aan loodhoudende koperlegeringen niet wordt gelast. Of en in welke mate de lasbaarheid wordt beïnvloed door het toevoegen van andere legeringselementen aan koper, is sterk afhankelijk van de soort en de hoeveelheid van deze legeringselementen. Hierop wordt bij het bespreken van de diverse koperlegeringen nog teruggekomen.

Naast de chemische samenstelling spelen nog een aantal andere belangrijke factoren een rol bij het lassen van koper en koperlegeringen. Deze factoren zijn ook van belang bij het lassen van ongelijksoortige koperlegeringen, daar deze de basis vormen van het lassen van koper en zijn legeringen. Naast de chemische samenstelling spelen de fysische eigenschappen van koper en zijn legeringen een belangrijke rol bij het lassen, waarbij met name de grote warmtegeleidings- en uitzettingscoëfficiënt voor tal van problemen kunnen zorgen bij de uitvoering van het lassen. Een aantal van deze aspecten wordt hiernavolgend toegelicht.

De grote uitzettingscoëfficiënt van koper en koperlegeringen (gemiddeld 1,5x staal) zorgt ervoor dat tijdens het stollen van het materiaal de krimpvervormingen aanzienlijk zijn, een effect dat nog versterkt wordt door de grote stollingskrimp van koper (gemiddeld 2x staal). Er zijn natuurlijk mogelijkheden om dit tegen te gaan (inklemmen), dit houdt echter wel in dat het inwendige spanningsniveau van de verbinding aanzienlijk wordt verhoogd. In sommige gevallen kan het afkoelen van het materiaal na het lassen gecontroleerd worden uitgevoerd om vervormingen en restspanningen zo gelijkmatig mogelijk over het materiaal te verdelen.

Constructeurs moeten bij het toepassen van koper en koperlegeringen in hun constructies rekening houden met het ontwerpen van lasnaden hiervoor. De grote warmtegeleidbaarheid van het materiaal zorgt ervoor dat de warmte snel wordt afgevoerd tijdens het lassen, waardoor over het algemeen grote openingshoeken noodzakelijk zijn. Dit geldt voor koper en in mindere mate voor de verschillende koperlegeringen. Omdat er een groot verschil is in warmtegeleidbaarheid van de verschillende koperlegeringen (tussen koper en koper-siliciumlegeringen een factor 10) is het noodzakelijk, per type legering, de optimale lasnaad aan te brengen. Het streven moet er echter altijd op gericht zijn een zo klein mogelijk lasnaadvolume

tabel 13.2 Basismateriaal indeling van koper en koperlegeringen volgens CR/ISO TR 15608 t.b.v. de lastechniek

groep	subgroep	type koper en koperlegeringen
31		koper met hooguit 6% Ag en 3% Fe
32		CuZn legeringen
	32.1	CuZn binaire legeringen
	32.2	CuZn complexe legeringen
33		CuSn legeringen
34		CuNi legeringen
35		CuAl legeringen
36		CuNiZn legeringen
37		Cu legeringen met <i>minder</i> dan 5% legeringselementen die niet in groep 31 tot en met 36 vallen
38		Cu legeringen met <i>meer</i> dan 5% legeringselementen die niet in groep 31 tot en met 36 vallen

tabel 13.3 Lasbaarheid van een aantal koper en koperlegeringen met verschillende lasprocessen

legering	gangbare benaming	bijzonderheden/ globale chemische samenstelling	lasbaarheid			
			TIG	MIG/MAG	punt- lassen	rolnaad- lassen
C10200	zuurstofvrij koper	OFC <sup>1)</sup>	+	+	NA	NA
C11000	zuurstofvrij koper	ETP <sup>2)</sup>	+	+	NA	NA
C12000	zuurstofvrij koper	DLP <sup>3)</sup>	++	++	NA	NA
C12000	zuurstofvrij koper	DHP <sup>4)</sup>	++	++	NA	NA
C17500	koper-beryllium	Co Be 2.5 0.6	+/-	+/-	NA	NA
C17000	koper-beryllium	Be 1,7	+	+	+/-	+/-
C17200	koper-beryllium	Be 1,9	+	+	+/-	+/-
C21000	messing (Gilding)	Zn 5%	+	+	NA	NA
C22000	messing (Commercial bronze)	Zn 10%	+	+	NA	NA
C23000	messing (Red brass)	Zn 15%	+	+	+/-	NA
C24000	messing (Low brass)	Zn 20%	+	+	+/-	NA
C26000	messing (Cartridge brass)	Zn 30%	+/-	+/-	+	NA
C26800	messing (Yellow brass)	Zn 35%	+/-	+/-	+	NA
C28000	messing (Muntz Metal)	Zn 40%	+/-	NA	+/-	NA
C46400	messing-tin (Naval brass)	Zn Sn 39 1	+/-	+/-	+	+/-
C67500	messing-mangaan (Manganese bronze)	Zn Fe Sn Mn 39 1 1 0,1	+/-	+/-	+	+/-
C75200	nikkel-zilver (Nieuwzilver)	Ni Zn 18 17	+/-	+/-	+	+/-
C50500	(fosfor)brons	Sn P 1,3 0,2	+	+	+	+/-
C51000	(fosfor)brons	Sn P 5 0,2	+	+	+	+/-
C52100	(fosfor)brons	Sn P 8 0,2	+	+	+	+/-
C52400	(fosfor)brons	Sn P 10 0,2	+	+	+	+/-
	gunmetal	Sn 10 Zn 2	+	+	+	+/-
C61400	aluminiumbrons	Al Fe Mn 7 2,5 1	+(AC)	++	+	+
C63000	aluminiumbrons	Al Ni Fe 10 5 3	+(AC)	++	+	+
C65500	siliciumbrons	Si Mn 3 1	++	++	++	++
C70600	koper-nikkel (Cunifer)	Ni Fe Mn 10 1 1	++	++	+	+
C71500	koper-nikkel (Cunifer)	Ni Mn 30 1	++	++	++	++

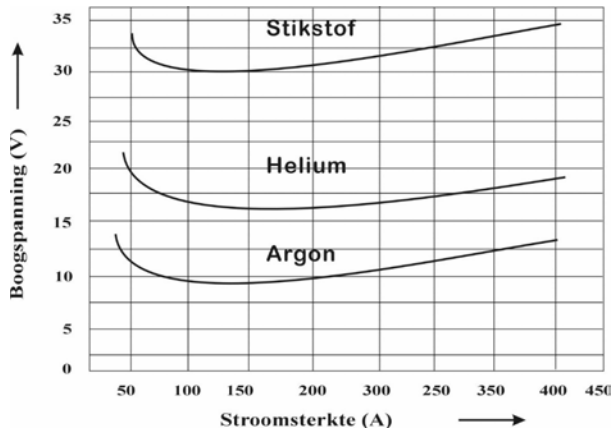
1) OFC = Oxygen Free Copper  
2) ETP = Electrolytic Tough Pitch  
3) DLP = Phosphorus deoxidized Low residual Phosphorus  
4) DHP = Phosphorus deoxidized High residual Phosphorus  
++ = uitstekend lasbaar  
+ = goed lasbaar  
+/- = redelijk lasbaar  
NA = Niet Aanbevolen

toe te passen. Dit wordt ingegeven door economische overwegingen maar met name, bij koper, om te voorkomen dat er grote vervormingen van de te lassen delen optreden na het lassen.

De grote warmtegeleidbaarheid is eveneens van invloed op tal van andere parameters die direct te maken hebben met het lassen. Zo zal het, bij grotere materiaaldikten, noodzakelijk zijn het materiaal voor te warmen of kan worden gekozen voor het toevoegen van helium aan het beschermgas. Soms wordt voor het TIG lassen van koper ook wel stikstof als beschermgas gebruikt. Zowel het gebruik van helium als stikstof berusten op het feit dat het lassen onder deze beschermgassen een hogere boogspanning en daar-

mede een groter boogvermogen geeft. Dit is goed te zien in figuur 13.1 waar de boogspanning van een TIG lasboog is uitgezet onder verschillende beschermgassen bij een gelijke booglengte.

Een misverstand is om te veronderstellen dat een hoge stroomsterkte al voldoende is om het materiaal voor te warmen en dat het voorwarmen hiermede kan worden voorkomen. Tot op zekere hoogte is dit waar, toch moet worden gewaarschuwd voor het gebruik van extreem hoge stroomsterkten, zoals bijvoorbeeld bij het lassen op backingmaterialen nogal eens wordt gedaan. Het gevaar bestaat hierbij dat, door turbulentie, de kwaliteit van de lasverbinding sterk wordt verminderd (verhoogde poreusheid).



figuur 13.1 Boogspanning van een TIG lasboog onder verschillende beschermgassen, bij gelijke booglengten

Omdat koper bij hoge temperaturen zeer sterk oxideert, is het noodzakelijk zowel de laszijde als de tegenlaszijde op een adequate manier te beschermen tegen zuurstof. Het gebruik van backinggas is bij koper en koperlegeringen dus altijd noodzakelijk om oxidatie van het lasbad aan de achterzijde te voorkomen. Argon is verreweg het meest gebruikte backinggas bij het lassen van koper en zijn legeringen. De bescherming is alleen effectief als de juiste hoeveelheden backinggas worden aangehouden. Hier geldt de regel dat overdaad schaad, omdat er bij teveel backinggas het risico aanwezig is dat er zuurstof wordt meegezogen naar de omgeving van de las, hetgeen onmiddellijk aanleiding geeft tot het oxideren van het materiaal. Backingmaterialen in de vorm van strippen, ringen en andere uitvoeringsvormen worden bij koper en koperlegeringen veelvuldig gebruikt. Met name als het om koperlegeringen gaat die een dunvloeibaar smeltbad geven (o.a. aluminium- en siliciumbronzen) is het gebruik van backingmaterialen aan te bevelen. Afhankelijk van de toepassing kan het backingmateriaal van een gelijke chemische samenstelling zijn als de te lassen legeringen, maar ook roestvaststalen en keramische backingmaterialen worden gebruikt.

### Mechanische eigenschappen van verbindingen in koper en koperlegeringen

Evenals bij aluminium is het op een aantal manieren mogelijk koper aanzienlijk in sterkte te verhogen, door:

- ▶ legeren;
- ▶ koud vervormen;
- ▶ veredelen (afschrikhardening en precipitatiehardening).

Afhankelijk van de manier waarop de sterkte van de legering is verkregen, heeft het lassen meer of minder invloed op de sterkte van het materiaal. Als er aan koper en koperlegeringen wordt gelast in de zachtgegloeide toestand, treedt er nauwelijks een verlies aan sterkte van de verbinding op en mag worden gerekend met de sterkte van het basismateriaal. Moet er aan koudvervormde koperlegeringen worden gelast, dan neemt de sterkte door het smeltlassen af tot nagenoeg de sterkte in zachtgegloeide toestand. Dit wordt veroorzaakt door het uitgloeien en rekristalliseren van het materiaal in de WBZ (warmtebeïnvloede zone), waarbij de grootte van deze zone afhankelijk is van de hoeveelheid ingebrachte warmte tijdens het lassen. Bij het lassen aan veredeldbare legeringen, waarvan de sterkte is verkregen door een warmtebehandeling, wordt de sterkte door het smeltlassen eveneens ongunstig

beïnvloed, omdat de toegevoegde warmte het resultaat van de veredeling plaatselijk teniet doet, dan wel een ongewenste harding veroorzaakt bij sommige koperlegeringen. Veredeldbare legeringen bevatten over het algemeen beryllium, chroom, borium, nikkel, silicium en zirkonium. Bij voorkeur moeten deze legeringen worden gelast en aansluitend worden veredeld (een en ander afhankelijk van de gewenste mechanische eigenschappen). Als algemene regel kan worden gesteld dat de sterkte van de verbinding in koper en zijn legeringen na het lassen overeenkomt met de sterkte van de metalen in zachtgegloeide toestand. Soms is de sterkte echter groter. In het bijzonder is dit het geval bij veredeldbare typen als de C61300, C61400 en C63000 (aluminiumbronzen).

### Warmscheuren

Koperlegeringen met een groot smelttraject (koper-tin, koper-nikkel) zijn over het algemeen gevoelig voor het ontstaan van warscheuren in de las. Het mechanisme hiervan is niet anders dan bij andere metalen die gevoelig zijn voor warscheuren. Het feit dat koper echter een veel grotere krimp heeft maakt het extra gevoelig voor warscheuren. De kans op warscheuren kan worden beperkt door ervoor te zorgen dat de spanningen tijdens het lassen zo klein mogelijk zijn (niet opgespannen lassen). Ten aanzien van het aanbrengen van hechtlassen wordt verwezen naar de paragraaf over het hechten. Tevens heeft de keuze van het juiste lastoevoegmateriaal een grote invloed op het beperken van de warscheurgevoeligheid van het materiaal. Bij koper-nikkellegeringen kan met name een onvoldoende reiniging van de materialen, het lastoevoegmateriaal en eventueel het backingmateriaal ervoor zorgen dat er warscheuren ontstaan tijdens het lassen. In dit verband is het ook aan te bevelen eenmaal gereinigde materialen niet meer met blote handen aan te pakken op de plaatsen waar moet worden gelast. Denk ook aan het gebruik van verontreinigde handschoenen bij het TIG lassen, dit kan aanleiding zijn tot vervuiling van het lastoevoegmateriaal.

### Poreusheid

Sommige elementen zoals zink, tin, cadmium en fosfor hebben een laag kookpunt. Het verdampen van deze legeringselementen tijdens het lassen kan resulteren in poreusheid in de lassen. Bij koperlegeringen, die deze legeringselementen bevatten, kan de kans op poreusheid worden verminderd door met een zo gering mogelijke warmte-inbreng te lassen en het gebruik van een lastoevoegmateriaal met een beperkt gehalte aan deze legeringselementen.

### Oppervlaktegesteldheid

Olie, vet en oxiden op het oppervlak van het materiaal moeten *altijd* voor het lassen worden verwijderd. Het ontvetten van het koper kan op vele manieren plaatsvinden en met diverse middelen, zoals alcohol, aceton en eventueel alkalische middelen. Borstelen of schuurponsjes zijn uitstekende methoden om de oxiden te verwijderen. Deze moeten dan wel van roestvast staal of koper zijn om contaminatie te voorkomen. Met name de koper-nikkellegeringen moeten voor het lassen zeer goed worden gereinigd en geborsteld. Ook aantekeningen op of in de lasnaad met viltstiften of andere materialen moeten voor het lassen worden verwijderd, daar dit een oorzaak kan zijn van slechte lasverbindingen of later optredende corrosie. Wil men koper en koperlegeringen met een acceptabele kwaliteit kunnen lassen,

dan is het niet alleen noodzakelijk hoge eisen aan de oppervlaktegesteldheid van de te lassen materialen te stellen, maar ook aan het lastoevoegmateriaal. Het lastoevoegmateriaal moet altijd geconditioneerd worden opgeslagen (minimaal 10°C en een relatieve vochtigheid van < 50%). Bij het MIG lassen moet de lasdraad goed gespoeld zijn en mogen er geen knikken in de draad voorkomen om draadstoringen tot een minimum te beperken. Het verdient aanbeveling zo snel mogelijk na het reinigen van de materialen met het lassen te beginnen. Het reinigen moet niet alleen beperkt blijven tot de lasnaad. Ook de directe omgeving van de lasnaad aan zowel de bovenkant als de achterzijde moet, over een afstand van minimaal 2 centimeter, worden schoongemaakt. Als er wordt gebruikgemaakt van een backingstrip, dan moet deze voldoende gereinigd zijn.

### Lastoevoegmaterialen

Koper wordt over het algemeen gelast met lastoevoegmateriaal waaraan desoxidanten (meestal fosfor ca. 0,15% en silicium ca. 0,5%) zijn toegevoegd om de aanwezige restzuurstof te kunnen binden.

Omdat er zeer veel koperlegeringen zijn, is ook het assortiment lastoevoegmaterialen uitgebreid. De keuze van het juiste lastoevoegmateriaal is, zoals bijna altijd, afhankelijk van veel factoren. Hierbij spelen vooral de vereiste mechanische eigenschappen en corrosievastheid van de verbinding een belangrijke rol. De keuze van het lastoevoegmateriaal is echter ook van grote invloed op het voorkomen van warscheuren en het beperken van poreusheid in het lasmetaal. Met de juiste keuze van het lastoevoegmateriaal is het mogelijk bij het lassen aan bijvoorbeeld messing de hoeveelheid zinkdampen te beperken, hetgeen gebeurt door het toepassen van een lastoevoegmateriaal met een afwijkende chemische samenstelling. Ook het ontzinken van het messing kan door de juiste keuze van het lastoevoegmateriaal worden beperkt (Si-houdend). Bij het lassen van koper en zijn legeringen aan andere metalen is een juiste keuze van het lastoevoegmateriaal eveneens van zeer groot belang en kan het verschil betekenen tussen een goede en slechte lasverbinding, zie § 13.4.4. Hoog nikkelhoudende lastoevoegmaterialen geven, vooral bij het MIG lassen, bolle lassen door het stroperige karakter van het lasmetaal, dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld

lastoevoegmaterialen van aluminiumbrons of siliciumbrons. Enige veel gebruikte lastoevoegmaterialen voor het lassen koper en zijn koperlegeringen staan vermeld in tabel 13.4.

### Hechten

De grote lineaire uitzettingscoëfficiënt van koper en koperlegeringen zorgt ervoor dat de krimpvervormingen na het lassen aanzienlijk zijn. Hiermee hebben we ook te maken bij het hechten. Het zijn dan ook de grote krimpvervormingen tijdens het lassen van koper en koperlegeringen die ervoor zorgen dat er in de meeste gevallen moet worden gehecht.

Tussen de maatregelen die moeten worden genomen bij het lassen van koper en koperlegeringen en het hechten is in principe geen verschil, omdat de hechten deel uitmaken van de uiteindelijke verbinding, dus: goed reinigen voorafgaande aan het lassen en eventueel voorwarmen van de materialen. Het verdient aanbeveling de kop en krater van de hechtlassen uit te slijpen, zodat een vloeiende overgang van de las naar de hechten wordt verkregen.

De lengte van de hechtlassen moet niet te klein worden genomen, daar er anders kans op scheuren van de hechten aanwezig is. Als vuistregel kan een hechtlengte van minimaal de plaatdikte worden aangehouden. In de praktijk zal echter een hechtlengte van twee maal de plaatdikte realistischer zijn. De steek tussen de hechten bedraagt in de meeste gevallen maximaal 8 maal de plaatdikte. Na het hechten moeten de hechtlassen en hun directe omgeving opnieuw worden geborsteld.

Kader 13.1 geeft een overzicht van de belangrijkste algemene aanbevelingen voor het lassen van koper en koperlegeringen. Deze algemene aanbevelingen zijn natuurlijk ook geldig voor het lassen van ongelijksoortige koperverbindingen.

### 13.2.2 *Het lassen van koper en koperlegeringen*

Bij het lassen van koper en koperlegering spelen, per type, verschillende aspecten een belangrijke rol als het gaat om het lassen en de uiteindelijke kwaliteit van de verbinding. Hiernavolgend worden in het kort de belangrijkste aspecten besproken die samenhangen met het gasbooglassen van koper en koperlegeringen. Deze aspecten zijn ook van belang bij het lassen van

tabel 13.4 Enige veel gebruikte lastoevoegmaterialen voor het lassen van koper en koperlegeringen, hun aanduiding, toepassingsgebied en *globale* chemische samenstelling

lastoevoegmateriaal	AWS aanduiding AWS A5.27 A5-6 en A5-7	<i>globale</i> chemische samenstelling	toepassing o.a.
koper	ERCu	Cu98 AgSiP	C10200 C11000
fosforbrons	ERCuSn-A	Cu94 SnP 6	C51000 C52100 C52400
aluminiumbrons	ERCuAl-A2 ERCuAl-A3 ERCuAl-B	Cu88 AlFe11 2 - -	C61300 C61400
aluminiumbrons	ERCuNiAl	-	C63000
siliciumbrons	ERCuSi-A	Cu94 SiZnSnMn 4 2 2 2	C65500
koper/nikkel	ERCuNi	Cu55 NiFe 32 1	C70600 C71500
messing	ERCuAl-A	Cu88 AlFe8 1	C46400
messing	ERCuAl-A2	Cu88 AlFe11 2	C67500

- Lood, bismuth en tellurium toevoegingen aan koper verslechteren de lasbaarheid zeer sterk.
- Ten gevolge van de grote uitzettingscoëfficiënt (1,5x staal) en de grote krimp (2x staal) moet rekening worden gehouden met grote vervormingen of een hoog inwendig spanningsniveau.
- Lasnaadvormen moeten worden aangepast op het type koperlegering en wel hoe groter de warmtegeleidbaarheid van de materialen des te groter de openingshoek.
- Basismaterialen altijd ontvetten en borstelen, vlak voor het lassen.
- Altijd backinggas gebruiken bij het maken van de doorlassing bij het gasbooglassen. Ook backinggas blijven gebruiken bij het maken van de eerste vullagen.
- De mechanische eigenschappen van de verbinding zijn niet veel hoger dan die van de zachtgegloeide toestand.
- Voorkómen van warmscheuren: Niet opgespannen lassen, zo laag mogelijke warmte inbreng (pas wel op voor bindingsfouten!), juiste lastoevoegmateriaal, goed reinigen van de materialen.
- Opslag lastoevoegmateriaal: geconditioneerd (10°C, relatieve vochtigheid <50%).
- De keuze van het lastoevoegmateriaal is zeer belangrijk uit het oogpunt van: Lasbaarheid, sterkte, corrosievastheid, verkleuring.
- Voorkom bindingsfouten door het gebruik van de juiste lasparameters in combinatie met een goede lasnaadvorm.

kader 13.1 Algemene aanbevelingen voor het lassen van koper en koperlegeringen

ongelijksoortige koperlegeringen waarbij problemen soms versterkt en soms verzwakt worden.

## Koper

Bij de gasbooglasprocessen is de gasbescherming van essentieel belang om een kwalitatief goede verbinding tot stand te kunnen brengen. Als de gasbescherming onvoldoende is, zijn het vooral de zuurstof en waterstof die problemen geven bij het lassen van koper en koperlegeringen. In vloeibare toestand kan koper, evenals aluminium, grote hoeveelheden van deze gasen in oplossing houden. Door de teruglopende oplosbaarheid van deze gasen vanuit de vloeibare fase, kunnen eenmaal opgeloste gasen vaak onvoldoende uit het smeltbad verdwijnen, hetgeen aanleiding geeft tot ernstige poreusheid in de las. Het is dus zaak ervoor te zorgen dat deze gasen niet in het vloeibare smeltbad terecht kunnen komen. Andere gasen zoals argon, helium, stikstof, koolmonoxide en kooldioxide kennen dit bezwaar niet, omdat ze niet in vloeibaar koper oplossen. De aanwezigheid van zeer geringe hoeveelheden zuurstof (0,04%) in koper zorgt ervoor dat er koperoxide, ook wel koperoxidisch genoemd, wordt gevormd, dat met koper een laagsmeltend eutecticum vormt. Dit laagsmeltende eutecticum zet zich als een broos bestanddeel af op de korrelgrenzen. Reeds bij 0,4% zuurstof wordt een 100% koper-koperoxide eutecticum verkregen. Is koperoxidisch reeds aanwezig in het uitgangsmateriaal of wordt dit tijdens het lassen gevormd, dan zal de ingebrachte laswarmte ervoor zorgen dat het gevormde eutecticum in het lasmetaal en de warmtebeïnvloede (WBZ) tot smelten wordt gebracht, waardoor er warmscheuren in het koper kunnen ontstaan. Dit, en het feit dat zuurstofhoudend koper alleen in oxiderende milieus mogen worden toegepast, is de reden dat er aan zuurstofhoudend koper bijna niet wordt gelast.

Waterstof in koper is de veroorzaker van de zogenaamde 'waterstofziekte'. Door de geringe afmetingen van de waterstofatomen kunnen deze makkelijk in het vaste koper bewegen. Ook kan waterstof, bij verhoogde temperaturen, eenvoudig in het koper binnendringen, iets dat bij het voorwarmen van koper wel eens over het hoofd wordt gezien. Waterstof reageert met koperoxide onder de vorming van waterdamp. De ingevangen waterdamp bevindt zich onder hoge druk in het koper, waardoor plaatselijk de spanningen zo hoog kunnen oplopen, dat er scheuren in het koper ontstaan. Dit verschijnsel wordt de waterstofziekte van koper genoemd. Dit is de reden dat koper en koperlegeringen niet met waterstofhoudende beschermgasmengsels mogen worden gelast. Ditzelfde geldt natuurlijk ook voor het gebruik van backinggas. Het voor roestvast staal veel gebruikte formeergas ( $N_2 + H_2$ ) is als backinggas voor koper en koperlegeringen taboe. Uit het voorgaande mag duidelijk zijn dat een optimale gasbescherming bij het gasbooglassen van koper van essentieel belang is om een goede lasverbinding tot stand te kunnen brengen. Dit geldt zowel voor het beschermgas als voor het gebruik en aanbrengen van het backinggas. Boven 3 mm wordt meestal een hoog gedesoxideerd koper (ECRu, met max. 0,15% P en max. 0,5% Si) als toevoegmateriaal gebruikt. Ook andere hoog gedesoxideerde lastoevoegmaterialen kunnen worden gebruikt, maar geven een lagere elektrische geleiding, een groter kleurverschil, maar wel een sterkere lasverbinding. Zuurstofvrij koper en gedesoxideerd koper zijn goed TIG en MIG te lassen. Bij voorkeur worden argon-helium mengsels als beschermgas gebruikt, omdat daarmee een schoon en dunvloeibaar lasbad wordt verkregen met weinig kans op insluitingen en/of poreusheid. Bij materiaaldikten groter dan 4 mm wordt over het algemeen voorgewarmd en wel het liefst aan de tegenlaszijde. De voorwarmtemperatuur is afhankelijk van de materiaaldikte en loopt van ca. 100°C tot ca. 500°C. Bij het lassen aan grotere materiaaldikten moet veelal tijdens het lassen nog worden bijgewarmd.

## Koper-zinklegeringen (messing)

Het toevoegen van zink aan koper vermindert de lasbaarheid. Naarmate het zinkgehalte toeneemt, neemt de lasbaarheid af. Als vuistregel kan worden gehanteerd dat de lasbaarheid (MIG/TIG) tot ca. 3% zink toevoegingen goed is en tot 20% redelijk, terwijl bij hogere zinkpercentages rekening moet worden gehouden met een zeer sterke toename van de poreusheid ten gevolge van het vormen van zinkdampen tijdens het lassen. In vergelijking met het lassen van koper is de benodigde warmtetoevoer bij deze legeringen veel lager en zijn de problemen met zuurstof en waterstof bij het lassen minder. De oplosbaarheid van waterstof is relatief laag en zink werkt desoxiderend. De aanwezigheid van aluminium verlaagt de lasbaarheid door de vorming van hoogsmeltende sterk hechtende aluminiumoxiden en een dikker vloeibaar smeltbad. Hoewel toevoeging van helium aan het beschermgas uit het oogpunt van warmtetoevoer meestal niet direct noodzakelijk is, worden bij het MIG lassen soms argon-helium beschermgasmengsels gebruikt om de hoeveelheid zinkdamp in de lasrook te beperken. Als toevoegmateriaal worden alleen zinkvrije legeringen gebruikt. Bij het TIG en MIG lassen worden meestal fosforbrons (ERCuSn-A) of koper/nikkel (ERCuNi), met 10 tot 30% nikkel, gebruikt bij lagere zinkgehalten en siliciumbrons (ERCuSi-A) bij de hogere zinkgehalten, waarbij silicium helpt om de vorming van zinkdamp

te beperken. Als fosfor aan messing wordt toegevoegd, kan het ontzinken tijdens het lassen van het materiaal worden beperkt. Indien een lastoevoegmateriaal wordt gebruikt met een afwijkende chemische samenstelling ten opzichte van het basismateriaal, wordt altijd een las verkregen die afwijkend van kleur is ten opzichte van het omliggende materiaal. De bij het lassen van koper-zinklegeringen vrijkomende giftige zinkdampen moeten zorgvuldig worden afgezogen. Er wordt bij het MIG lassen meestal niet voorgewarmd, terwijl bij het TIG lassen vanaf 6 mm materiaaldikte pas voorgewarmd hoeft te worden op 200 tot ca. 300°C.

#### **Koper-tin-fosforlegeringen (brons)**

Tin zorgt voor een proportionele toename van de warmtscheur gevoeligheid bij het lassen. Dit geldt niet alleen voor legeringen waarin alleen tin als legeringselement aanwezig is (brons), maar ook voor andere koperlegeringen (messing) waaraan tin als legeringselement is toegevoegd. Kleine hoeveelheden fosfor (max. 0,05 %) worden vaak aan koper toegevoegd om de aanwezige zuurstof te binden (desoxideren) en er op die manier voor te zorgen dat er geen koperoxide kan worden gevormd. In deze zin is dit element dus gunstig voor de lasbaarheid van koperlegeringen. In de hoeveelheden waarin fosfor normaal in koper zit, heeft het nauwelijks invloed op de lasbaarheid. Fosfor mag niet in grote hoeveelheden worden toegevoegd, omdat het beperkt oplosbaar is in koper en de warmvastheid van het koper negatief beïnvloed. Koper-tin-fosforlegeringen hebben een groot stoltraject, waardoor ze gevoelig zijn voor warmtscheuren, vooral indien ingeklemde of starre delen worden gelast. Als lastoevoegmateriaal wordt fosforbrons gebruikt, zowel voor het TIG en MIG lassen. Als beschermgas voor het TIG en MIG lassen wordt als regel argon gebruikt. Voor fosforbrons is een hogere lasstroom en/of een lagere lassnelheid vereist dan voor de overige typen. Dit in verband met de drie tot vier maal hogere warmtegeleidbaarheid van deze legering. Bij het lassen van zware delen moet men een maximale voorwarm- en interpasstemperatuur van 200°C aanhouden. Om een maximale taaiheid van de las te verkrijgen, is het noodzakelijk na het lassen te gloeien op 480-500°C gevolgd door snel afkoelen.

Vergeleken met zink verdampt tin minder snel en geeft om deze reden minder porositeit bij het lassen. Dat wil echter niet zeggen dat koper-tinlegeringen ongevoelig zijn voor porositeit. Koper-tinlegeringen nemen in gesmolten toestand makkelijk waterstof op, waardoor porositeit kan ontstaan. Een goede gasbescherming (boven- en onderzijde) is derhalve een absolute noodzaak. Teneinde de warmtscheur gevoeligheid te verkleinen, is het raadzaam met een zo laag mogelijke warmte-inbreng te lassen, dus liefst een zo klein mogelijk smeltbad en een zo hoog mogelijke lassnelheid. Dit is helaas in tegenspraak met datgene wat wenselijk is om de hoeveelheid porositeit in de las zoveel mogelijk te beperken, terwijl ook het gevaar voor bindingsfouten bij een lage warmte-inbreng toeneemt. Als toevoegmateriaal wordt voor het lassen van koper-tinlegeringen meestal een fosforbrons (ERCuSn-A) gebruikt met circa 6 tot 7% Sn. Onder bepaalde condities (milieu, temperatuur, spanningsniveau) kan bij gelaste koper-tinlegeringen spanningscorrosie optreden, het is in dit geval aan te bevelen de legering, na het lassen, spanningsarm te gloeien (30 - 60 minuten -afhankelijk van de materiaaldikte- op ca. 250°C).

#### **Koper-aluminium-ijzer en koper-aluminium-nikkel-ijzerlegeringen (aluminiumbronzen)**

Afhankelijk van het aluminiumgehalte onderscheidt men bij koper-aluminiumlegeringen één-fase legeringen (Al < 8%) en twee-fase legeringen. De één-fase legeringen zijn over het algemeen moeilijker te lassen (gevaar voor warmtscheuren in het traject tussen de 500 en 700°C). Als aan dit type legeringen moet worden gelast, kan het beste een lastoevoegmateriaal worden gekozen met een twee-fasige samenstelling (> 8% Al). In koperlegeringen met meer dan ca. 8% aluminium kunnen met het TIG en MIG lassen goede lasverbindingen worden gemaakt. In tegenstelling tot de meeste koperlegeringen is de warmtegeleidbaarheid van aluminiumbrons vrijwel gelijk aan die van staal, zodat de benodigde warmte-toevoer voor het lassen geen problemen geeft. Ook hoeft er om deze reden niet te worden voorgewarmd (pas boven de 20 mm materiaaldikte). Het verdient aanbeveling dit type legeringen niet te lassen met stikstofhoudend beschermgas, omdat hierbij de vorming van aluminiumnitriden in het materiaal wordt bevorderd. Ditzelfde geldt als er moet worden gelast aan koperlegeringen waarin zich borium bevindt. Bij het lassen aan koper-aluminiumlegeringen moet men er rekening mee houden dat het gevormde aluminiumoxide een hoog smeltpunt heeft en zeer taai is. Dit wordt versterkt naarmate het aluminiumgehalte hoger is. Dit is de reden dat bij het TIG lassen van dit soort legeringen wisselstroom wordt gebruikt.

#### **Koper-siliciumlegeringen (siliciumbrons)**

Silicium heeft een gunstig effect op de lasbaarheid van koper vanwege zijn desoxiderend vermogen en het verbeteren van de bevochtiging tijdens het lassen. Silicium zorgt voor een afnemende warmtegeleidbaarheid van het koper, waardoor de lasbaarheid over het algemeen wordt bevorderd en voorwarmen niet nodig is. Van al de koperlegeringen worden de koper-siliciumlegeringen als het best lasbaar beschouwd. Toch kunnen in het temperatuurtraject tussen de 800 tot 950°C warmtscheuren optreden. Het is dus zaak dit gebied zo snel mogelijk te doorlopen. Hoewel het lasbad zelf dunvloeibaar is, moet toch rekening worden gehouden met het taai, dikvloeibare siliciumoxide dat op het lasbad aanwezig kan zijn. Over het algemeen gebruikt men lastoevoegmateriaal met hoog siliciumgehalte, maar men kan ook lastoevoegmateriaal met dezelfde samenstelling als het basismateriaal gebruiken. Met TIG-lassen worden de beste resultaten bereikt en heeft men de minste problemen met de vorming van siliciumoxide. Het MIG lassen geeft echter ook goede resultaten mits tussen de opeenvolgende lagen het lasoppervlak goed wordt gereinigd met bijvoorbeeld een roterende roestvaststalen borstel. Bij hogere lassnelheden kunnen, vooral bij MIG lassen, warmtscheuren optreden. Door verlagen van de lassnelheid en/of het pendelend lassen is dit meestal te voorkomen. Het pendelend lassen zorgt ervoor dat een dendritische lasstructuur wordt voorkomen en een meer cellulaire structuur wordt gevormd die minder gevoelig is voor warmtscheuren. Evenals de koper-zinklegeringen zijn ook gelaste koper-siliciumlegeringen onder bepaalde condities gevoelig voor spanningscorrosie; het is in dit geval aan te bevelen deze legeringen, na het lassen, spanningsarm te gloeien (30 minuten op ca. 200°C).

#### **Koper-nikkellegeringen (o.a. cunifer)**

Vrijwel alle booglastechnieken worden toegepast voor het lassen van koper-nikkellegeringen. De warmtegeleidbaarheid komt vrijwel overeen met die

van staal en veroorzaakt dus geen problemen. Er hoeft om deze reden dan ook niet te worden voorverwarmd. Uit oogpunt van lasbaarheid is de extreme gevoeligheid voor warmscheuren, door sporen van verontreinigingen in of op het materiaal, de belangrijkste factor. Men moet de laskanten en de omgeving zeer goed schoonhouden en een eenmaal gescheurde las zodanig ruim verwijderen, dat ook opgenomen verontreinigingen in het lasbad niet opnieuw aanleiding zijn tot warmscheuren. Daarbij komt ook nog dat bij het opnieuw verhitten van lasverbindingen de opgenomen zuurstof zich als nikkeloxide films gaat afzetten op de kristalgrenzen en daardoor scheurvorming kan geven. Het aftekenen met bijvoorbeeld vetkrijt, waarin zwavel aanwezig is, of met andere materialen waarin verontreinigingen zitten, moet worden vermeden. Het lassen van nikkel en nikkellegeringen moet derhalve in één keer goed zijn! Als lastoevoegmateriaal wordt vrijwel uitsluitend een 30% Ni met 0,2-0,5% Ti (ERCuNi) gebruikt, waarbij het titaan vooral bedoeld is voor het desoxideren van het lasmetaal om bovengenoemde scheurvorming door oxidefilms te verminderen. Zowel het TIG als MIG lassen worden toegepast in de meeste lasposities. Het automatisch TIG en MIG pijp/plaat-lassen wordt ook veel toegepast. Indien de normale koper-nikkel kwaliteiten zonder toevoegmateriaal worden gelast, krijgt men zeer snel poreusheid en problemen met verbrossing door oxidefilms op de kristalgrenzen. Daarom zijn voor het TIG lassen zonder toevoegmateriaal speciale met ca. 0,5% Ti gelegeerde kwaliteiten dunne plaat en pijp beschikbaar. Indien mogelijk, is het aan te bevelen de te lassen delen zoveel mogelijk vrij te laten krimpen en dus niet opgespannen te lassen. Soms wordt bij het MIG lassen de startplaats voorgewarmd op ca. 80°C om aanhechtingsfouten te voorkomen.

### Beryllium-koperlegeringen

Beryllium-koper vereist speciale zorg bij het TIG en MIG lassen. Het oppervlak van en in de omgeving van de lasnaad moet zorgvuldig worden schoongemaakt daar berylliumoxide het aanvloeien van het lasbad verhindert en er daardoor plakfouten kunnen ontstaan. Tevens moet vorming van berylliumoxide tijdens het lassen worden tegengegaan door een goede gasbescherming en zo laag mogelijk voorverwarmen. Dit is vooral noodzakelijk bij het type C17500 met een hoge elektrische geleidbaarheid. Als beschermgas wordt, bij voorkeur, een argon-helium menggas gebruikt. Het lastoevoegmateriaal heeft meestal dezelfde samenstelling als het basismateriaal. Om in de lassen dezelfde sterkte als het basismateriaal te verkrijgen, moet na het lassen een warmtebehandeling worden toegepast (oplossend gloeien en veredelen). Daar bij het lassen van beryllium-koper zeer giftige berylliumverbindingen vrijkomen, moet de lasrook zorgvuldig worden afgezogen en gefilterd. Voor het lassen aan berylliumhoudende koperlegeringen is het een absolute noodzaak de lasser te voorzien van een lashelm met een gesloten circulatiesysteem en is het aan te raden de lasser onder medische controle te stellen. Ditzelfde geldt overigens ook als er aan cadmiumhoudende koperlegeringen moet worden gelast.

In kader 13.2 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste aanbevelingen voor het lassen van de verschillende koperlegeringen.

#### *Koper*

- Bij het lassen van zuurstofhoudend koper is de kans op warmscheuren groot.
- Geen waterstofhoudend beschermgas- of backinggasmengsels gebruiken.
- Lassen met een gedeseoxideerd (fosfor, silicium) lastoevoegmateriaal.
- Voorverwarmen, afhankelijk van de materiaaldikte, op ca. 100 - 500°C.

#### *Messing (CuZn)*

- Poreusheid in de las moeilijk te vermijden, tot 20% zink redelijk lasbaar.
- Lasboog op het smeltbad richten om zink uitdampen te beperken, denk wel om de inbranding.
- Nooit zinkhoudende lastoevoegmaterialen gebruiken (poreusheid), wel siliciumbrons, fosforbrons of cunifer.
- Meestal niet voorverwarmen.
- Goed afzuigen.

#### *Bronz (CuSn)*

- Naarmate het tingehalte hoger wordt, is er meer kans op warmscheuren.
- Fosfor gedeseoxideerd lastoevoegmateriaal gebruiken.
- Met een zo laag mogelijke warmte-inbreng lassen.
- Meestal niet voorverwarmen.
- Voor een maximale ductiliteit gloeien op ca. 490°C.

#### *Cunifer (CuNiFe)*

- Altijd gevaar voor warmscheuren.
- Materialen zeer goed schoonmaken.
- Pas of met het maken van aantekeningen in of in de buurt van de lasnaadkanten.
- Lastoevoegmateriaal met 30% nikkel en 0,2 tot 0,5% Ti gebruiken.

kader 13.2 Belangrijkste aanbevelingen voor het lassen van de verschillende koperlegeringen

### **Het lassen van koper-gietlegeringen**

Als vuistregel kan het best gehanteerd worden: niet lassen aan koper-gietlegeringen. Als er aan koper-gietlegeringen wordt gelast, is dit meestal voor het uitvoeren van reparaties. Gietlegeringen zijn nagenoeg nooit vrij van defecten, waarvan de belangrijkste zijn: gasinsluitels, niet metallische insluitingen en krimp-holten. De keuze van het lasproces wordt bepaald door de afmetingen van het gietstuk in combinatie met de warmtegeleidbaarheid (chemische samenstelling) van het gegoten metaal. Het is belangrijk de hoeveelheid neersmelt zo gering mogelijk te houden, de inbranding niet dieper dan noodzakelijk te maken en de lasdoorsnede zo klein mogelijk te houden, teneinde de krimpspanningen en vervorming zo veel mogelijk te beperken. Hierin schuilt echter vooral bij het lassen aan koperlegeringen een gevaar, omdat er wel voor moet worden gezorgd dat er geen bindingsfouten ontstaan ten gevolge van te weinig ingebrachte warmte.

Over het algemeen is het zo dat het lassen van koper-gietlegeringen of het lassen van giet- aan kneedlegeringen geen specifieke eisen stelt aan de uitvoering van het laswerk. De genoemde voorzorgsmaatregelen en procedures die gelden voor het lassen van koper-kneedlegeringen zijn ook van toepassing op het lassen van gietlegeringen.

De chemische samenstelling van de koper-gietlegeringen en de kwaliteit van het gietwerk bepaalt het succes waarmee dit soort legeringen kunnen worden gelast. Koper-gietlegeringen waarin zich lood, bismuth of tellurium bevinden, kunnen als slecht of niet lasbaar worden beschouwd. Belangrijk is dat minder goed basismateriaal (poreusheid, verontreinigingen)

wordt verwijderd, voordat er aan de gietlegering kan worden gelast. Als er materiaal van de gietlegering moet worden verwijderd, dient dit altijd zo weinig mogelijk te zijn, zodat de hoeveelheid lastoevoegmateriaal die nodig is om de lasnaad op te vullen zo klein mogelijk is. De voorkeur wordt gegeven om onder de hand te lassen, om het de lasser zo gemakkelijk mogelijk te maken (dit is altijd het geval maar verdient hier speciale voorkeur). Lastoevoegmateriaal voor het TIG lassen moet licht worden geschuurd voor het lassen. Het is af te raden om te zwaaien tijdens het lassen, omdat dit de hoeveelheid ingebrachte warmte vergroot, hetgeen ongewenst is. Bij grotere reparaties aan koperen gietlegeringen is het raadzaam eerst de randen van het gat op te lassen om vervolgens naar het midden toe het gat dicht te lassen. De lasnaad moet altijd volledig worden opgevuld met lasmetaal, een onvoldoende opgevulde lasnaad (undercutting) is nooit toelaatbaar. Voorwarmen is bijna altijd wenselijk en noodzakelijk bij grotere materiaaldikten of complexe gietstukken. De voorwarmtemperatuur ligt gewoonlijk tussen de 150 en 200°C. De keuze van het lastoevoegmateriaal is een belangrijke voorwaarde voor een succesvolle lasverbinding van koper-gietlegeringen. De volgende regels kunnen hierbij worden gehanteerd:

- ▶ Het lastoevoegmateriaal moet een gelijke chemische samenstelling hebben als de te lassen gietlegeringen of bij ongelijksoortige verbindingen worden afgestemd op de hoogst gelegeerde gietlegering.
- ▶ Als het lastoevoegmateriaal belangrijk afwijkt van de gietlegeringen, moet het kathodisch zijn ten opzichte van beide gietlegeringen.
- ▶ De mechanische eigenschappen van het lastoevoegmateriaal moeten minimaal gelijkwaardig zijn aan het zwakste van de te verbinden gietlegeringen.
- ▶ Het lastoevoegmateriaal moet voldoende desoxiderende elementen bevatten, teneinde poreusheid zoveel mogelijk te vermijden.
- ▶ Bij sommige toepassingen kan het noodzakelijk zijn een lastoevoegmateriaal te kiezen dat een zo gering mogelijke verkleuring geeft ten opzichte van de te verbinden gietlegeringen.

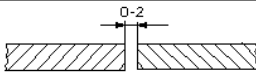
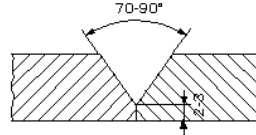
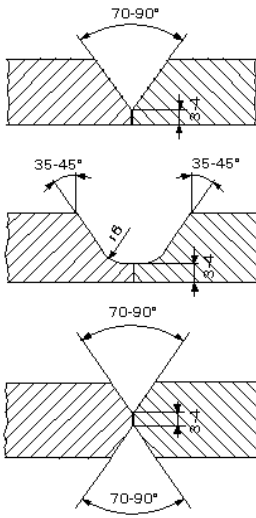
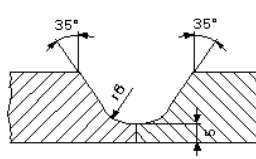
Het lassen aan koper-gietlegeringen kan met de normale smeltlasmethoden beter worden vermeden. Als dit toch moet, kan dit alleen maar onder zeer gecontroleerde omstandigheden, rekening houdend met de hierboven genoemde aspecten.

### 13.2.3 Lasprocessen voor het lassen van koper en koperlegeringen

#### Het TIG lassen van koper en koperlegeringen

Het TIG lassen (zie bijlage B) is uitermate geschikt voor het lassen van koper en koperlegeringen. De geconcentreerde, hete, elektrische vlamboog zorgt ervoor dat voldoende energie voorhanden is om het koper tot smelten te brengen, zodat de kans op bindingsfouten tot een minimum wordt beperkt. Het TIG lassen van koper wordt over het algemeen ingezet voor het lassen van materiaaldikten tot maximaal 10 mm. Bij materiaaldikten groter dan ca. 4 mm moet er worden voorgewarmd of kunnen helium toevoegingen aan het beschermgas worden gebruikt. Boven materiaaldikten van 10 mm wordt het MIG lassen aanbevolen. Een voordeel van het TIG lassen is dat er, bij het lassen van metalen met een geringe dikte, zonder lastoevoegmateriaal kan worden gelast,

hetgeen vooral bij het gemechaniseerd lassen de procesuitvoering veel eenvoudiger maakt. Naast het lassen met een continue stroomsterkte (gelijkstroom met min aan elektrode), is het ook mogelijk gebruik te maken van het lassen met pulserende gelijkstroom. Dit wordt vooral gedaan als de hoeveelheid ingebrachte warmte, uit bijvoorbeeld materiaalkundig oogpunt, zo klein mogelijk moet zijn. Wisselstroom (TIG) wordt wel gebruikt voor het lassen van berylliumkoper en aluminiumbrons om de vorming van taaië oxidehuiden tegen te gaan. Een belangrijk voordeel van het TIG lassen is de uitstekende mechaniseerbaarheid van het proces, waardoor pijplapparaten nogal eens worden ingezet voor het lassen van pijp/pijp- of pijp/plaat-verbindingen. Enige veel gebruikte lasnaadvormen voor het TIG lassen worden weergegeven in figuur 13.2.

dikte	naadvorm	opmerkingen
< 2		in 1 of 2 lagen lassen. Bij T-naad: vooropening en onderlegstrip
5-12		in 1 of 2 lagen lassen en tegenlassen
12-18		in zo weinig mogelijk lagen lassen en tegenlassen
> 18		

maten in millimeters  
De lasvlakken en 30 cm ter weerszijden moeten schoon en ontvet zijn.  
Opmerkingen:  
1. Onderlegstrip van koper of koolstof, de laatste met een groef.  
Koolstofstrip toepassen als een aangelasde strip niet is toegestaan.  
2. indien tegenlassen niet mogelijk is, dan de grondlaag aanbrengen met het TIG.

figuur 13.2 Lasnaadvormen voor het TIG lassen van koper

#### MIG lassen van koper en koperlegeringen

Het MIG lassen (zie bijlage B) is evenals het TIG lassen een uitstekend lasproces voor het lassen van koper en koperlegeringen. Het MIG lassen verdient de voorkeur bij het lassen van grotere materiaaldikten (> 6 mm). Bij materiaaldikten boven de 10 mm



wordt nagenoeg altijd gekozen voor het MIG lassen, waarbij vooral de hoge neersmeltsnelheid die kan worden bereikt met dit proces een belangrijk voordeel is. Evenals bij het TIG lassen kan ook bij het MIG lassen helium aan het standaard gebruikte argon beschermgas worden toegevoegd. Het MIG lassen kan in principe in alle posities worden uitgevoerd. Beperkingen zijn er hierbij wel, vooral ten aanzien van koperlegeringen die een dunvloeibaar smeltbad geven (aluminiumbrons en siliciumbrons). Is dit niet het geval, dan kan uitstekend in positie worden gelast. Voor het lassen in positie verdient het gebruik van lastoevoegmateriaal met relatief geringe draaddiameters en een zo laag mogelijke stroomsterkte (let wel op bindingsfouten!) over het algemeen de voorkeur. Het in positie lassen wordt altijd uitgevoerd door middel van het puls-MIG lassen. De juiste instellingen en een goede handvaardigheid van de lasser zijn hierbij een essentiële voorwaarde om een goede lasverbinding tot stand te kunnen brengen. Het kortsluitbooglassen van koper en koperlegeringen wordt niet toegepast, omdat de snelle warmte-afvoer van het materiaal ervoor zorgt dat de kans op bindingsfouten zeer groot is. Daarnaast worden bij het kortsluitbooglassen van koper zeer bolle lassen verkregen. Enige veel gebruikte lasnaadvormen voor het MIG lassen zijn weergegeven in figuur 13.3.

**Het druklassen van koper en koperlegeringen**

Het druklassen van koper en koperlegeringen onderling en aan andere metalen is met zeer veel lasprocessen mogelijk. Dit zijn onder andere:

- ▶ puntlassen;
- ▶ explosief lassen;
- ▶ wrijvingslassen;
- ▶ diffusielassen;
- ▶ ultrasoonlassen.

In bijlage C wordt een korte uitleg gegeven van de diverse (druk)lasprocessen. Het is onmogelijk om in het kader van deze voorlichtingspublicatie de verschillende mogelijkheden van de diverse lasprocessen te bespreken en we beperken ons daarom tot enige aspecten van het puntlassen van koper en koperlegeringen.

**Het puntlassen van koper en koperlegeringen**

Het kunnen puntlassen van koper en koperlegeringen valt of staat met de elektrische geleidbaarheid van de te lassen metalen. Naarmate de elektrische geleidbaarheid beter is, neemt de lasbaarheid af. De meeste koperlegeringen zijn echter goed te puntlassen, waarbij geldt dat, evenals bij het gasbooglassen, de legeringen waarin zich elementen bevinden die worden gebruikt vanwege hun goede verspaanbaarheid (lood, fosfor, tellurium) slecht zijn te puntlassen. Vergelijken met staal zijn over het algemeen hogere stoomsterkten, kortere lastijden, lagere elektrodedrukken en afwijkende elektrodematerialen noodzakelijk om een goede puntlasverbinding tot stand te kunnen brengen. Om de inzakking tijdens het lassen voldoende te kunnen volgen zijn, net als bij het puntlassen van aluminium, speciale lasmachines noodzakelijk die in staat zijn deze verplaatsing tijdens het lassen snel te kunnen volgen.

Drie-fase lasmachines uitgerust met een 'slope' control<sup>5</sup> verdienen de voorkeur. Evenals bij het gasbooglassen is het noodzakelijk dat de uitgangsmaterialen voldoende schoon zijn om een goede punt-

dikte	naadvorm	opmerkingen
≤ 1,5		zonder toevoegmetaal
1-3		zonder onderlegstrip
≤ 3		met onderlegstrip
3-6		gelijktijdig tweezijdig verticaal lassen
4-15		goede doorlassing bij eenzijdig lassen
7-15		gelijktijdig tweezijdig verticaal lassen
> 15		gelijktijdig tweezijdig verticaal lassen

maten in millimeters  
De lasvlakken en 30 cm ter weerszijden moeten schoon en ontvet zijn.

figuur 13.3 Lasnaadvormen voor het MIG lassen van koper

lasverbinding tot stand te kunnen brengen. Een nadeel bij met name de goed geleidende koperlegeringen, vormt het 'kleven' van het elektrodemateriaal aan de te lassen metalen, waardoor de standtijd ontoelaatbaar kort kan worden. Bij het puntlassen van koperen draden worden deze soms voorzien van een zeer dun laagje tin (ca. 5 µm), waardoor het puntlassen aanmerkelijk beter gaat. In principe is deze techniek ook bruikbaar voor plaatmateriaal.

**Het puntlassen van messing**

Messing met een zinkgehalte < 30% is moeilijk te puntlassen vanwege de neiging tot het 'kleven' van het messing aan het elektrodemateriaal en de hoge elektrische geleidbaarheid van het materiaal. De sterkte van deze verbindingen is over het algemeen beperkt. Messing met een zinkgehalte > 30% is beter te puntlassen, omdat de elektrische geleidbaarheid van dit materiaal slechter is ten opzichte van het laag zinkhoudende messing. Het vervuilen (kleven) van de elektroden kan een probleem vormen als niet de juiste instellingen worden gebruikt (elektrodedruk, lastijd, stroomsterkte).

5 'Slope' control houdt in dat de mate van aanstijgen en afnemen van de stroomsterkte kan worden geregeld (amp/sec).

### Het puntlassen van brons

De meeste bronssoorten zijn goed te lassen door hun hoge elektrische weerstand. Een uitzondering hierop vormt het C50500 materiaal dat een veel betere elektrische geleidbaarheid heeft. Het vervuilen (kleven) van de elektrode kan worden tegengegaan door een juiste keuze van de radius van de elektrode en het regelmatig schoonmaken van de elektrodepunt (dressen). Dit laatste geldt overigens voor het lassen van alle koperlegeringen.

### Het puntlassen van koper-nikkellegeringen

Koper-nikkellegeringen zijn door hun relatief grote elektrische weerstand uitstekend te puntlassen. Ook hier geldt dat de te lassen metalen goed moeten worden schoongemaakt op de plaats waar de verbinding moet worden gemaakt. Het verontreinigen (kleven) van de elektrode treedt veel minder op dan bij het lassen van bijvoorbeeld messing.

In kader 13.3 wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste aanbevelingen voor het TIG-, MIG- en puntlassen van koper en koperlegeringen.

<p><b>TIG lassen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zeer geschikt voor het lassen van koper en koperlegeringen.</li> <li>■ Belangrijkste toepassingsgebied is het lassen van geringe materiaaldikten.</li> <li>■ Boven de 4 mm materiaaldikte voorwarmen.</li> <li>■ Bij grotere materiaaldikten kunnen argon/helium beschermgasmengsels worden gebruikt.</li> <li>■ Aluminiumbrons, berylliumbrons lassen met wisselstroom.</li> <li>■ Goed te mechaniseren (orbitaal, internal bore).</li> </ul> <p><b>MIG Lassen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Zeer geschikt voor het lassen van koper en koperlegeringen.</li> <li>■ Belangrijkste toepassingsgebied voor grotere materiaaldikten.</li> <li>■ Voor het 'in positie' lassen en het lassen van geringe materiaaldikten wordt het puls-MIG lassen ingezet.</li> <li>■ Bij grotere materiaaldikten kunnen argon/helium mengsels worden gebruikt.</li> <li>■ <i>Nooit</i> kortsluitbooglassen.</li> <li>■ Boven de 15 mm materiaaldikte voorwarmen.</li> </ul> <p><b>Puntlassen</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Alleen minder goed elektrisch geleidende koperlegeringen zijn te puntlassen.</li> <li>■ Alleen geschikt voor overlaphaden.</li> <li>■ Alleen dunne materialen (maximaal 2 mm).</li> <li>■ Korte lastijden, hoge stroomsterkten, lage elektrodedruk.</li> <li>■ Speciale lasapparatuur noodzakelijk.</li> <li>■ Zeer goed te mechaniseren (robots).</li> </ul>
--

kader 13.3 Aanbevelingen voor het TIG, MIG en puntlassen van koper en koperlegeringen

### 13.3 *Het lassen van ongelijksoortige koperlegeringen*

Bij het lassen van ongelijksoortige koperlegeringen speelt een aantal factoren een belangrijke rol:

- ▶ het verschil in uitzettingscoëfficiënt. Tussen koper en koperlegeringen is dit verschil niet zo groot, bij het lassen van koper of koperlegeringen aan andere metalen kan dit aanzienlijk zijn;
- ▶ het verschil in warmtegeleidingsvermogen. Hier zijn, ook bij koperlegeringen onderling, grote verschillen;

- ▶ het gevaar voor soldeerbroosheid of "liquid embrittlement". Dit is vooral van belang bij het lassen van koper aan ferro-metalen;
- ▶ de keuze van het lastoevoegmateriaal. De keuze van het juiste lastoevoegmateriaal speelt een essentiële rol bij de lasbaarheid, de mechanische eigenschappen en de corrosiebestendigheid van de verbinding.

Het lassen van koper aan koperlegeringen, alsmede het lassen van gelijksoortige koperlegeringen, is goed mogelijk met zowel het TIG als het MIG lassen. Bij dunne metalen wordt over het algemeen het TIG lassen gebruikt, terwijl voor dickere materialen meestal het MIG lassen wordt ingezet. Tabel 13.5 geeft een overzicht van de lastoevoegmaterialen die kunnen worden gebruikt indien koper aan andere koperlegeringen of ongelijksoortige koperlegeringen moeten worden gelast.

### Het lassen van koper aan koper-nikkellegeringen

Koper wordt zelden verbonden aan nikkel, maar verbindingen tussen koper en koper-nikkellegeringen komt men wel veelvuldig tegen in warmtewisselaars en in de petrochemische industrie. Het lassen van koper aan koper-nikkellegeringen verdient de voorkeur met een koper-nikkel lastoevoegmateriaal. Bij het gebruik van dit lastoevoegmateriaal is de kans op het ontstaan van poreusheid het kleinste, maar veel belangrijker is dat de sterkte van de verbinding overeenkomt met de sterkte van de koper-nikkellegering. Het maken van dit type verbindingen geeft geen specifieke metallurgische problemen bij het lassen, mits de eerder genoemde algemene voorzorgsmaatregelen voor het lassen van koper in acht worden genomen.

Er moet echter rekening worden gehouden met een verschil in thermische geleidbaarheid van de beide metalen, waardoor moet worden voorkomen dat het koper niet voldoende wordt omgesmolten tijdens het lassen. Dit kan in de praktijk worden opgelost door het koper extra voor te warmen en ervoor te zorgen dat de lasboog meer op het koper wordt gericht tijdens het lassen. Bij het lassen treedt onvermijdelijk menging op tussen het lastoevoegmateriaal en de te lassen materialen. Het is verstandig om bij de keuze van het lastoevoegmateriaal hiermee rekening te houden, met name als optimale corrosievastheid een dwingende eis is. Bij het lassen van nikkelhoudende koperlegeringen moet, zoals niet vaak genoeg gezegd kan worden, altijd zeer veel zorg worden besteed aan *het schoonmaken* van de te lassen delen.

### Het lassen van koper aan aluminiumbrons

Verbindingen van koper aan aluminiumbrons worden vooral toegepast in producten die in aanraking komen met zeewater (pompen, appendages), waar deze materialen veelal worden gebruikt vanwege hun uitstekende corrosiebestendigheid. Het lassen van deze materialen is goed mogelijk met een aluminiumbrons (ERCuAl-A2) lastoevoegmateriaal. De koperzijde moet afhankelijk van de materiaaldikte worden voorgewarmd. Evenals bij het lassen van koper-nikkellegeringen, moet wel zorg worden besteed aan het schoonmaken van de te lassen materialen. Aluminiumbrons is zeer gevoelig voor verontreinigingen met lood en bismuth, kleine hoeveelheden van deze metalen in het smeltbad geven al aanleiding tot interkristallijne scheuren. Als algemene regel geldt bij het lassen van aluminiumbrons: zo weinig mogelijk warmte in het materiaal brengen tijdens het lassen. Let wel: niet te weinig, het smelt-

tabel 13.5 Selectietabel voor lastoevoegmaterialen voor het lassen van koper en ongelijksoortige koperlegeringen

materiaal	C10200 C12000	C21000/C22000 C23000/C24000	C26000 C26800	C51000/C52100 C52400	C61400 C63000	C65500	C70600 C71500
	koper	messing laag Zn	messing hoog Zn	fosforbrons	aluminiumbrons	siliciumbrons	koper/nikkel
C21000 C22000 C23000 C24000	ERCuSn-A ERCu (540 °C) <sup>1)</sup>	-	-	-	-	-	-
C26000 C26800	ERCuSi-A ERCuSn-A ERCu (540 °C)	ERCuSn-A (315 °C)	-	-	-	-	-
C51000 C52100 C52400	ERCuSn-A ERCu (540 °C)	ERCuSn-A (250 °C)	ERCuSn-A (315 °C)	-	-	-	-
C61400 C63000	ERCuAl-A2 (540 °C)	ERCuAl-A2 (315 °C)	ERCuAl-A2 (315 °C)	ERCuAl-A2 ERCuSn-A (200 °C)	-	-	-
C65500	ERCuSn-A ERCu ERCuSi-A (540 °C)	ERCuAl-A2 ERCuSi-A (65 °C max.)	ERCuAl-A2 ERCuSi-A (65 °C max.)	ERCuSi-A (65 °C max.)	ERCuAl-A2 ERCuSi-A (65 °C max.)	-	-
C70600 C71500	ERCuAl-A2 ERCuNi ERCu (540 °C)	ERCuAl-A2 (65 °C max.)	ERCuAl-A2 (65 °C max.)	ERCuSn-A (65 °C max.)	ERCuAl-A2 (65 °C max.)	ERCuAl-A2 (65 °C max.)	-

1) (... °C) Maximum voorwarm- en tussenlaagtemperatuur

bad moet voldoende kunnen worden gevormd en ook eventuele gassen die zijn opgelost in het smeltbad moeten de gelegenheid krijgen uit te dampen. Een en ander is weliswaar strijdig met elkaar, de praktijk leert echter dat dit niet tot slechte lasverbindingen hoeft te leiden.

#### Het lassen van koper aan koper-siliciumlegeringen

Het is gebruikelijk bij het lassen van deze materiaalcombinaties de koperzijde voor te warmen. Het verdient aanbeveling gebruik te maken van een siliciumbrons lastoevoegmateriaal (ERCuSi-A) of een tinhoudend lastoevoegmateriaal (ERCuSn-A). Verder moet de verbinding in zo min mogelijk lagen worden gelegd. Het kan gunstig zijn eerst de koperzijde op te lassen met ERCuSi-A of ERCuSn-A lastoevoegmateriaal.

#### Het lassen van aluminiumbrons aan koper-nikkellegeringen

Het toenemende gebruik van koper-nikkellegeringen voor warmtewisselaars betekent dat ook verbindingen tussen aluminiumbrons en koper-nikkellegeringen moeten worden gerealiseerd. Dit kan door het TIG en MIG lassen van deze metalen met als toevoegmateriaal een aluminiumbrons (ERCuAl-A2) of Cunifer lastoevoegmateriaal (ERCuNi).

Het is bij het maken van dit soort verbindingen verstandig de opmerkingen die zijn gemaakt bij het lassen van koper aan aluminiumbrons en het lassen van koper aan koper-nikkellegeringen door te lezen. Voorwarmen van de legering is niet nodig.

#### Het lassen van koper-siliciumlegeringen aan koper-nikkellegeringen

Bij het verbinden van deze metaalcombinaties is het gebruikelijk de CuSi-zijde op te lassen met een aluminiumbrons (ERCuAl-A2), siliciumbrons (ERCuSi-A) of Cunifer (ERCuNi) lastoevoegmateriaal. Voorwarmen van de legering is niet nodig.

Kader 13.4 geeft een samenvatting van de belangrijkste aspecten bij het lassen van koper aan een aantal koperlegeringen en ongelijksoortige koperlegeringen.

#### Koper aan koper-nikkellegeringen

- Te verbinden materialen zeer goed schoonmaken.
- Lastoevoegmateriaal van een koper-nikkellegering.
- Koperzijde meestal extra voorwarmen.

#### Koper aan aluminiumbrons

- Te verbinden materialen goed schoonmaken.
- Lastoevoegmateriaal van aluminiumbrons gebruiken.
- Zo laag mogelijke warmte-inbreng lassen, maar oppassen voor bindingsfouten!
- Koperzijde meestal extra voorwarmen.

#### Aluminiumbrons aan koper-nikkellegeringen

- Te verbinden materialen zeer goed schoonmaken.
- Voorwarmen niet noodzakelijk.
- Aluminiumbrons, siliciumbrons of Cunifer lastoevoegmateriaal gebruiken.

Voor al deze verbindingen geldt: Algemene voorzorgsmaatregelen nemen ten aanzien van voorbereiding.

kader 13.4 Het lassen van koper aan koperlegeringen en van ongelijksoortige koperlegeringen

### 13.4 *Het lassen van koper en koperlegeringen aan andere metalen*

Evenals bij het lassen van aluminium en zijn aluminiumlegeringen aan andere metalen kunnen ook bij koper en koperlegeringen aan andere metalen in principe twee technieken worden gebruikt te weten:

- ▶ de directe methode;
- ▶ de indirecte methode.

De technieken en problemen die bij de indirecte methode worden toegepast zijn niet anders dan beschreven in §12.4.2 "Het lassen van ongelijksoortige metalen door middel van een tussenmetaal, indirecte methode". Voor een beschrijving hiervan wordt dan ook verwezen naar de betreffende paragraaf.

In tegenstelling tot bijvoorbeeld het lassen van aluminium is het veelal goed mogelijk om een directe lasverbindingen tussen koper en koperlegeringen en

andere metalen te maken met een gelijkwaardige sterkte aan die van het zwakste metaal (meestal het koper of de koperlegering).

Een groot probleem vormt echter het verkrijgen van een goede ductiliteit van de lasverbinding. Het belangrijkste aandachtspunt bij het lassen van koper en koperlegeringen aan ferro-metalen of nikkel en nikkellegeringen is de opmenging van het basismateriaal met het lastoevoegmateriaal. Bij een overmatige opmenging tussen beiden is de kans groot dat er scheuren in het lasmetaal ontstaan en doorgroeien naar de warmtebeïnvloede zone. Twee belangrijke methoden zijn voorhanden om dit probleem het hoofd te bieden:

1. Het aanbrengen van een soldeerlaag door middel van het lassen op één van de te verbinden delen. Op deze manier wordt een minimale hoeveelheid opmenging aan deze kant gegarandeerd.
2. Het aanbrengen van een bufferlaag op één of beide zijden van de te verbinden metalen.

#### **Het aanbrengen van een soldeerlaag door middel van een lasboog, soldeerslassen (braze welding)**

Deze methode kan worden gebruikt om koper, aluminiumbrons of messing aan ongelegeerd en laaggelegeerd staal, roestvast staal, gietijzer of nikkellegeringen te verbinden. Andere koperlegeringen zijn veel moeilijker aan deze metalen te lassen met behulp van het soldeerslassen. Zo geeft siliciumbrons brosse lassen en messing, fosforbrons en koper-nikkellegeringen poreuze lassen als ze op deze manier aan ferro-metalen worden gelast. Het aanbrengen van de soldeerlaag is, nadat de vereiste voorzorgsmaatregelen zijn genomen, niet anders dan de gangbare techniek die bijvoorbeeld voor het hard solderen wordt toegepast.

#### **Het aanbrengen van een bufferlaag op één of beide zijden van de te lassen materialen**

Het beperken van het opmengen van de te lassen metalen met het lastoevoegmateriaal kan door het aanbrengen van een bufferlaag op één of op beide te lassen metalen. De bufferlaag kan dezelfde chemische samenstelling hebben als het lastoevoegmateriaal dat wordt gebruikt voor het verbinden van de beide metalen.

Het is echter ook mogelijk een speciaal lastoevoegmateriaal met een afwijkende chemische samenstelling te gebruiken dat specifiek ontwikkeld is als buffermateriaal, eventueel met specifieke eigenschappen. Als eenmaal op één of beide metalen een bufferlaag is aangebracht, is er in principe een veel grotere vrijheid ten aanzien van de keuze van het lastoevoegmateriaal. Als koper of koper-nikkellegeringen worden verbonden aan nikkellegeringen door middel van het aanbrengen van een bufferlaag, zal de koperzijde meestal worden 'opgebufferd' met een lastoevoegmateriaal van nikkel (ERNi-3) of Cunifer (ERCuNi). Dit wordt gedaan om een bufferlaag te krijgen met een hoog nikkelgehalte, waardoor een zo optimaal mogelijke overgang wordt verkregen naar de koper-nikkellegering. Bij het lassen van siliciumbrons aan ferro-metalen of nikkellegeringen zal de kant van het siliciumbrons meestal worden voorzien van een bufferlaag die wordt aangebracht met ERCuAl-A2 lastoevoegmateriaal. Een ander lastoevoegmateriaal dat uitstekend bruikbaar is als universeel buffermateriaal voor het lassen van koperlegeringen aan ferro-metalen of nikkellegeringen is ERCuNi (bijvoorbeeld Cunifer - Cu + 30% Ni).

#### **13.4.1 Het lassen van koperlegeringen aan ferro-metalen**

Bij het lassen van koper en koperlegeringen aan ferro-metalen zal er altijd opmenging plaatsvinden tussen het koperhoudende lastoevoegmateriaal en het ferro-metaal. Aluminiumbronzen kunnen een grote opmenging met staal verdragen voordat dit tot problemen leidt. Bij het lassen van koperlegeringen aan ferro-metalen moet erop worden gelet dat de koperlegering voldoende wordt omgesmolten. Dit is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat een voldoende sterke lasverbinding wordt verkregen. Als er onvoldoende inbranding ontstaat aan de kant van het ferro-metaal, komt geen lasverbinding tot stand maar een soldeerverbinding. Deze laatste is aanmerkelijk minder sterk dan een lasverbinding. Het aanbrengen van een bufferlaag is meestal niet noodzakelijk bij het lassen van koper-nikkellegeringen aan staal. Meestal wordt hierbij ERNi-3 of Cunifer (ERCuNi) lastoevoegmateriaal gebruikt. Veel gebruikte lastoevoegmaterialen bij het lassen van koper en koperlegeringen aan ferro-metalen zijn ERCuNi, ERNiCu en ERCuAl-A2, zoals te zien is in tabel 13.6.

Zowel het aanbrengen van een bufferlaag als het aflassen kan uitstekend worden uitgevoerd met deze lastoevoegmaterialen. Voor het lassen van fosforbrons aan ferro-metalen wordt een lastoevoegmateriaal geadviseerd van Cunifer (ERCuNi) of brons (ERCuSn-A). Bij het lassen van siliciumbrons aan ferro-metalen moet altijd worden gebruikgemaakt van een bufferlaag om een overmatige opmenging met het ferro-metaal te beperken.

Behalve als er een groot verschil is in warmtegeleidbaarheid tussen de te lassen metalen, hoeft over het algemeen niet worden voorgewarmd; onder de 3 mm materiaaldikte is het nooit nodig om de metalen voor te warmen. Als er moet worden voorgewarmd, is over het algemeen de laagste voorwarmtemperatuur uit de tabellen maatgevend, of een temperatuur die zich bevindt tussen de minimum en maximum temperatuur die in de tabel staat.

Over het algemeen moet erop worden gelet dat de interpasstemperaturen niet boven de in de tabel genoemde waarden uitkomen, omdat veel koperlegeringen bij hogere temperaturen warmtegevoeliger worden. Het smeltlassen van koper en zijn legeringen aan staal met lastoevoegmaterialen op koperbasis is, voor de staalzijde, vergelijkbaar met bijvoorbeeld het hardsolderen van staal. Dit houdt in dat er gevaar bestaat voor soldeerbrosheid of "liquid embrittlement".

De spanningen die ontstaan in het materiaal ten gevolge van het lassen, zorgen ervoor dat dit gevaar nog vergroot wordt. Soldeerbrosheid ontstaat ten gevolge van koperpenetratie langs de korrelgrenzen die er de oorzaak van is dat het staal bros wordt. De ervaring leert dat het gebruik van Cunifer (ERCuNi) lastoevoegmateriaal gunstig is om deze koperpenetratie te voorkomen.

Er is een aantal factoren verantwoordelijk voor het gevaar van de soldeerbrosheid in staal:

- ▶ de aanwezigheid van trek(krimp)spanningen in het staal;
- ▶ de bevochtiging van het staal met koper. Hoe beter deze bevochtiging is, des te makkelijker penetreert het koper in het staal;
- ▶ de aanwezigheid van koolstof. Koolstof vormt met koper en ijzer een laagsmeltend eutecticum, waardoor de koperpenetratie wordt bevorderd. Het ge-

tabel 13.6 Selectietabel voor lastoevoegmaterialen voor het lassen van koperlegeringen aan ferro-metalen

materiaal	C10200 C12000	C21000 C22000 C23000 C24000	C26000 C26800	C51000 C52100 C52400	C61400 C63000	C65500	C70600 C71500
	koper	messing laag Zn	messing hoog Zn	fosforbrons	aluminiumbrons	siliciumbrons	koper/nikkel
staal met een laag C-gehalte	ERCuAl-A2 ERCu ERNi-3 (540°C) <sup>1)</sup>	ERCuSn-A (315°C)	ERCuAl-A2 (260°C)	ERCuSn-A (200°C)	ERCuAl-A2 (150°C)	ERCuAl-A2 ERCuSi ERCuNi (65°C max.)	ERCuAl-A2 ERNi-3 ERCuNi (65°C max.)
staal met een gemiddeld C-gehalte	ERCuAl-A2 ERCu ERNi-3 (540°C)	ERCuAl-A2 (315°C)	ERCuAl-A2 (260°C)	ERCuSn-A (200°C)	ERCuAl-A2 (200°C)	ERCuAl-A2 ERCuSi ERCuNi (65°C)	ERCuAl-A2 ERNi-3 ERCuNi (65°C max.)
staal met een hoog C-gehalte	ERCuAl-A2 ERCu ERNi-3 (540°C)	ERCuAl-A2 (315°C)	ERCuAl-A2 (260°C)	ERCuSn-A (260°C)	ERCuAl-A2 (260°C)	ERCuAl-A2 ERCuSi ERCuNi (200°C)	ERCuAl-A2 ERNi-3 ERCuNi (65°C max.)
laaggelegeerd staal	ERCuAl-A2 ERCu ERNi-3 (540°C)	ERCuAl-A2 (315°C)	ERCuAl-A2 (315°C)	ERCuSn-A (260°C)	ERCuAl-A2 (260°C)	ERCuAl-A2 ERCuSi ERCuNi (200°C)	ERCuAl-A2 ERNi-3 ERCuNi (65°C max.)
roestvast staal	ERCuAl-A2 ERCu ERNi-3 (540°C)	ERCuAl-A2 ERCuSi-A (315°C)	ERCuAl-A2 (315°C)	ERCuSn-A (200°C)	ERCuAl-A2 (65°C max.)	ERCuAl-A2 ERCuSi ERCuNi (65°C max.)	ERCuAl-A2 ERNi-3 ERCuNi (65°C max.)

1) (...°C) Maximum voorwarm- en tussenlaagtemperatuur

- halte aan grafitiserende stoffen, zoals silicium, in het staal moet om deze reden zo klein mogelijk zijn;
- ▶ de korrelgrootte van het staal. Hoe fijner de korrelgrootte is, des te minder makkelijk zal er koperpenetratie langs de korrelgrenzen plaatsvinden en omgekeerd;
  - ▶ de samenstelling van de koperlegering of het lastoevoegmateriaal. Tin bevordert de penetratie van koper in staal, terwijl aluminium en vooral nikkel juist remmend werken.

Een praktisch probleem bij het booglassen van koper en koperlegeringen aan staal is het ontstaan van boogafwijkingen ten gevolge van een verschil in permeabiliteit tussen koper en staal. Doordat de magnetische permeabiliteit van koper laag is ten opzichte van staal, heeft de lasboog de neiging zich op het staal te richten. Dit kan tot gevolg hebben dat het koper onvoldoende wordt omgesmolten, waardoor er lasfouten ontstaan. Als de boogafwijkingen zodanig zijn dat er geen goede lasverbinding meer tot stand kan worden gebracht, dan is het mogelijk om op het koperen deel evenwijdig aan de las een stalen strip te bevestigen. Op deze manier kan min of meer een evenwichtssituatie worden bereikt ten aanzien van de magnetische permeabiliteit.

Tabel 13.7 geeft aanbevelingen voor het lassen van koper en de verschillende koperlegeringen aan staal. In de tabellen 13.8 t/m 13.11 zijn enige praktische richtwaarden gegeven voor het handmatig MIG en TIG lassen van koper en de verschillende koperlegeringen aan ongelegeerd staal. Dit zijn niet meer dan richtwaarden, omdat de ervaring leert dat het nagenoeg altijd noodzakelijk is bij dit soort verbindingen een aantal proeflassen te vervaardigen, teneinde de optimale parameters te vinden.

### 13.4.2 *Het lassen van koper en koperlegeringen aan nikkellegeringen*

Het lassen van koperlegeringen aan nikkellegeringen

door middel van een bufferlaag is goed mogelijk, omdat koper en nikkel in alle mengverhoudingen in elkaar oplosbaar zijn. Zoals blijkt uit tabel 13.7 zijn de belangrijkste lastoevoegmaterialen die worden gebruikt ERCuNi (koper-nikkel), ERNi-3 (nikkel) en ERNiCu-7 (nikkel-koper). Lastoevoegmaterialen van aluminiumbrons (ERCuAl-A2) zijn over het algemeen eveneens geschikt voor het lassen van dit type legeringen. Dit zijn tevens de enige lastoevoegmaterialen die kunnen worden gebruikt om siliciumbrons aan nikkellegeringen (monel) te lassen zonder dat hierbij warmscheuren ontstaan. Zelfs met lastoevoegmateriaal van aluminiumbrons is het, bij het lassen van siliciumbrons aan nikkellegeringen, aan te bevelen om op de nikkellegeringen een bufferlaag aan te brengen voordat de verbinding tot stand wordt gebracht. Dit is noodzakelijk om ervoor te zorgen dat de interactie tussen het silicium en nikkel zo gering mogelijk is, omdat dit anders kan resulteren in warmscheuren in het lasmetaal.

### 13.4.3 *Het lassen van koper aan aluminiumlegeringen*

Het direct lassen van koper door middel van het gasbooglassen zorgt ervoor dat er brosse fasen van  $\text{CuAl}_2$  op de korrelgrenzen worden gevormd, waardoor een lasverbinding met slechte mechanische eigenschappen wordt verkregen. Dit soort lasverbindingen komen we daarom in de praktijk weinig tegen. Daar waar deze metalen, door middel van het gasbooglassen, moeten worden verbonden, zal over het algemeen voor de 'indirecte' methode worden gekozen, dus voor het gebruik van zogenaamde tussen- of overgangsmetalen. Dit soort tussenmetalen wordt meestal door middel van explosief- of wrijvingslassen vervaardigd. Voor een beschrijving van het gebruik van dit soort tussenmetalen wordt verwezen naar § 12.4.2 "Het lassen van ongelijksoortige metalen door middel van een tussenmetaal, indirecte methode". Als in incidentele gevallen koper aan aluminium moet worden gelast door middel van

tabel 13.7 Aanbevelingen voor het lassen van koper en koperlegeringen aan staal

materiaal 1	buffer	las	buffer	materiaal 2	voorwarmen van materiaal 1 max.
koper	ERNiCr	ERNi-3 ERCuAl-A2	Geen	ongelegeerd staal	540°C
messing	geen	ERCuSn-A ERCuSn-A2	ERNiCu ERCuNi	ongelegeerd staal	315°C
brons	geen	ERCuSn-A	ERNiCu ERCuNi	ongelegeerd staal	260°C
siliciumbrons	geen	ERCuSi ERCuNi ERCuAl-A2	ERNiCu ERCuNi	ongelegeerd staal	200°C
aluminiumbrons	geen	ERCuAl-A2 ERNiCu	ERNiCu ERCuNi	ongelegeerd staal	260°C
koper-nikkel	geen	ERCuNi ERNi-3 ERCuAl-A2	ERCuNi ERNiCu	ongelegeerd staal	100°C
nikkel-koper	geen	ERNi-3 ERNiCu	geen	ongelegeerd staal	65°C
nikkel-koper	geen	ERNiCrFe ERCuNi	ERNiCu ERCuNi ERNi-3	roestvast staal	65°C

tabel 13.8 Globale instellingen voor het lassen van koper aan staal, uitgaande van een materiaaldikte van 10 mm voor beide materialen

Koper aan ongelegeerd staal	
Lasnaadvorm	V-naad 70 tot 80°
Standaarddeel	1-1,5 mm
Vooropening	2-3 mm
Lastoevoegmateriaal	zie tabel 13.6
Diameter lasdraad	MIG 1,6 mm; TIG 3,2/4,0 mm
Beschermgas	Argon; 25 l/min; TIG 15 l/min
Stroomsterkte	375 Ampère; TIG 325 Ampère
Lasspanning	29-31 Volt; TIG 16-18 Volt
Aantal lagen	4
Voorwarmtemperatuur	450-550°C

tabel 13.9 Globale instellingen voor het lassen van koper-nikkel aan staal, uitgaande van een materiaaldikte van 10 mm voor beide materialen

Koper-nikkel aan ongelegeerd staal	
Lasnaadvorm	V-naad 70 tot 80°
Standaarddeel	1-1,5 mm
Vooropening	2-3 mm
Lastoevoegmateriaal	zie tabel 13.6
Diameter lasdraad	MIG 1,6 mm; TIG 3,2/4,0 mm
Beschermgas	Argon; 25 l/min; TIG 15 l/min
Stroomsterkte	375 Ampère; TIG 325 Ampère
Lasspanning	29-31 Volt; TIG 16-18 Volt
Aantal lagen	4
Voorwarmtemperatuur	65°C

het gasbooglassen, dan verdient de volgende procedure de voorkeur: Het oplassen van het koper met behulp van hardsoldeer met een minimum gehalte aan zilver van 50%. De laagdikte mag hierbij variëren van 0,5 tot 1 mm. Het aflassen van de lasnaad met AISi12 (ER 4047) lastoevoegmateriaal, waarbij het koper moet worden voorgewarmd. De verbinding heeft in alle gevallen een matige treksterkte en is zeker niet corrosiebestendig. De ductiliteit van de verbinding is eveneens beperkt, zodat het belasten van de verbinding op buigen moet worden vermeden.

tabel 13.10 Globale instellingen voor het lassen van aluminiumbrons aan staal, uitgaande van een materiaaldikte van 10 mm voor beide materialen

Aluminiumbrons aan ongelegeerd staal	
Lasnaadvorm	V-naad 60°
Standaarddeel	0 mm
Vooropening	2-3 mm
Lastoevoegmateriaal	zie tabel 13.6
Diameter lasdraad	MIG 1,6 mm; TIG 3,2/4,0 mm
Beschermgas	Argon; 15 l/min; TIG 12 l/min
Stroomsterkte	275 Ampère; TIG 250 Ampère (TIG wisselstroom)
Lasspanning	25-27 Volt; TIG 16-18 Volt
Aantal lagen	6
Voorwarmtemperatuur	150-250°C

tabel 13.11 Globale instellingen voor het lassen van siliciumbrons aan staal, uitgaande van een materiaaldikte van 10 mm voor beide materialen

Siliciumbrons aan ongelegeerd staal	
Lasnaadvorm	V-naad 60°
Standaarddeel	0 mm
Vooropening	3 mm
Lastoevoegmateriaal	zie tabel 13.6
Diameter lasdraad	MIG 1,6 mm; TIG 3,2/4,0 mm
Beschermgas	Argon; 15 l/min; TIG 12 l/min
Stroomsterkte	275 Ampère; TIG 250 Ampère
Lasspanning	28-30 Volt; TIG 16-18 Volt
Aantal lagen	6
Voorwarmtemperatuur	65°C max.

#### 13.4.4 *Lastoevoegmaterialen voor het lassen van koper en koperlegeringen aan andere metalen*

In de tabellen 13.6 en 13.12 zijn de meest gebruikte lastoevoegmaterialen weergegeven voor het lassen van de verschillende materiaalcombinaties. In deze tabellen vindt u ook, tussen haakjes, de maximum voorwarmtemperatuur die mag worden gebruikt. Deze maximale voorwarmtemperatuur is tevens de minimum tussenlaagtemperatuur bij lassen in meerdere

lagen. De meeste verbindingen tussen ferro-metalen en koper of koperlegeringen met behulp van het TIG lassen zijn over het algemeen *las*verbindingen aan de koperen kant en *soldeer*verbindingen aan de stalen kant. Uitzonderingen hierop zijn het TIG lassen van koper of koper-nikkellegeringen aan staal, waarbij wordt gebruikgemaakt van nikkelhoudende lastoevoegmaterialen (ERNi-3, ERNiCu, ERCuNi). Dit zijn echte lasverbindingen aan beide zijden van de te verbinden metalen. ERCuAl-A2 en vooral ERCuNi zijn uitstekende, veel gebruikte en universeel bruikbare lastoevoegmaterialen voor het vervaardigen van ongelijksoortige verbindingen van koperlegeringen (met uitzondering van koper, messing en forforbrons) aan andere metalen. In tegenstelling tot koper, fosforbrons en siliciumbrons geeft het ERCuAl-A2 lastoevoegmateriaal een lasmetaal dat veel minder problemen heeft met het opmengen van ijzer, waardoor de kans op warm-scheuren aanzienlijk wordt verkleind. Siliciumbrons (ERCuSi-A) en fosforbrons (ERCuSn-A) lastoevoegmaterialen kunnen uitstekend worden gebruikt voor veel ongelijksoortige koperlegeringen, mits deze geen nikkel bevatten. Koper (ERCu) als lastoevoegmateriaal wordt voornamelijk gebruikt voor het lassen van koper.

In een aantal gevallen wordt het koper lastoevoegmateriaal echter ook gebruikt voor het aanbrengen van de sluitlaag bij het lassen van koperlegeringen aan koperlegeringen (uit corrosie overwegingen). Nikkelhoudend lastoevoegmateriaal wordt meestal gebruikt voor het lassen van koper aan koper-nikkellegeringen. Het lassen van siliciumbrons aan koper-nikkellegeringen moet altijd worden uitgevoerd met een ERCuAl-A2 lastoevoegmateriaal. Aluminiumbrons en nikkelhoudende lastoevoegmaterialen zijn in staat in beperkte mate ijzer op te nemen (ca. 15-20%) zonder gevaar voor warm-scheuren. Zowel de kant van het staal als de kant van het koper kan worden voorzien van een bufferlaag. Door het aanbrengen van een bufferlaag wordt bij het lassen van koper aan staal direct contact tussen het koper en het staal vermeden, waardoor de kans op koperpenetratie vermindert. Bij het gebruik van Cunifer (ERCuNi) lastoevoegmateriaal is het gevaar voor koperpenetratie vrijwel niet aanwezig. Bij het lassen van koper en koperlegeringen aan staal, en met name de nikkelhoudende koperlegeringen of het nikkelhoudende lastoevoegmateriaal, moet het staal zo weinig mogelijk verontreinigingen bevatten. Dit is vooral van toepassing voor een element als zwavel. Als dit niet het geval is, moet eerst het staal van een bufferlaag worden voorzien. Dit kan bijvoorbeeld door het staal op te lassen met een ongelegeerde basische elektrode of een massieve ongelegeerde staal draad (MAG).

Cunifer (ERCuNi) is een zeer goed en universeel toepasbaar lastoevoegmateriaal voor het lassen van koper en koperlegeringen aan staal, roestvast staal of nikkellegeringen.

Het maken van verbindingen tussen koper en andere metalen is vaak zeer goed mogelijk met de diverse druklasprocessen. Een goed voorbeeld hiervan is te zien in figuur 13.4, waar een verbinding is gemaakt tussen koper en staal door middel van het wrijvingslassen (de braam is verwijderd).



figuur 13.4 Verbinding van koper aan staal vervaardigd door middel van het wrijvingslassen

### 13.5 *Het lassen van koper geplateerd staal*

Met koper-geplateerd staal bestaat over het algemeen uit een ongelegeerd stalen ondergrond met hierop aangebracht een laag koper. Deze koperlaag kan explosief, maar ook door middel van warmwalsen zijn aangebracht. De hechting tussen het staal en het koper is hierbij over het algemeen zeer goed. De belangrijkste motivatie om dit soort materialen toe te passen, is vooral het verbeteren van de corrosievastheid. De koperzijde bestaat uit koper (zuurstofvrij) of een koper-nikkellegering.

De platerlaag zelf is meestal 10% van de totale dikte maar kan variëren tussen de 5 en 25%. In gelaste verbindingen van met koper geplateerd staal is het de bedoeling dat de las in het staal voor de sterkte zorgt, terwijl de las in de platerlaag qua chemische samenstelling overeen moet komen met de platerlaag zelf om de corrosievastheid te waarborgen. Om dit soort verbindingen met succes te kunnen lassen, is het

tabel 13.12 Selectietabel voor lastoevoegmaterialen voor het lassen van koperlegeringen aan nikkellegeringen

materiaal	C10200 C12000	C21000 C22000 C23000 C24000	C26000 C26800	C51000 C52100 C52400	C61400 C63000	C65500	C70600 C71500
	koper	messing laag Zn	messing hoog Zn	fosforbrons	aluminiumbrons	siliciumbrons	koper/nikkel
nikkel en nikkel-koper- legeringen	ERCuNi ERNiCu-7 (540 °C) <sup>1</sup>	(ERCuAl-A2) <sup>2</sup>	(ERCuAl-A2)	(ERCuAl-A2)	(ERCuAl-A2)	(ERCuAl-A2)	ERCuNi ERNiCu-7 (65 °C max.)
Ni-Cr Ni-Fe Ni-Cr-Fe	ERNi-3 (540 °C)	(ERCuAl-A2)	(ERCuAl-A2)	(ERCuAl-A2)	(ERCuAl-A2)	(ERCuAl-A2)	ERNi-3 (65 °C max.)

1) (... °C) Maximum voorwarm- en tussenlaagtemperatuur  
2) (ERCuAl-A2) combinaties komen in de praktijk weinig voor

noodzakelijk de volgende procedure en aspecten in acht te nemen:

- ▶ Het aanbrengen van de lasnaadkanten moet zorgvuldig geschieden, waarbij het best mechanische voorbewerkingsmethoden kunnen worden gehanteerd. Ook het plasmasnijden is echter mogelijk, mits vanaf de staalzijde kan worden gesneden.
- ▶ Voor het lassen moeten de lasnaadflanken en de direct hiernaast gelegen vlakken goed worden schoongemaakt.
- ▶ Het stellen van de te lassen werkstukdelen moet zorgvuldig worden uitgevoerd (geen high-low).
- ▶ Hechtlassen mogen alleen in het staal worden gelegd.
- ▶ Om de soldeerbroosheid te beperken, moet men ervoor zorgen dat de platerlaag niet wordt omgesmolten als men de kant van het staal last.
- ▶ Er moet een overgangslaag worden aangebracht, zodat men bij het lassen van de platering niet het staal om kan smelten.
- ▶ Het lassen van de platering en de overgangslaag moet met een zo laag mogelijke stroomsterkte worden uitgevoerd, zodat zo weinig mogelijk opmenging wordt verkregen.

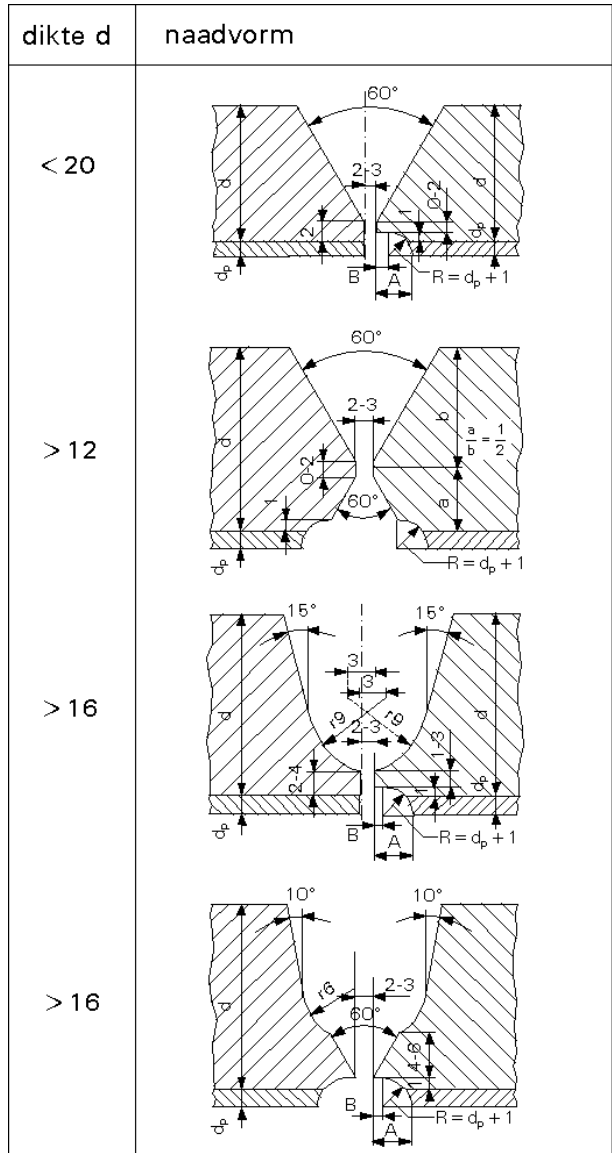
Tabel 13.13 geeft een overzicht van de te gebruiken lastoevoegmaterialen voor het lassen van koper of koper-nikkel geplateerd staal.

**Lasnaadvormen voor het lassen van koper geplateerd staal**

Afhankelijk of de lasnaad eenzijdig dan wel tweezijdig toegankelijk is, kiest men voor een bepaald type lasnaad. Als beide zijden toegankelijk zijn, wordt over het algemeen eerst de grondlaag aan de stalen zijde gelegd en deze zijde verder afgelast. Daarna wordt de grondlaag aan de stalen zijde uitgeslepen, waarna de platerzijde wordt gelast met een overgangslastoevoegmateriaal. Vervolgens wordt de platerlaag verder afgelast met een lastoevoegmateriaal naar keuze, zie tabel 13.12. Figuur 13.5 toont een aantal lasnaadvormen die kunnen worden gebruikt voor het lassen van kopergeplateerd staal als de lasnaad van twee zijden toegankelijk is.

Als de *platerlaag* niet toegankelijk is, kan een lasnaadvorm worden gekozen als weergegeven in figuur 13.6. De procedure voor het lassen die hierbij kan worden gevolgd, is de volgende:

- ▶ Het uitvoeren van een volkomen doorlassing van de platerlaag. Dit wordt meestal gedaan door middel van het TIG lassen, maar bij grotere materiaaldikten is MIG lassen ook mogelijk.
- ▶ Het volledig aflassen van het staal met een overgangslastoevoegmateriaal of het gebruik van een overgangslastoevoegmateriaal voor de eerste laag en vervolgens het aflassen met een lastoevoegmateriaal dat gebaseerd is op de combinatie van de te lassen platerlaag en het staal.



figuur 13.5 Lasnaadvormen voor het lassen van met koper geplateerd staal, beiden zijden bereikbaar

Als het staal niet toegankelijk is, kan worden gekozen voor een lasnaadvorm zoals weergegeven in figuur 13.7. Bij het lassen van het staal moet voor een volkomen doorlassing worden gezorgd. Het staal wordt tot ten hoogste 1 mm onder de scheidslijn van de overgang koper/staal afgelast, waarna een bufferlaag met het overgangslastoevoegmateriaal wordt aangebracht. Hierna kan de platerlaag verder worden afgelast.

tabel 13.13 Overzicht van de te gebruiken lastoevoegmaterialen voor het lassen van met koper- of koper-nikkel geplateerd staal

basismateriaal	overgangslastoevoegmateriaal	platerlaag	
		koper	koper-nikkellegering
Ongelegeerd staal	ERCuNi ERCuAl-A2 ERNi-3	ERCuSn-A ERCu	ERCuAl-A2 ERCuNi ERCu



dikte d	naadvorm
$\leq 2$	
$> 2$	
maten in millimeters	

figuur 13.6 Lasnaadvormen voor het lassen van met koper geplateerd staal, plateerlaag niet toegankelijk

dikte d	naadvorm
$\leq 20$	
$> 20$	
maten in millimeters	

figuur 13.7 Lasnaadvormen voor het lassen van met koper geplateerd staal, staalzijde niet toegankelijk

## Hoofdstuk 14

### Literatuur

- [1] Voorlichtingspublicatie VM 83 "Lassen van aluminium en aluminiumlegeringen". Vereniging FME-CWM, ISBN 90-71306-37-2
- [2] T. Luijendijk. Lasbaarheid van aluminiumlegeringen. De Constructeur, oktober 1995.
- [3] H. Wöfle. Handbuch der Schweisstechnik. Band III, Konstruktive Gestaltung der Bauteile. Springer Verlag 1985. ISBN 0-387-10361-9.
- [4] Jaroslav Koser. Konstruieren mit Aluminium. Aluminium Verlag. ISBN 3-87017-196-0
- [5] Registration Record of International Al Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminium and Wrought Aluminium Alloys. The Aluminium Association. May 1987.
- [6] Schweißen und löten von Aluminium Werkstoffen. DVS Band 70. ISBN 3-87155-078-7.
- [7] Welding Aluminium: Theory and Practice. The Aluminium Association. March 1989. ISBN 89-080539.
- [8] Aluminium-Taschenbuch. 14 Auflage., Düsseldorf, 1988, Aluminium - Zentrale ISBN 3-87017-169-3.
- [9] TGB Aluminium constructies. NEN 6710, Aluminiumconstructies TGB 1990. Nederlands Normalisatie Instituut. LLDC 624.04:691.771:69.04.
- [10] A. Gales. Het lassen van aluminium "Van kennis tot kunde", deel 1, 2, 3, 4 en 5. Aluminium april t/m september 1994.
- [11] E. Klement. Aluminium in beweging. Uitgave van het Aluminium Centrum.
- [12] Welding Handbook, seventh edition, volume four, chapter 6. 1984.
- [13] Metals Handbook, Nighth edition, volume 6, pag 436-445 Arc welding of Nickel alloys. 1983.
- [14] Voorlichtingspublicatie VM 15 "Smeltlassen en hardsolderen van nikkel en nikkellegeringen", Vereniging FME-CWM.
- [15] Het lassen van nikkel en haar legeringen. K. Bekkers, Lastetechniek 57, oktober 1991.
- [16] Lasbaarheid van nikkel & nikkellegeringen. H. de Vries, Lastetechniek 57, april 1991.
- [17] Nikkel en nikkellegeringen (deel 1), N.W. Buis, Roestvaststaal no 10, december 1991.
- [18] Lassen van nikkel en nikkellegeringen, TNO Industrie cursus lasinspectie, 1990.
- [19] Smeltlassen van koper en koperlegeringen. H. de Vries. Lastetechniek jaargang 55, oktober 1989.
- [20] Het gasbooglassen van koperlegeringen. P.G. F. du Pré. Philips metaltechniek.
- [21] Voorlichtingspublicatie VM 18 "Smeltlassen en hardsolderen van koper en koperlegeringen", Vereniging FME-CWM.
- [22] Welding Dissimilar Metals. N. Bailey. Uitgave van verschillende artikelen van The Welding Institute (members only).

## **Bijlage A**

### **Plateerlagen**

ketels met een agressief rookgasmilieu. Tegenwoordig kan gecoëxtrudeerde pijp goedkoper zijn dan volwandmateriaal, vooral als de corrosiebestendige laag bestaat uit een dure legering.

- ▶ **Walsplateren**  
Door een sandwichconstructie van twee verschillende plaatmaterialen gelijktijdig warm te walsen, kan een geplateerd materiaal worden gefabriceerd. Speciale aandacht moet worden besteed aan het oxidevrij houden van de tussenlaag tussen beide materialen. Meestal worden de randen gelast en het restant lucht weggezogen door vacuüm. De hechting komt niet door een smeltlasverbinding tot stand. Hierdoor kunnen ook moeilijk (op)lasbare legeringen goed worden gefabriceerd. Ook treedt geen opmenging op, zoals bij het oplassen. Hierdoor is één dunne laag voldoende om een platerlaag te krijgen met voldoende corrosiebestendigheid.
- ▶ **Linings**  
Een lining is een losliggende gelegerde plaat die aan de randen aan een lichaam is vastgelast. De lasuitvoering hiervan is sterk verschillend en wordt voornamelijk bepaald door de eisen die aan de corrosievastheid van het platerlaagmateriaal worden gesteld. Linings zijn op grote schaal toegepast in rookgasontzwavelingsinstallaties bij kolengestookte elektriciteitscentrales. Het is niet geschikt voor toepassingen onder vacuüm.
- ▶ **Explosief platerlaag**  
Door middel van een gelijkmatig verdeeld explosief mengsel op twee platen, kunnen deze middelen een explosie met elkaar worden verbonden. Door de voortplanting van de schokgolf op een speciale manier te sturen, kan een sterke verbinding tussen de platen worden verkregen. Een groot voordeel van deze methode is dat het kan worden toegepast voor het verbinden van combinaties die met smeltlassen niet of slechts via bufferlagen kunnen worden gerealiseerd. Het oppervlak dat in één keer geplateerd kan worden is beperkt, maar door het uit te walsen zijn toch platen met een relatief groot oppervlak te verkrijgen.
- ▶ **Opgelaste platerlaag**  
Het oplassen van een constructiedeel heeft een aantal voordelen boven andere platerlagen. Omdat het meestal wordt toegepast als laatste bewerking van een component, stelt het minder hoge eisen aan bewerkingsprocessen. Er kan bijvoorbeeld gegutst en geslepen worden, iets wat bij de overige materialen niet mogelijk is. Verder is de verkrijgbaarheid, zeker op korte termijn, groter. Ook onderdelen die warmvervormd of een gloeibehandeling moeten ondergaan, worden bij voorkeur opgelast. Voor het oplassen zijn vele lasprocessen beschikbaar. Voor het oplassen van grote oppervlakken wordt meestal OP- of ES-bandoplassen toegepast.
- ▶ **Composiet pijp** (gecoëxtrudeerde pijp)  
Gecoëxtrudeerde pijpen bestaan uit een binnen- en buitenlaag van verschillende materialen. Tijdens het extruderen van de pijpen worden de beide materialen zo intensief met elkaar in contact gebracht, dat een metallische verbinding tussen beide materialen ontstaat. Gecoëxtrudeerde pijpen kunnen worden toegepast waar één materiaalsoort niet aan de gestelde eisen kan voldoen, zoals bijvoorbeeld verdamperpijpen in

## Bijlage B

### Korte beschrijving van de verschillende smeltlasprocessen

Voor het lassen van ongelijksoortige metalen zijn vele lasprocessen beschikbaar. De keuze van het lasproces is o.a. afhankelijk van de aan de lasverbinding of opaslegering gestelde eisen, plaatdikte en laslengte van de te verbinden materialen. Er is een beperking gemaakt in 7 smeltlasprocessen die worden gebruikt voor het (op)lassen van ongelijksoortige metalen. De beschreven lasprocessen zijn ingedeeld volgens NEN-ISO 4063. De volgende lasprocessen worden toegepast voor het verbinden van ongelijksoortige metalen bestaande uit verschillende staalsoorten.

#### 1 TIG (GTAW)

*Procesnummer 141 volgens NEN-ISO 4063*

De voordelen van het TIG-lasproces zijn:

- ▶ de warmte- en materiaaltoevoer kunnen onafhankelijk van elkaar worden geregeld;
- ▶ de gasbescherming beschermt niet alleen het lasmetaal, maar ook de zone ernaast;
- ▶ in alle posities kan worden gelast.

Het TIG-lassen wordt vooral gebruikt voor het lassen van dun materiaal en voor het lassen van grondlagen, wanneer deze na het lassen niet meer beschikbaar zijn.

Voor het aanbrengen van linings is in Duitsland gebruikgemaakt van TIG-lassen met warme draadtoevoer.

#### 2 Booglassen met beklede elektrode (SMAW)

*Procesnummer 111 volgens NEN-ISO 4063*

Beklede elektrode lassen is een veel gebruikte lasmethode voor het lassen van zwart-wit verbindingen. De voordelen van het elektrodelassen zijn o.a.:

- ▶ lasbaar in alle posities;
- ▶ geringe warmte-inbreng en opmenging mogelijk;
- ▶ ruim assortiment aan lastoevoegmaterialen;
- ▶ de chemische samenstelling van het lastoevoegmateriaal kan enigszins worden gecorrigeerd met de bekleding.

Er is een keuze uit basisch en rutiel beklede elektroden. Basische elektroden geven een lasmetaal met een lager silicium-, fosfor-, zwavel- en zuurstofgehalte, waardoor de warmtscheur gevoeligheid afneemt. Het waterstofgehalte in een las gelast met een basische omhulling is geringer dan die met een rutiele bekleding.

#### 3 MIG-lassen (GMAW): gasbooglassen met afsmeltende elektrode onder bescherming van een inert gas

*Procesnummer 131 volgens NEN-ISO 4063*

Bij het MIG-lassen is er keuze uit open booglassen, kortsluitbooglassen en pulserend booglassen. Voor het MIG-lassen zijn massieve en gevulde draden beschikbaar. Voor het lassen van zwart-wit verbindingen is vooral het pulserend booglassen interessant. Het heeft een geringe inbranding, een stabiele boog, een goed te beheersen smeltbad, is lasbaar in alle posities en veroorzaakt een geringere opmenging dan open boog- of kortsluitbooglassen.

Verder gelden er voor MIG lassen dezelfde parameters als bij het beklede elektrode lassen om een geringe opmenging te verkrijgen.

Het MIG-lassen wordt gebruikt voor het verbindingslassen en oplassen. Voor het oplassen is het (pendelend) MIG (GMAW) lasproces het enige automatiseerbare lasproces dat in alle posities kan worden gebruikt.

#### 4 Onderpoeder lassen (OP)

*Lasproces 12 volgens NEN-ISO 4063*

Het OP-lassen wordt voornamelijk toegepast voor het verbindingslassen. Het voornaamste voordeel van het OP-lasproces is de grote neersmeltsnelheid, waardoor grote lassnelheden mogelijk zijn. Met name voor het lassen van dikwandige componenten met grote laslengten is het een economisch lasproces. Het wordt gebruikt voor het maken van lasverbindingen en voor het oplassen. Het kan slechts in de PA positie worden gebruikt.

Vanwege de grote opmenging is het voor zwart-wit lasverbindingen vaak niet zonder meer toepasbaar. Voor zwart-wit lasverbindingen is het noodzakelijk dat eerst de laaggelegeerde zijde gebufferd wordt met een ander proces. Hierna is het mogelijk een lasmetaal te verkrijgen met een acceptabele samenstelling. Het pendelend OP-oplassen met draad wordt tegenwoordig nauwelijks meer toegepast.

#### 5 Onderpoeder lassen met band-elektrode

*Lasproces 122 volgens NEN-ISO 4063*

Van oudsher wordt het OP-bandoplassen gebruikt indien er een groot oppervlak moet worden opgelast, het laswerk in de PA positie kan worden uitgevoerd en het werkstuk voldoende dik is. Het voordeel van het proces is zijn hoge neersmeltsnelheid. Vanwege de hoge opmenging is voor het verkrijgen van een acceptabele samenstelling van de toplaag het meestal noodzakelijk in meerdere lagen op te lassen.

Een voordeel van het bandoplassen is dat er een voortlopend stollingsfront aanwezig is. Hierdoor worden verontreinigingen in het lasbad gehouden. De weerstand tegen warmtscheuren is hierdoor groter dan bijvoorbeeld bij MIG of beklede elektrode lassen, waarbij het lasmetaal in het centrum van de rups stolt.

#### 6 Elektroslak (ES) bandoplassen

*Lasproces 72 volgens NEN-ISO 4063*

Sinds een tiental jaren is er een alternatief voor het OP-bandoplassen beschikbaar, in de vorm van het elektroslak (ES) bandoplassen.

Bij dit opasproces wordt dezelfde apparatuur gebruikt als bij het OP-bandoplassen. Er is qua procesvoering nauwelijks een verschil te merken met het OP-bandoplassen. Het verschil bestaat uit de samenstelling van het laspoeder dat bij het oplassen wordt gebruikt. Bij het OP-bandoplassen brandt er gedurende het gehele opasproces een boog. Bij het elektroslak bandoplassen daarentegen brandt deze boog uitsluitend bij het starten van het proces. Bij een stabiele procesvoering is er geen boog aanwezig; de warmte-ontwikkeling vindt plaats door de weerstandverhitting in de gesmolten slak. Deze slak smelt bij de start van het proces, door de goede geleidbaarheid van de gesmolten slak dooft de boog.

Eén van de voordelen van het elektroslak bandoplas-

sen ten opzichte van het OP-bandoplassen is dat de stroomsterkte van het ES proces veel hoger is, waardoor de neersmeltsnelheid sterk toeneemt. Ondanks deze hogere stroomsterkte (en daardoor een hogere voortloopsnelheid) is de opmenging in het geval van ES bandoplassen lager dan voor het OP-bandoplassen. Omdat de opmenging bij het elektroslak oplassen geringer is dan bij het OP-bandoplassen, kan worden volstaan met het oplassen van minder lagen. Van enkele corrosievaste oplaslegeringen is de samenstelling van het lastoevoegmateriaal zodanig aangepast, dat in één laag de gewenste samenstelling kan worden verkregen. Hierdoor zijn grote besparingen mogelijk in tijd en (oplas)materiaal ten opzichte van het OP-bandoplassen.

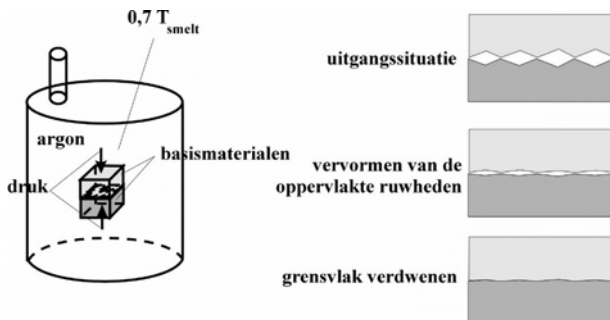
## Bijlage C

### Korte beschrijving van de verschillende druklasprocessen

#### 1 Diffusiellassen

Procesnummer 45 volgens NEN-ISO 4063

Het diffusiellassen (zie figuur 1) vindt plaats op atomair niveau. Door een combinatie van druk en temperatuur komt, onder vacuüm of in een inert beschermgas (meestal in een oven), een verbinding tot stand. Voorwaarde is hierbij dat de oppervlakken van de te lassen materialen *zeer* schoon en zo glad mogelijk zijn. De druk die bij het lasproces gebruikt wordt is belangrijk. Als deze te laag is dan komt geen goede verbinding tot stand en is hij te hoog dan vervormen de materialen te veel hetgeen eveneens ongewenst is. De temperatuur is minder kritisch en loopt over het algemeen op tot enige honderden graden onder de smeltemperatuur van de te lassen materialen ( $0,7 T_s$ ). Voor 'moeilijk' lasbare materialen of het vervaardigen van ongelijkssoortige verbindingen is diffusiellassen soms het aangewezen lasproces en vaak het enige alternatief. We komen het proces vooral tegen in de elektronische industrie, de luchtvaart, de ruimtevaart en de vliegtuigindustrie. Toepassingen vinden we onder andere bij de fabricage van halfgeleiders, dynamo's, startmotoren, rotoirnaven van helikopters, warmtewisselaars, diverse raketonderdelen, communicatieapparatuur en delen van turbinemotoren.



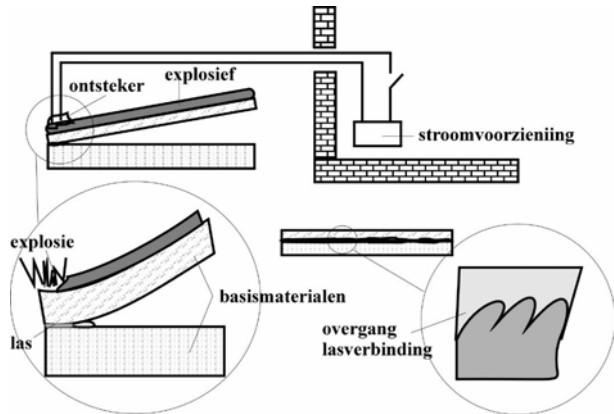
figuur 1 Schematische weergave van het diffusiellassen

#### 2 Explosief lassen

Procesnummer 441 volgens NEN-ISO 4063

Het explosief lassen (zie figuur 2) wordt vooral gebruikt voor het lassen van aluminium aan andere materialen (staal/koper). Het principe is eenvoudig. Op één van de te verbinden plaatdelen wordt een explosieve lading aangebracht en na het ontsteken van deze lading wordt de plaat of pijp die voorzien is van het explosief met grote kracht op de andere plaat gedrukt. Het gaat hier dus om een gecontroleerde explosie. De deformatie van de te verbinden metaalvlakken zorgt ervoor dat er metallurgische bindingen kunnen ontstaan (adhesie). Het verbinden van aluminium op staal is een bekend voorbeeld voor bijvoorbeeld het bevestigen van een aluminium dekhuis op het stalen dek van een schip. Maar ook bij het maken van stroomgeleiders waarbij aluminium aan koper verbonden moet worden wordt het explosief lassen toegepast. In de petrochemische industrie komen we explosief gelaste verbindingen tegen van aluminium aan roestvast staal. Naast

plaat/plaat-verbindingen kunnen ook andere verbindingen uitstekend explosief worden gelast (plaat/pijp; profiel/profiel; profiel/plaat).

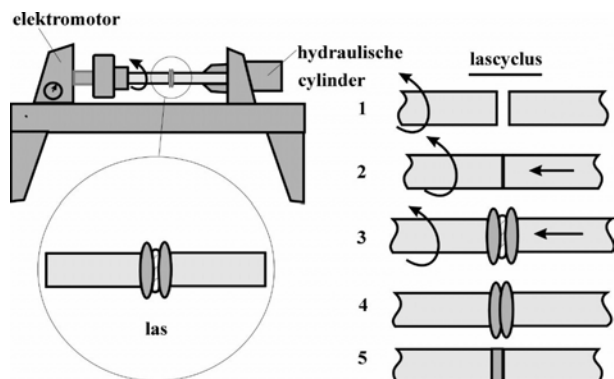


figuur 2 Schematische weergave van het explosief lassen

#### 3 Wrijvingslassen

Procesnummer 42 volgens NEN-ISO 4063

Het wrijvingslassen (zie figuur 3) is een druklasproces, dat wordt toegepast voor het gemechaniseerd stomplassen van onderdelen. Bij het wrijvingslassen komt de verbinding tot stand onder invloed van warmte die verkregen wordt door wrijving tussen de te verbinden delen. Deze wrijving ontstaat doordat één van de te verbinden delen snel wordt rondgedraaid en hierna tegen het andere onderdeel wordt aangedrukt. De wrijving tussen de werkstukdelen zorgt ervoor dat de temperatuur oploopt en het plastisch vervormt; de oxidehuid wordt hierbij verwijderd, waardoor een verbinding tot stand kan worden gebracht. Het wrijvingslassen komen we vooral tegen bij die bedrijven die zich bezighouden met de massafabricage van producten of onderdelen hiervoor. Toepassingen van het lassen van aluminium buis/buis- en buis/plaatverbindingen zijn bekend. Verder wordt het proces ingezet voor het maken van bijvoorbeeld aluminium/koper-verbindingen voor elektrische contacten. Andere toepassingen voor het verbinden van materialen liggen vooral op het gebied van het lassen van kleppen aan klepstelen, van boren aan boorschachten, beitels aan beitelschachten, het lassen van assen aan astappen en het lassen van onderdelen voor schokbrekers.

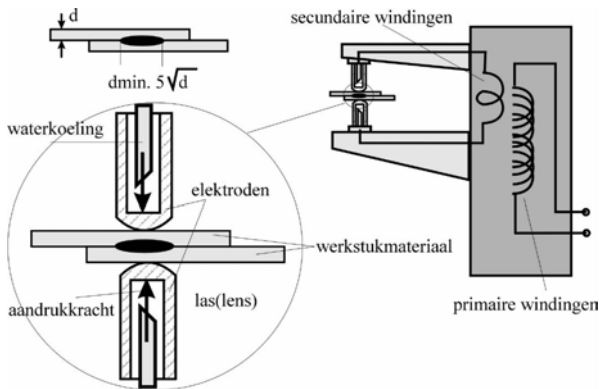


figuur 3 Schematische weergave van het wrijvingslassen

#### 4 Puntlassen

Procesnummer 21 volgens NEN-ISO 4063

Bij het puntlassen (zie figuur 4) worden de te verbinden delen tussen twee elektroden (meestal gelegeerd koper) ingeklemd, waarna door de elektroden een hoge stroom wordt gestuurd. Ter plaatse van de hoogste overgangswaerstand (tussen de te verbinden plaatdelen) wordt het ten gevolge van de weerstandsverhitting in een deegachtige toestand gebracht en komt na het aandrukken een verbinding tot stand. Bij het puntlassen van ongelijksoortige materialen wordt wel gebruikgemaakt van zogenaamde transitie-materialen. Het puntlassen komen we vooral tegen bij de massafabricage van producten met als belangrijkste representant de automobielindustrie. Zeer veel onderdelen van een auto worden verbonden d.m.v. het puntlassen. Omdat steeds meer onderdelen van auto's van aluminium worden gemaakt neemt het puntlassen van aluminium binnen deze branche een steeds belangrijker plaats in.



figuur 4 Schematische weergave van het puntlassen

#### 5 Stiftplassen

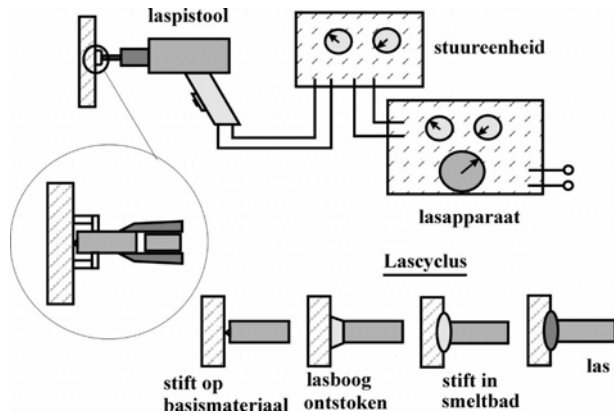
Procesnummer 78 volgens NEN-ISO 4063

Zoals de naam al doet vermoeden wordt het stiftplassen (zie figuur 5) vooral gebruikt voor het bevestigen van stiften, pennen, draadeinden, schroeven, moeren enz. op metalen. Na het puntlassen is het stiftplassen een van de meest toegepaste lasprocessen in de automobielindustrie. Alleen al in 1992 werden er in de automobielindustrie binnen Duitsland meer dan 5 miljard stiften gelast. Het stiftplassen wordt uitgevoerd met behulp van een op een pistool gelijkende lastoorts, waarin de stift wordt geklemd. Bij het stiftplassen komt de verbinding tot stand door een elektrische boog te trekken tussen het werkstuk en de stift. Als de materialen voldoende tot smelten zijn gebracht, worden ze op elkaar gedrukt en na afkoelen is de verbinding totstandgekomen.

#### 6 Ultrasoonlassen

Procesnummer 41 volgens NEN-ISO 4063

Bij deze lasmethode (zie figuur 6) komt een verbinding tot stand op atomair niveau door het gelijktijdig aanbrengen van druk en een ultrasone beweging van de laskop (sonotrode) op de lasplaat. Deze sonotrode is veelal stiftvormig maar kan ook worden uitgevoerd in de vorm van een wiel waardoor langlassen kunnen worden gemaakt. Door de cyclische beweging van de gekartelde sonotrode over het oppervlak (amplitude  $\pm 0,01$  mm) ontstaat wrijving ter plaatse van het contactvlak, waarbij eventueel aanwezige oppervlaktelagen worden doorbroken en er ten gevolge van het

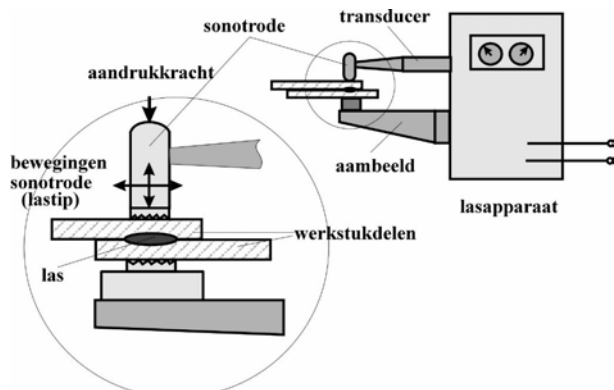


figuur 5 Schematische weergave van het stiftplassen

opwarmen van het materiaal een verbinding tot stand komt. Het materiaal wordt hierbij niet tot smelten gebracht, de verbinding komt grotendeels tot stand door diffusie van atomen uit de te verbinden materialen. Het ultrasoonlassen wordt zowel ingezet voor het maken van monometallische als bimetallicche verbindingen en er kunnen dus uitstekend verbindingen van aluminium met andere metalen mee worden gemaakt. Het belangrijkste toepassingsgebied is het lassen van miniatur elektronische componenten. Dunne aluminium draadjes worden hierbij bevestigd aan transistoren, dioden en IC's.

Bij het lassen van verbindingdraden aan ankers voor elektromotoren wordt eveneens gebruikgemaakt van het ultrasoonlassen, evenals bij toepassingen in de verpakkingindustrie, waarbij lekdichte verpakkingen kunnen worden gerealiseerd door middel van het ringlassen en het leggen van langsnaaden. Dit kunnen verpakkingen zijn voor de meest uiteenlopende materialen, waaronder medicijnen, explosieven, laselektroden (vacuüm verpakt), donor organen, enz. Ringvormige lassen worden vooral gebruikt voor het dichtlassen van containers, terwijl overlapverbindingen een belangrijke rol spelen bij het verbinden van twee rollen materiaal (coil aan coil) bij de fabricage van aluminiumfolie, waardoor grotere lengten kunnen worden verkregen.

Ook zijn toepassingen bekend waarbij aluminium kachelpijpen (wanddikte 0,8 mm) zonder noemenswaardige voorbereiding met succes worden verbonden. De snelheden die hierbij worden gerealiseerd zijn verrassend hoog (5 tot 10 m/min), waardoor dit lasproces een aantrekkelijk alternatief is voor andere lasprocessen.



figuur 6 Schematische weergave van het ultrasoonlassen







**Vereniging FME-CWM**

vereniging van ondernemingen  
in de metaal-, kunststof-,  
elektronica- en elektrotechnische industrie  
en aanverwante sectoren

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

Telefoon (079) 353 11 00

Telefax (079) 353 13 65

E-mail: [alg@fme.nl](mailto:alg@fme.nl)

Internet: <http://www.fme-cwm.nl>